

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

Facultad de Ingeniería en Electricidad y Computación

“DISEÑO DE GUÍAS DE PRÁCTICAS DE LA
COMPONENTE PRÁCTICO-EXPERIMENTAL DE LA
MATERIA SISTEMAS DE ADQUISICIÓN DE DATOS DE
LA MAESTRÍA EN INGENIERÍA BIOMÉDICA DE LA
ESPOL UTILIZANDO EL MÓDULO PPG EDUKIT”

EXAMEN COMPLEXIVO - COMPONENTE PRÁCTICO

INFORME PROFESIONAL

Previo a la obtención del título de:

MAGÍSTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

TOMAS ANDRES ARCOS VALENCIA

GUAYAQUIL – ECUADOR

AÑO: 2024

AGRADECIMIENTOS

En primer lugar, quisiera agradecer a Dios, por darme la sabiduría para completar las etapas de mi vida con valentía y esfuerzo. A mi esposa, padres, hermanos, sobrinos y familiares que supieron darme los consejos y las enseñanzas para culminar mis metas y no rendirme en el camino. De la misma manera mis agradecimientos a la Escuela Superior Politécnica del Litoral, a cada uno de mis compañeros, amigos y docentes, que supieron apoyarme de alguna manera para culminar la carrera.

DEDICATORIA

El presente proyecto de investigación está dedicado especialmente a mi esposa Monserrath, mis padres Raúl y Bertha, que, con su amor, su paciencia, su esfuerzo y su apoyo incondicional, me impulsaron para culminar esta meta de mi vida. A mis hermanos Juan y Cristina, que siempre me dieron su consejo, en los buenos y malos momentos ayudándome a superar cada obstáculo de la vida. A mis sobrinos y demás familiares que con su apoyo fueron un pilar importante para lograr mis metas y culminar una etapa más en la vida.

COMITÉ DE EVALUACIÓN



Firmado electrónicamente por:
**GEOVANNY MANUEL
ARGUELLO ANDRADE**

MSc. Geovanny Argüello



Firmado electrónicamente por:
**FEDERICO XAVIER
DOMINGUEZ BONINI**

PhD. Federico Domínguez

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad y la autoría del contenido de este Informe Profesional, me corresponde exclusivamente; y doy mi consentimiento para que la ESPOL realice la comunicación pública de la obra por cualquier medio con el fin de promover la consulta, difusión y uso público de la producción intelectual"



Ing. Tomás Arcos

RESUMEN

El presente proyecto de titulación muestra el desarrollo de guías de prácticas para el módulo PPG EduKit que permita a los estudiantes de la materia de Sistemas de Adquisición de Datos de la Escuela Superior Politécnica del Litoral una mejor comprensión y entendimiento de los datos biológicos como la frecuencia cardíaca y el nivel de oxígeno en sangre (fotopletismografía), para lograr la visualización y entendimiento de las señales biológicas se utilizan una tarjeta de adquisición de datos (Raspberry Pi), con una interfaz de programación intuitiva y con mucha información como lo es Python. La tarjeta de desarrollo PPG EduKit brinda varios módulos de interacción para realizar las guías prácticas, los estudiantes al realizar las guías pueden comprender y entender la importancia de la fotopletismografía como un método no invasivo para la obtención de señales biológicas de los pacientes.

El desarrollo de las guías de prácticas está elaborado para que los estudiantes puedan realizarla sin una mayor dificultad, pueden observar las diferentes mediciones biológicas de temperatura, ritmo cardíaco y saturación de oxígeno que permite obtener la tarjeta PPG EduKit de un paciente. La realización de las prácticas brinda una mejor interpretación de los conocimientos teóricos y así comprender como se implementa la ingeniería en el campo de la medicina mediante estas guías de prácticas.

ÍNDICE

AGRADECIMIENTOS.....	2
DEDICATORIA	3
COMITÉ DE EVALUACIÓN	4
DECLARACIÓN EXPRESA	5
RESUMEN.....	6
ÍNDICE	7
CAPÍTULO 1.....	9
1. INTRODUCCIÓN	9
1.1. Identificación del Problema	9
1.2. Justificación del problema	9
1.3. Objetivos	10
1.3.1. Objetivo General.....	10
1.3.2. Objetivos Específicos	10
1.4. Metodología	10
CAPÍTULO 2.....	12
2. MARCO TEÓRICO.....	12
2.1. Introducción a la Fotopleismografía (PPG).....	12
2.1.1. Saturación de Oxígeno en Sangre.....	13
2.1.2. Ritmo Cardíaco con PPG.....	14
2.2. PPG EduKit.....	15
2.2.1. Interfaz front-end analógico	15
2.2.2. Interfaz back-end digital.....	16
2.2.3. Plataformas Compatibles.....	16
2.3. Raspberry Pi	17
2.3.1. Raspberry Pi Zero W	17

2.3.2.	Raspberry Pi OS.....	18
2.4.	Lenguaje de programación Python.....	19
2.5.	Procesamiento y Acondicionamiento de Señales PPG.....	19
2.5.1.	Convertor Analógico/Digital (ADC).....	20
CAPÍTULO 3.....		21
3.	DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN.....	21
3.1.	Guías Prácticas.....	21
3.1.1.	Estructura de Guías Prácticas.....	21
3.2.	Diseño de Guías Prácticas.....	22
3.3.	Implementación de las Guías Prácticas.....	23
3.3.1.	Instalación e Introducción al software Raspberry Pi OS y conexiones a realizarse para la implementación de la tarjeta Raspberry con la tarjeta PPG Edu Kit.....	23
3.3.2.	Adquisición de datos del sensor MAX30205.....	28
3.3.3.	Adquisición de datos del sensor MAX30101.....	29
3.3.4.	Almacenamiento de los datos de los sensores MAX30205 y Max30101 en un banco de datos.....	30
CAPÍTULO 4.....		31
4.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	31
4.1.	Conclusiones.....	31
4.2.	Recomendaciones.....	31
BIBLIOGRAFÍA.....		32

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Identificación del Problema

El interés en la aplicación de señales de fotopletismografía para la evaluación de signos vitales como la frecuencia cardíaca, la frecuencia respiratoria, la saturación de oxígeno en la sangre y la presión arterial, permiten obtener dichos datos de una forma no invasiva para el paciente[1]. La fotopletismografía (PPG) es la tecnología que mide la cantidad de luz absorbida por los vasos sanguíneos, la sangre y los tejidos, lo que permite tomar varias mediciones en función de la variación en el volumen del flujo sanguíneo, la variabilidad del ritmo cardíaco, la presión arterial. Por lo tanto, la fotopletismografía puede brindar una amplia variedad de información biológica que puede ser útil para la detección y diagnóstico de diversos problemas de salud en los pacientes[2].

En la materia de Sistemas de Adquisición de Datos de la Maestría en Ingeniería Biomédica de la Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL), es necesario tener herramientas que faciliten la comprensión de la temática por parte de los estudiantes que es necesario contar con laboratorios prácticos que pueden realizar los estudiantes. Al ser un programa de maestrías profesionalizante se espera de este que tenga un nivel de experiencias prácticas muy enriquecedoras para los estudiantes de este programa.

Para que los estudiantes tengan un mejor enfoque de la Ingeniería Biomédica y poder enriquecer su aprendizaje práctico se busca realizar el diseño de guías de laboratorio que les permitan realizar experimentos prácticos mediante la fotopletismografía y su funcionalidad en la Biomedicina

1.2. Justificación del problema

La utilización de módulos de educación para la comprensión y obtención del conocimiento de los estudiantes mediante el uso de nuevas tecnologías que permite la adquisición de información de varios signos vitales en las personas, permiten el descubrimiento de varios campos interdisciplinarios entre la medicina y la ingeniería mediante la utilización del módulo PPG EduKit para facilitar el aprendizaje de la tecnología PPG de los estudiantes de la Escuela Superior Politécnica del Litoral[3]. Mediante la elaboración del diseño de guías prácticas para el módulo PPG EduKit se estima una mejor comprensión por parte de los estudiantes en extracción de los

parámetros fisiológicos de una forma didáctica, intuitiva y práctica, para lograr esta comprensión se utilizara las tarjetas de adquisición Raspberry Pi y el lenguaje de programación Python que nos brinda un proceso fluido para el desarrollo de proyectos académicos, con una gran información y recursos para realizar el proyecto de investigación que se va a realizar. El lenguaje de programación que utilizan las tarjetas PSoC es C que puede ser un poco difícil de aprender, entender y no cuenta con características didácticas que es lo que trata la investigación.

La utilización de la fotopleletismografía en la medicina y la ingeniería permite que los estudiantes asimilen conceptos técnicos en circuitos eléctricos, instrumentación biomédica y fisiología humana[1].

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo General

- Desarrollar guías de prácticas para el módulo PPG EduKit que permita la adquisición, comprensión y entendimiento de los datos biológicos obtenidos para su posterior interpretación mediante la tecnología de la fotopleletismografía PPG como apoyo para el componente práctico-experimental de la materia Sistemas de Adquisición de Datos de la Maestría en Ingeniería Biomédica de la ESPOL.

1.3.2. Objetivos Específicos

- Identificar los bloques fundamentales del módulo PPG EduKit que sean de utilidad para la realización de experimentos en la materia Sistemas de Adquisición de Datos.
- Comprender el funcionamiento y la correcta utilización del módulo PPG EduKit mediante el estudio de sus especificaciones técnicas y documentación respectiva.
- Diseñar las guías prácticas para que el estudiante adquiera los conocimientos necesarios para el uso de la fotopleletismografía basados en la tarjeta de desarrollo PPG EduKit.

1.4. Metodología

La metodología de investigación a utilizar en el presente documento es una investigación cualitativa ya que el objetivo de la investigación es el desarrollo de guías prácticas como una herramienta de aprendizaje a la componente práctico-experimental de la materia de Sistemas de Adquisición de Datos. También comprende una investigación cuantitativa por el diseño mismo de las guías prácticas, ya que estas son

experimentos para la obtención de los datos que podemos extraer de la tarjeta PPG EduKit.

Las prácticas son orientadas y diseñadas para cada bloque que posee el sistema PPG EduKit que es fundamental para lograr un resultado de aprendizaje específico, cada práctica tendrá una sección de desarrollo que permite realizar una evaluación, para medir el nivel del entendimiento, asimilación de conocimiento del estudiante en cada bloque fundamental del dispositivo PPG EduKit.

CAPÍTULO 2

2. MARCO TEÓRICO

2.1. Introducción a la Fotopleletismografía (PPG)

La fotopleletismografía consta de una fuente de luz (Luz infrarroja) y un fotodetector para realizar una evaluación no invasiva de los cambios de volumen en las venas y arterias de una parte del cuerpo accesible, por ejemplo, la pulpa de la yema del dedo[2]. Con los cambios del volumen sanguíneo podemos medir parámetros fisiológicos como la frecuencia cardíaca y la saturación de oxígeno, la presión que se utiliza para medir los parámetros fisiológicos es: la presión venosa y la presión arterial. La presión está determinada por la fuerza y el volumen de sangre bombeada, así como por el tamaño y la flexibilidad de las arterias. Los valores de la presión sanguínea se expresan en kilo-pascales (KPa) o en milímetros de mercurio (mmHg)[4].

Existen tres métodos para obtener una señal de fotopleletismografía en el extremo de un dedo que son: trans-iluminado, reflexión de luz y fibra óptica que se muestra en la siguiente figura.

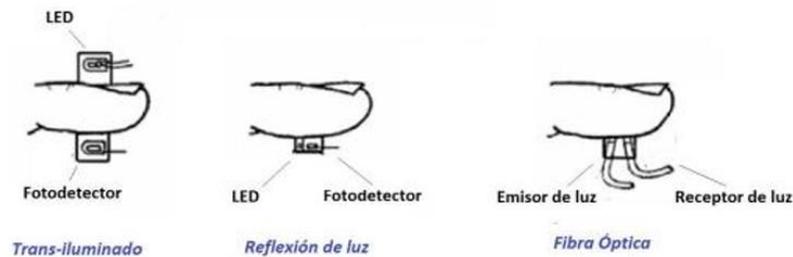


Figura 1 Método de obtención de una señal de fotopleletismografía.

El Fotopleletismógrafo obtiene la señal de fotopleletismografía (PPG) de los cambios de volumen causado por la presión de pulso, es detectado en la piel con la luz infrarroja que emite un diodo LED, a continuación, se mide la cantidad de luz transmitida o reflejada con un fototransistor. Cada ciclo cardíaco aparece como un pico en la forma de onda del Fotopleletismógrafo[4].

La forma de onda PPG consta de tres eventos principales: pico sistólico, muesca dicrótica y pico diastólico. Los picos sistólico y diastólico indican la detección de contracción y relajación ventricular transmitida en el sitio de medición, mientras que la muesca dicrótica es causada por el cierre de la válvula aórtica, lo que indica el final de la fase de sístole y el comienzo de la fase de diástole[2].

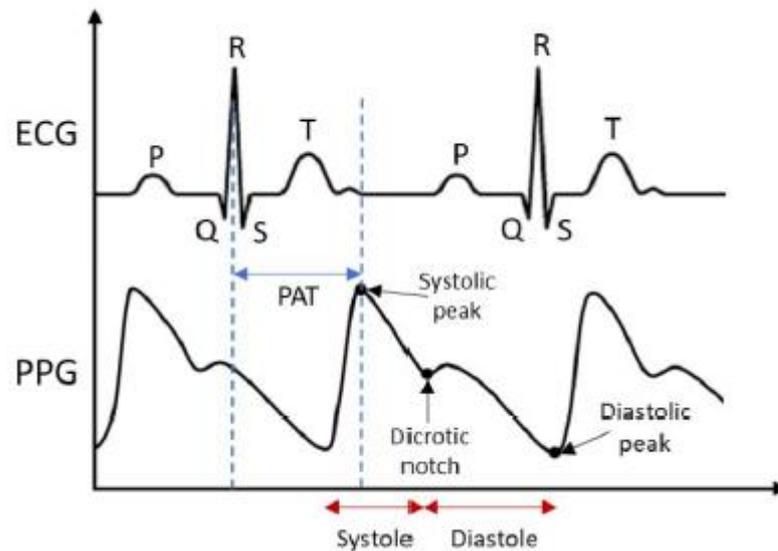


Figura 2 Comparación de señales de ECG y PPG

El tiempo de llegada del pulso (PAT), es el tiempo que tarda el pulso del corazón en llegar al sitio de medición del PPG.

2.1.1. Saturación de Oxígeno en Sangre

La técnica de fotopleletismografía nos permite obtener una señal llamada de pulso oximetría que permite estimar el porcentaje de oxígeno en la sangre (SPO₂) y es adquirida en la superficie de uno de los dedos del paciente (comúnmente en el dedo índice)[5].

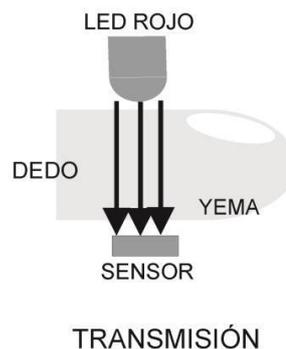


Figura 3 Método de detección transiluminado

Indiferentemente del método de adquisición de la señal de pulso oximetría, el haz de luz obtenido por el sensor tendrá cambios de intensidad. Los niveles de intensidad de luz son proporcionales al porcentaje de oxígeno que contiene la sangre que circula en los vasos sanguíneos del dedo índice[5].

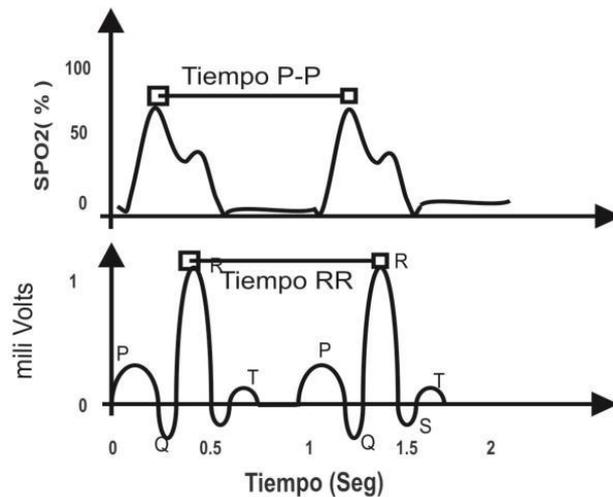


Figura 4 Intensidad de voltaje dependiendo del nivel de oxígeno en sangre

2.1.2. Ritmo Cardíaco con PPG

La forma de onda PPG nos proporciona información sobre la frecuencia cardíaca al igual que un electrocardiograma (ECG). El ECG estima la frecuencia cardíaca basándose en la conducción de una señal eléctrica dentro del corazón durante el ciclo cardíaco. La onda P, el complejo QRS y la onda T representan la despolarización de las aurículas (sístole auricular), la despolarización de los ventrículos (sístole ventricular) y la repolarización de los ventrículos (diástole ventricular), respectivamente[2].

De igual forma la señal PPG estima la frecuencia cardíaca midiendo la cantidad de luz absorbida o reflejada por el flujo sanguíneo dentro de los vasos. Cada vez que el corazón se contrae, el aumento del volumen del flujo sanguíneo en las arterias, venas y capilares atenúan la fuente de luz del dispositivo de medición PPG, lo que le permite detectar los cambios en el volumen del flujo sanguíneo durante el ciclo cardíaco[2].

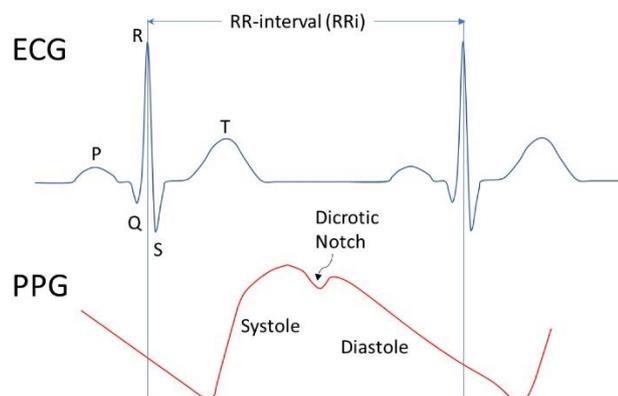


Figura 5 Intervalo de Ritmo cardíaco en una señal PPG

2.2. PPG EduKit

PPG EduKit es una plataforma de evaluación cuyo objetivo es adquirir la señal PPG de los dedos con fines educativos y de investigación. PPG EduKit brinda al usuario control y comprensión totales sobre los diferentes pasos necesarios para adquirir, acondicionar, visualizar y procesar las señales PPG. La información sin procesar que nos brinda la tarjeta PPG EduKit, luego se utiliza para extraer información fisiológica significativa. El enfoque modular de la plataforma facilita el soporte de diferentes dispositivos integrados, como Arduino[1].

Los componentes del PPG EduKit se agrupan en dos bloques principales: el front-end analógico y el back-end digital.

2.2.1. Interfaz front-end analógico

El front-end analógico representado en la figura está compuesto por componentes analógicos como filtros o componentes pasivos (resistencias, condensadores) y componentes digitales como el controlador LED y el sensor de temperatura. La mayoría de estos componentes son parte del front-end analógico PPG ajustable, además, el frontal analógico cuenta con un módulo de sensor MAX30101 incorporado. Este módulo comercial integra todo el acondicionamiento de señales PPG necesario para abordar objetivos educativos adicionales. Como resultado, las señales PPG se pueden adquirir de forma independiente o simultánea utilizando el MAX30101 o la configuración analógica ajustable[1].

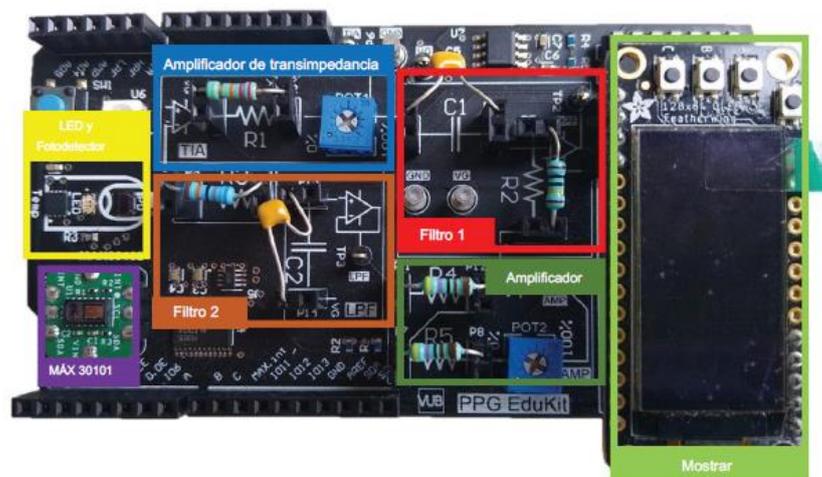


Figura 6 PPG EduKit diagrama de sus módulos

2.2.2. Interfaz back-end digital

El PPG EduKit también se compone de un back-end digital. El back-end digital no sólo complementa el front-end analógico, sino que también proporciona soporte adicional para las operaciones de procesamiento de señales. Estas operaciones pueden ser simples (por ejemplo, conversión de analógico a digital y comunicación por cable) o más avanzadas (por ejemplo, comunicación inalámbrica en combinación de técnicas avanzadas de procesamiento de señales como el aprendizaje autónomo). El soporte de estas operaciones está determinado por el tipo de plataforma[1].

2.2.3. Plataformas Compatibles

El front-end analógico interactúa con el back-end digital a través de un encabezado Arduino. La selección de este tipo de interfaz tiene como objetivo facilitar el uso de múltiples plataformas integradas que admitan este tipo de conexión y, al mismo tiempo, abordar plataformas integradas de bajo costo[1].

- Microcontroladores: Las dos placas compatibles mostradas en la Figura 7 son una AdaFruit Metro y una Arduino Due, respectivamente. Estas plataformas son lo suficientemente potentes como para admitir el filtrado de señales PPG sin procesar en tiempo real, mientras interactúan a través de una conexión de comunicación I2C con la pantalla integrada de front-end analógico. Estas plataformas también son convenientes para introducir la base del PPG EduKit debido a la gran comunidad de Arduino[1].



Figura 7 Placa Ardafruit Metro y Arduino Due respectivamente

- Sistema de chip programable (PSoC): Los PSoC de Infineon son microcontroladores avanzados. Estos dispositivos incluyen CPU basada en ARM Cortex y conjuntos de señales mixtas de componentes

analógicos y digitales integrados configurables. Esta arquitectura heterogénea permite la combinación de operaciones analógicas con procesamiento de señales digitales, lo que se puede explotar al considerar las características del PPG EduKit[1].

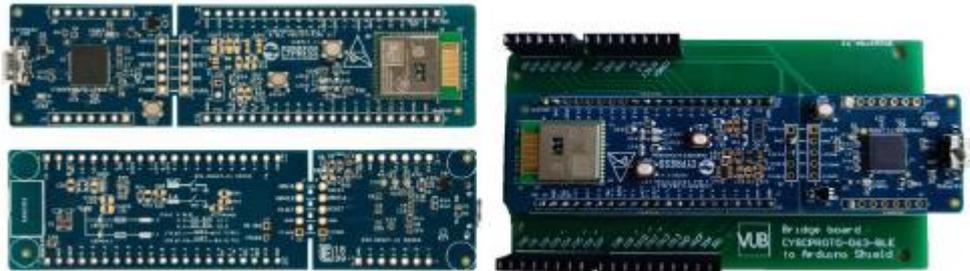


Figura 8 Chip programable PSoC 6.

2.3. Raspberry Pi

Raspberry Pi es una computadora de bajo costo y con un tamaño compacto (tarjeta de adquisición de datos), corre un sistema operativo basado en Linux que es capaz de permitir crear proyectos digitales ya que se puede programar en lenguajes como Python[6].

2.3.1. Raspberry Pi Zero W

Existen varias versiones de tarjetas Raspberry Pi que pueden ser utilizadas dependiendo del proyecto que se va a realizar tomando en cuenta el nivel de complejidad del proyecto o la necesidad del número de entradas y salidas digitales que se utilizan para controlar los elementos del proyecto que se llevara a cabo. La tarjeta que se utiliza es la Raspberry Pi Zero W que es una versión aún más compacta que la tarjeta Raspberry Pi 3 pero que integra las mismas funcionalidades[6].

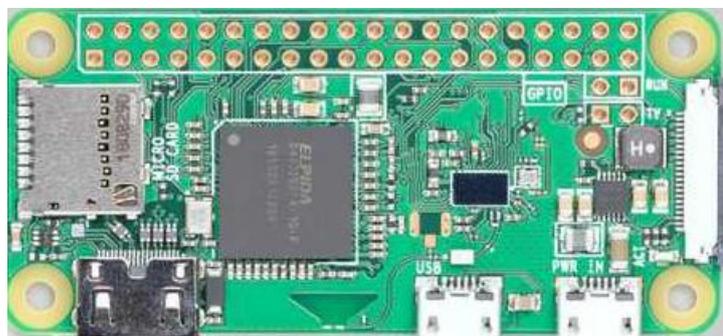


Figura 9 Tarjeta programable Raspberry Pi Zero W

Especificaciones de Raspberry Pi Zero W

- 802.11 b/g/n wireless LAN

- Bluetooth 4.1
- Bluetooth Low Energy (BLE)
- 1GHz, single-core CPU
- 512MB RAM
- Mini HDMI® port and micro USB On-The-Go (OTG) port
- Micro USB power
- HAT-compatible 40-pin header
- Composite video and reset headers
- CSI camera connector

2.3.2. Raspberry Pi OS

El sistema operativo que utiliza las tarjetas Raspberry Pi es el propietario de estas, este sistema tiene como base el sistema GNU/Linux. Dentro del sistema operativo viene instalado por defecto Python 3 (IDLE) que es el lenguaje de programación que se utiliza para la implementación de los proyectos que se pueden realizar con Raspberry. Python contiene una gran cantidad de información, documentación y funcionalidades que se pueden encontrar en la internet para utilizar en la obtención de datos y señales digitales que son las señales que admite la tarjeta Raspberry Pi Zero[6].

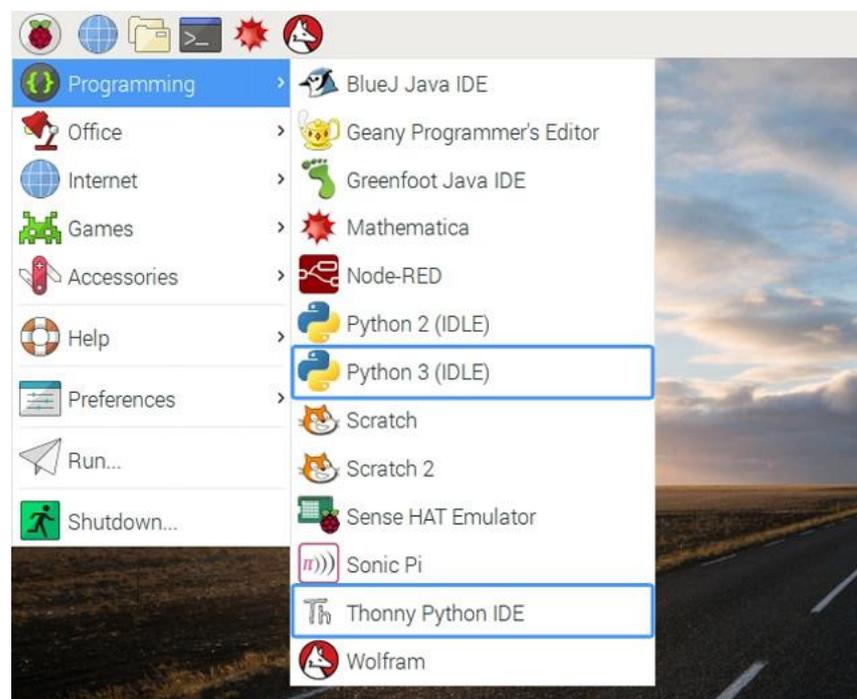


Figura 10 Interfaz de Raspberry Pi OS

2.4. Lenguaje de programación Python

El saber, entender y comprender un lenguaje de programación permite a los ingenieros que se dedican al desarrollo de proyectos tecnológicos, brindar una solución a los problemas que se pueden resolver con la implementación de las tecnologías existentes, Python es un lenguaje de programación que está diseñado por la Python Software Foundation que cuenta con una licencia de software de uso libre, por lo cual este es valorado por su aplicación en el campo didáctico y de fácil entendimiento, por lo que se puede encontrar diversa información de varios proyectos realizados con este software, se pueden aprovechar para realizar investigaciones científicas en varias universidades[7].

2.5. Procesamiento y Acondicionamiento de Señales PPG

Para extraer la información de un diagnóstico, se han investigado diferentes características, incluido el tiempo de aumento de PPG latido a latido (diferencia de tiempo entre el pico de la onda R de la señal de un Electrocardiograma y el pico de PPG), la amplitud, la forma y la variabilidad de cada uno de estos. El principio fundamental de PPG se basa en la mayor sensibilidad de ciertas longitudes de onda ópticas para la sangre en lugar de otros componentes del tejido[1].

La extracción de las señales PPG necesita etapas de acondicionamiento que implican conversión de corriente a voltaje, filtrado, amplificación y reducción de ruido , entre otros, para logra el acondicionamiento de la señal se describe los pasos que se debe realizar a continuación[1].

- Diodos emisores de luz (LED)
- Controlador LED
- Fotodetector (PD)
- Convertidor de corriente a voltaje
- Cancelación de luz ambiental (ALC)
- Seguimiento/eliminación de CC a PPG
- Filtrado analógico
- Filtrado digital

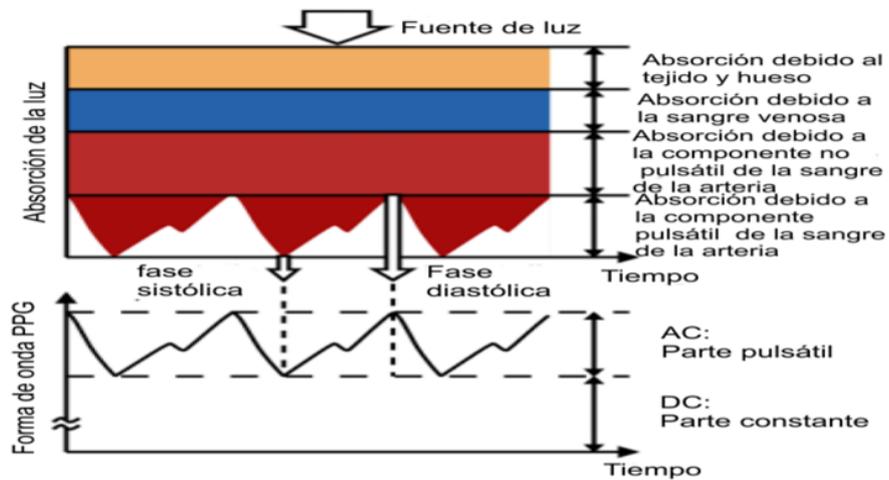


Figura 11 Niveles de absorción de luz de los tejidos para la obtención de la señal PPG

2.5.1. Conversor Analógico/Digital (ADC)

La conversión de los datos analógicos se realiza mediante convertidores ADC que permite digitalizar las señales analógicas que son las que brinda la tarjeta PPG EduKit. El ADC que se utiliza para la conversión de las señales es el ADS1115 que es un módulo que puede convertir simultáneamente 4 señales analógicas en datos digitales, este módulo cuenta con una resolución de 16 bits que son leídos por la tarjeta Raspberry mediante una comunicación tipo bus I2C[8].



Figura 12 ADS1115

CAPÍTULO 3

3. DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN

3.1. Guías Prácticas

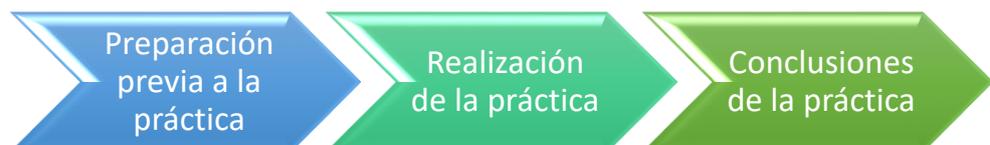
La educación en la ingeniería busca que los estudiantes y profesionales obtengan conocimientos de una manera didáctica y acorde a situaciones de experiencia práctica con el campo laboral. Por este motivo se realiza este trabajo de investigación, que es la elaboración de guías prácticas de la componente practico-experimental en la materia de Sistemas de Adquisición de Datos de la Maestría en Ingeniería Biomédica en la Escuela Superior Politécnica del Litoral, para brindar una mejor comprensión y entendimiento de la materia y su aplicación de la práctica de la Biomedicina.

Las prácticas de laboratorio como desarrollo de experimentos en la educación se definen como “estrategias didácticas que permiten a los estudiantes comprender la forma en que se construye el conocimiento en una comunidad científica”[9]. Para la materia de Sistemas de Adquisición de Datos de la Maestría en Ingeniería Biomédica se debe tener en cuenta el método de aprendizaje que se necesita en las carreras profesionalizantes como lo es programa de la Escuela Superior Politécnica del Litoral.

Las prácticas de laboratorio, las cuales tienen como finalidad que los estudiantes adquieran los conocimientos y/o habilidades de los sistemas de adquisición de datos, para que amplíen, profundicen, consoliden, realicen y comprueben los fundamentos teóricos de la materia mediante la componente practico-experimental empleando las guías de laboratorio realizadas en este trabajo de investigación, garantizando una comprensión de la materia de Sistemas de Adquisición de Datos mediante la ejecución práctica de las guías de laboratorio[9].

3.1.1. Estructura de Guías Prácticas

Para la realización de una guía práctica se debe tener en cuenta que estas constituyen un trabajo independiente de los estudiantes, el cual está constituido por tres etapas:



La preparación previa a la práctica, se desarrolla sobre la base del conocimiento teórico orientado por el docente como fundamento de la práctica[9].

El desarrollo de la práctica, se caracteriza por el trabajo de los estudiantes con el material de laboratorio (instrumentos electrónicos, tarjetas de adquisición, sensores y software), para la reproducción de los eventos deseados, la observación de los valores adquiridos[9].

Conclusiones de la práctica, se deben analizar los datos de la observación para obtener las conclusiones que se derivan de la práctica en cuestión[9].

La utilización de guías prácticas por parte del docente debe tener un objetivo de evaluación para medir la capacidad de los estudiantes de comprender la materia teórica y ponerla en práctica en la elaboración de las tareas experimentales.

- Obtener un conocimiento inicial sobre un nuevo sistema en estudio.
- Determinar la influencia de los factores sobre las respuestas observadas.
- Optimizar respuestas.
- Determinar la robustez del sistema.

Por último, la evaluación de las guías prácticas requerirá casi siempre la revisión y valoración de los trabajos presentados por los estudiantes, el docente deberá tener conocimientos de los objetivos finales de las guías prácticas y comprobar si los estudiantes alcanzaron dichos objetivos, si no los obtuvieron, se debe valorar a su interpretación el inconveniente o la mala elaboración de las guías prácticas que realizaron los estudiantes para poder orientarlos y cumplir con el objetivo de las guías que es del aprendizaje práctico-experimental.

3.2. Diseño de Guías Prácticas

El diseño de las guías prácticas esta realizado en un esquema general:

- Tema
- Objetivos
- Marco teórico
- Trabajo preparatorio
- Equipo y materiales
- Procedimiento

- Informe
- Bibliografía

Los primeros apartados de las guías prácticas (Tema, Objetivos, Marco teórico y Trabajo preparatorio) se establecen todos los aspectos generales, básicos de parte teórica de la asignatura Sistemas de Adquisición de Datos que serán de suma importancia para el correcto desarrollo de las guías, esta información debe estar disponible para el uso de los estudiantes, antes y durante la realización de las prácticas[10].

Los equipos y materiales solicitados en las guías prácticas deben ser adquiridos con anterioridad por los estudiantes (tarjeta de adquisición de datos, DAC, software previamente instalado y cableado) estos materiales son imprescindibles para la correcta elaboración de las guías.

El procedimiento estará especificado en las guías de laboratorio, explicando los pasos a desarrollar por los estudiantes, algunos ejemplos y graficas que se deben obtener.

El informe de las guías prácticas muestra el análisis que realiza el estudiante mediante la comparación de los resultados obtenidos y los esperados de cada guía, así se puede determinar si se cumplieron los objetivos previamente estipulados en las guías, de igual manera en este apartado los estudiantes deben redactar las conclusiones de las guías prácticas que realizaron y sus respectivas recomendaciones para la realización de la práctica[10].

Es importante destacar la utilización de las guías prácticas como un método para ayudar a profundizar los conocimientos teóricos por parte de los estudiantes y comprender de una mejor manera su uso e interpretación en la práctica.

3.3. Implementación de las Guías Prácticas

3.3.1. Instalación e Introducción al software Raspberry Pi OS y conexiones a realizarse para la implementación de la tarjeta Raspberry con la tarjeta PPG Edu Kit.

- Instalación del software Raspberry Pi OS en una microSD
Descargarse el software de instalación Raspberry Pi Imager de la página oficial de Raspberry Pi (<https://www.raspberrypi.com/software/>)

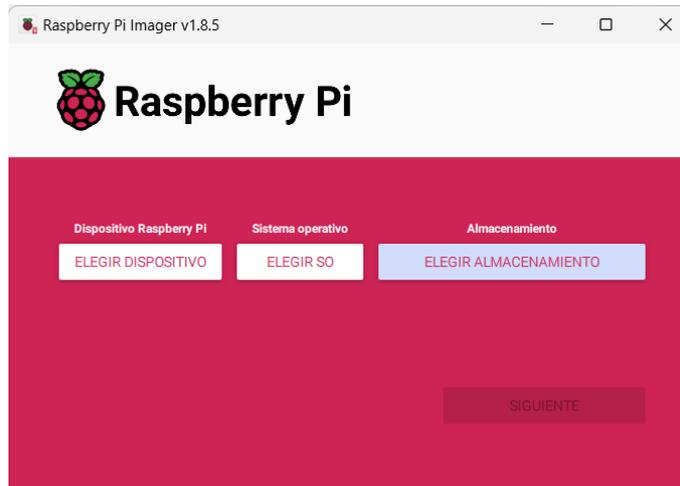


Figura 13 Instalador del sistema operativo Raspberry Pi OS

- Instalar el software de Raspberry en una tarjeta microSD mediante el programa previamente descargado
- Elegir el dispositivo que vamos a utilizar (Raspberry Pi Zero) y proceder a la instalación del software en la tarjeta micro SD.
- Para poder acceder a la interfaz gráfica del Software debemos habilitar el protocolo SSH para poder acceder de forma remota desde un computador a la Raspberry mediante la configuración de la conexión a una red wifi.

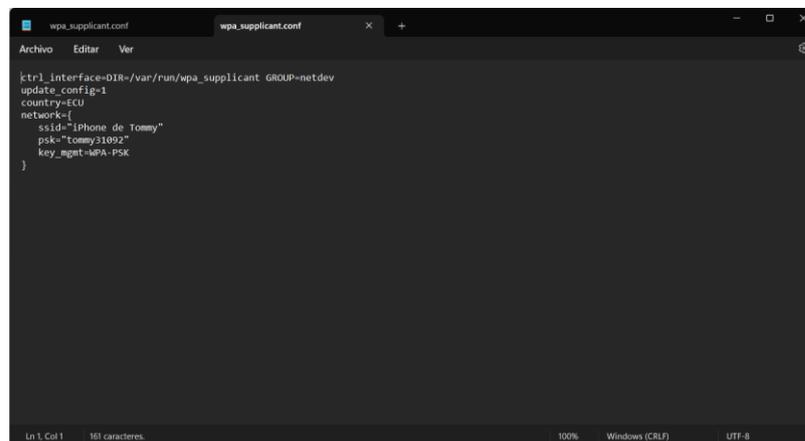


Figura 14 Configuración de Raspberry Pi para acceso remoto por red Wifi

- En el archivo debemos configurar el nombre de nuestra red y su contraseña utilizando el editor block de notas y lo guardamos.

```
ssid="iPhone de Tommy"  
psk="tommy31092"
```

- El archivo (wpa_supplicant.conf) se lo guarda en la tarjeta micro SD que se instaló el sistema operativo.

- Se procede a insertar la tarjeta micro SD en la tarjeta Raspberry Pi, ahora la tarjeta Raspberry y el computador están conectados a la misma red Wifi.
- Para poder determinar cual es la dirección IP que tiene la tarjeta Raspberry utilizamos el programa IP Scanner.

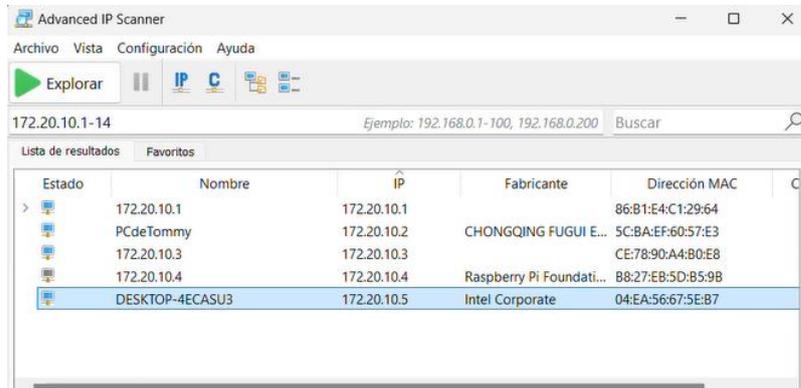


Figura 15 IP Scanner

- Con la dirección IP de la tarjeta procedemos a conectarnos de forma remota con el programa mediante el programa VNC Viewer, vale recalcar que para acceder a cualquier dispositivo de Raspberry el usuario es (pi) y su contraseña es (raspberry).

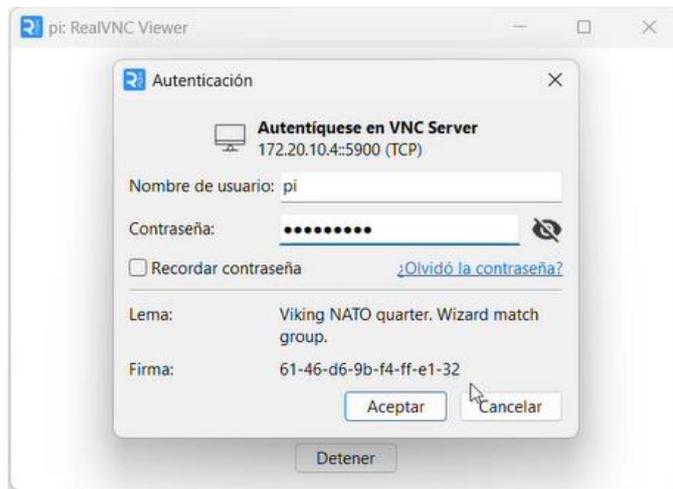


Figura 16 RealVCN

- De esta manera se accede de forma remota a la tarjeta Raspberry y podemos empezar a realizar la práctica de laboratorio.

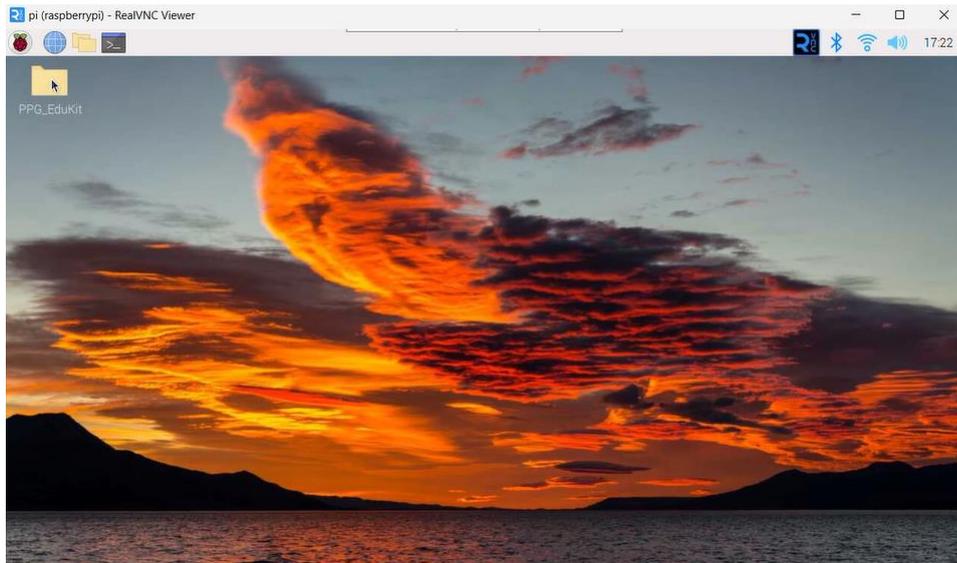


Figura 17 Interfaz de sistema operativo Raspberry Pi OS

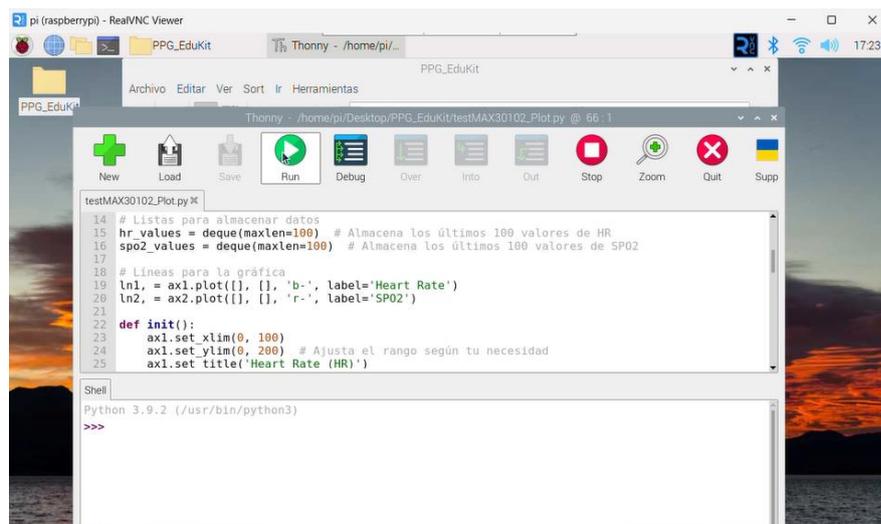


Figura 18 Compilador y editor de código (Thonny)

- A continuación, se realizan las conexiones entre la tarjeta PPG EduKit y la Raspberry Pi, tomar en cuenta que la configuración de los pines de la tarjeta PPG EduKit y un Arduino Uno tienen la misma disposición y para el diagrama de conexiones ponemos como ejemplo una tarjeta Arduino para fines educativos.

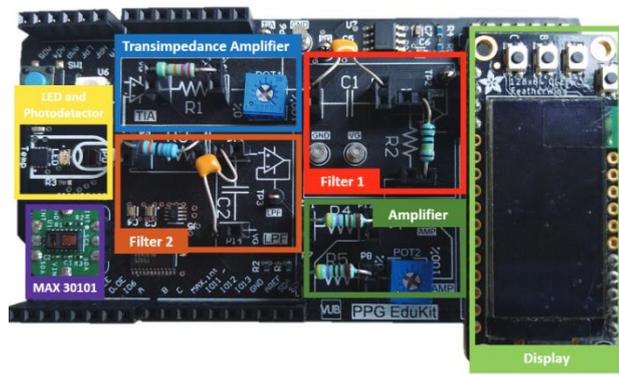
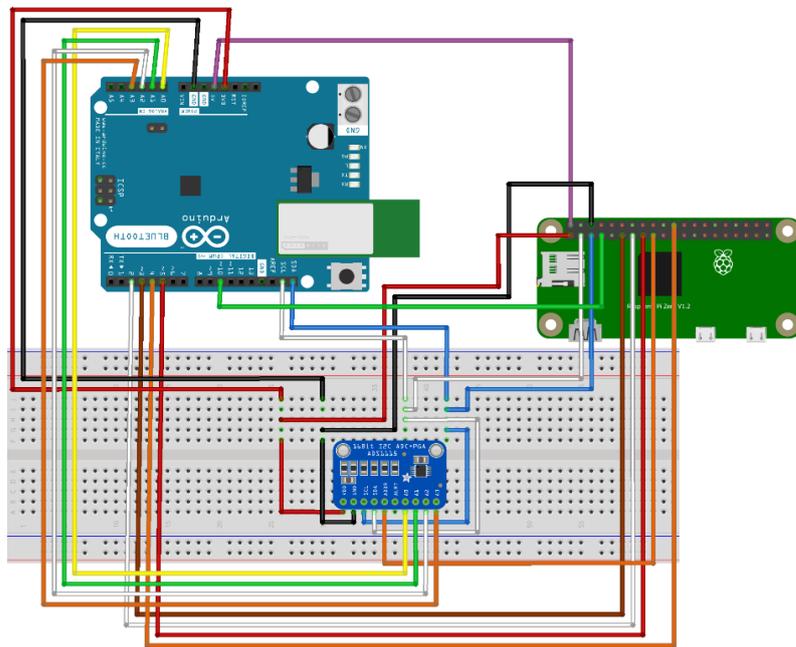


Figura 19 Tarjeta PPG EduKit



fritzing

Figura 20 Diagrama de conexiones

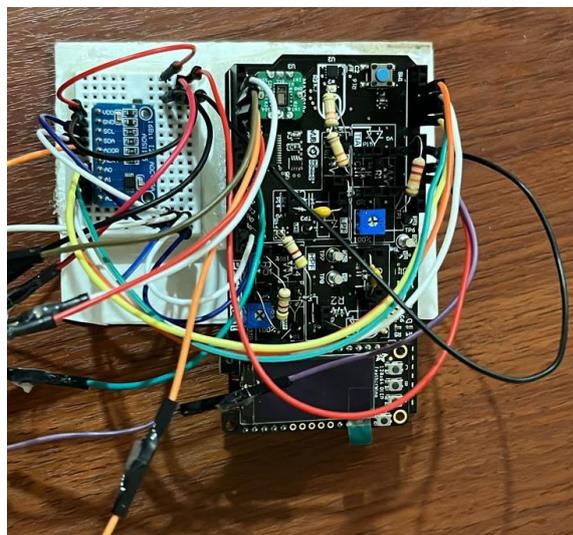


Figura 21 Conexión de tarjeta PPG

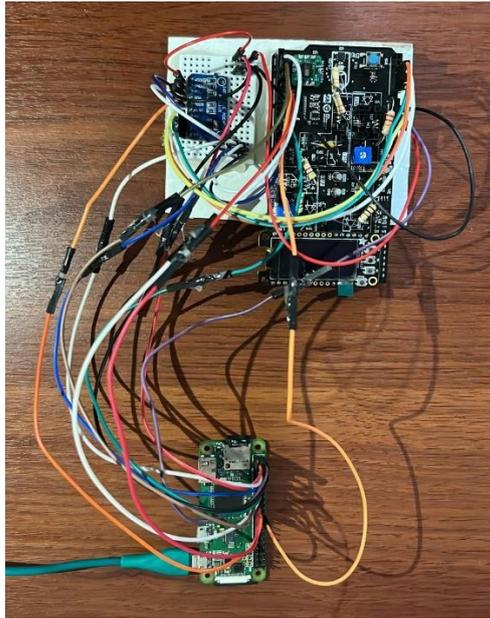


Figura 22 Implementación del diagrama de conexiones

3.3.2. Adquisición de datos del sensor MAX30205.

- Para adquirir los datos del sensor MAX30205 debemos crear un nuevo archivo en el editor de Python que se encuentra en el propio sistema operativo Raspberry Pi OS.
- Se realiza la lectura de los datos mediante el código de configuración utilizando Python.

```
import smbus
import time

# Dirección I2C del MAX30205
MAX30205_I2C_ADDRESS = 0x48 # Verificar la dirección correcta con 'i2cdetect -y 1'

# Registro de temperatura del MAX30205
TEMP_REG = 0x00

# Inicializar el bus I2C
bus = smbus.SMBus(1)

def read_temperature():
    # Leer 2 bytes del registro de temperatura
    data = bus.read_i2c_block_data(MAX30205_I2C_ADDRESS, TEMP_REG, 2)
    # Convertir los datos a temperatura (16 bits)
    temp = (data[0] << 8 | data[1]) & 0xFFFF
    # Convertir a temperatura en grados Celsius
    temp_celsius = temp * 0.00390625
    return temp_celsius

try:
    while True:
        temperature = read_temperature()
        print(f"Temperatura: {temperature:.2f} °C")
        time.sleep(1)
except KeyboardInterrupt:
    print("Programa terminado.")
```

- Se visualizan los datos.

```

pi@raspberrypi: ~/Desktop/PPG_EduKit
pi@raspberrypi:~/Desktop/PPG_EduKit $ python testMAX30205_MQTT_csv.py
/home/pi/Desktop/PPG_EduKit/testMAX30205_MQTT_csv.py:23: DeprecationWarning: Call
back API version 1 is deprecated, update to latest version
  client = mqtt.Client()
Temperatura: 20.58 C
Temperatura: 20.55 C
Temperatura: 20.57 C
Temperatura: 20.56 C
Temperatura: 20.55 C
Temperatura: 20.56 C
Temperatura: 20.54 C
Temperatura: 20.54 C
Temperatura: 20.54 C
Temperatura: 20.55 C
Temperatura: 20.54 C
Temperatura: 20.53 C
Temperatura: 20.54 C
Temperatura: 20.53 C
Temperatura: 20.53 C
Temperatura: 20.53 C
Temperatura: 20.52 C
Temperatura: 20.53 C
Temperatura: 20.52 C
Temperatura: 20.52 C

```

Figura 23 Datos de temperatura en tiempo real

3.3.3. Adquisición de datos del sensor MAX30101.

- Para adquirir los datos del sensor MAX30101 debemos crear un nuevo archivo en el editor de Python que se encuentra en el propio sistema operativo Raspberry Pi OS.
- Se realiza la lectura de los datos mediante el código de configuración utilizando Python.

```

import max30102
import hrcalc

m = max30102.MAX30102()

hr2 = 0
sp2 = 0

while True:
    red, ir = m.read_sequential()

    print("red detected:",red)
    print("ir detected:",ir)

    hr,hrb,sp,spb = hrcalc.calc_hr_and_spo2(ir, red)

    print("hr detected:",hrb)
    print("sp detected:",spb)

    if(hrb == True and hr != -999):
        hr2 = int(hr)
        print("Heart Rate : ",hr2)
    if(spb == True and sp != -999):
        sp2 = int(sp)
        print("SPO2      : ",sp2)

```

3.3.4. Almacenamiento de los datos de los sensores MAX30205 y Max30101 en un banco de datos.

- Para crear una base de datos de los datos extraídos de cada sensor se debe configurar los archivos creados previamente para poder generar los archivos de almacenamiento de los datos.

-  hr_spo2_data.csv
-  temperature_log.csv

- Se visualizan los datos almacenados de los dos sensores.
- Sensor MAX30205

	Timestamp	Temperature (C)
1	2024-07-16 17:11:55	20.85
2	2024-07-16 17:11:56	20.84
3	2024-07-16 17:11:57	20.97
4	2024-07-16 17:11:58	21.80
5	2024-07-16 17:11:59	23.07
6	2024-07-16 17:12:00	23.70
7	2024-07-16 17:12:01	24.06
8	2024-07-16 17:12:02	24.37
9	2024-07-16 17:12:03	24.60
10	2024-07-16 17:12:04	24.84
11	2024-07-16 17:12:05	25.04
12	2024-07-16 17:12:06	25.21

Figura 24 Datos de temperatura almacenados

- Sensor MAX30101

	Timestamp	Heart Rate	SPO2
26	2024-07-16 17:03:53	130	0
27	2024-07-16 17:03:56	58	98
28	2024-07-16 17:03:59	24	99
29	2024-07-16 17:04:02	0	0
30	2024-07-16 17:04:05	167	0
31	2024-07-16 17:04:08	0	0
32	2024-07-16 17:04:11	167	96
33	2024-07-16 17:04:14	0	0
34	2024-07-16 17:04:17	0	0
35	2024-07-16 17:04:20	0	0
36	2024-07-16 17:04:23	0	0

Figura 25 Datos de frecuencia cardiaca y SpO2 almacenados.

CAPÍTULO 4

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1. Conclusiones

- Se pudo desarrollar las guías prácticas para la fácil comprensión en la adquisición de datos biológicos mediante una forma no invasiva para los pacientes, también se puede entender cuáles son las funciones de los diferentes módulos que consisten la placa de desarrollo PPG EduKit.
- La adquisición de los datos biológicos mediante el uso de Python y una tarjeta Raspberry Pi permite una mejor interpretación de la fotopleletismografía como tecnología de desarrollo en la medicina.
- La elaboración de las guías prácticas permitió entender como los estudiantes al realizar experimentos comprenden de mejor manera la importancia de la ingeniería en la medicina y poder seguir desarrollando tecnologías para la aplicación de la fotopleletismografía.
- Al desarrollar las guías prácticas los estudiantes entienden la importancia de la adquisición de datos biológicos de un paciente, de una manera no invasiva y así poder determinar su estado de salud.

4.2. Recomendaciones

- Para la comprensión de los módulos de la tarjeta desarrollada PPG EduKit es indispensable leer la información pertinente de esta tarjeta que se encuentra en el trabajo de desarrollo de la misma, para su utilización y cuidado se debe leer el manual de usuario.
- Al realizar las guías prácticas, los estudiantes deben desarrollar su trabajo preparatorio previo, para así evitar inconvenientes al momento de realizar las conexiones de los componentes.
- La elaboración de las prácticas se puede efectuar con las diferentes tarjetas Raspberry Pi que existen, en el caso de esta investigación se utilizó una tarjeta Raspberry Pi Zero que brinda una adquisición y procesamiento rápido de la lectura de los datos, se podría utilizar una tarjeta Raspberry Pi 5 para una mejor integración de los datos.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Á. Solé Morillo, J. Lambert Cause, V.-E. Baciú, B. da Silva, J. C. Garcia-Naranjo, y J. Stiens, «PPG EduKit: An Adjustable Photoplethysmography Evaluation System for Educational Activities», *Sensors*, vol. 22, n.º 4, p. 1389, feb. 2022, doi: 10.3390/s22041389.
- [2] H. W. Loh *et al.*, «Application of photoplethysmography signals for healthcare systems: An in-depth review», *Comput. Methods Programs Biomed.*, vol. 216, p. 106677, abr. 2022, doi: 10.1016/j.cmpb.2022.106677.
- [3] «Phonocardiography and Photoplethysmography With Simple Arduino Setups to Support Interdisciplinary STEM Education | IEEE Journals & Magazine | IEEE Xplore». Accedido: 20 de noviembre de 2023. [En línea]. Disponible en: <https://ieeexplore.ieee.org/document/8754669>
- [4] M. E. Yapur y G. G. Celi, «Mediciones fotoplethysmográficas», *ESPOL*, p. 8, jul. 2015.
- [5] J. E. Gonzales-Barajas, C. C. Velandia, J. Lyra-Guaqueta, y P. Ospina-Fuentes, «Análisis espectral a través de bancos de filtros aplicado al pre-procesamiento para la umbralización de señales de pulso oximetría», *Tecno Lógica*, vol. 19, n.º 37, pp. 29-43, jul. 2016.
- [6] R. P. Ltd, «Raspberry Pi», Raspberry Pi. Accedido: 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://www.raspberrypi.com/>
- [7] I. Challenger, Y. Díaz, y R. Becerra, «El lenguaje de programación Python», *Cincias Holguín*, vol. 20, n.º 2, pp. 1-13, jun. 2014.
- [8] «Hoja de datos de ADS1115, información de producto y soporte | TI.com». Accedido: 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: https://www.ti.com/product/es-mx/ADS1115?bm-verify=AAQAAAAJ_____y9fQ-z5A2mwtYtRMqQNOHKx1C799LoSJSVBvBmgE8wjWmCSFJgtFjPWTd5ZxwpjStZmQlm_txNj4S9tVXZR_JhM7gPEYCLgd7cs2YfiNp-n20k39fnCaQkKkpXluJV8kKWN7fTHG_npq_Qhgco7hijD-nTyAW7aSNhIk_ranY3jK69ldYHvDzk_iY99TjzfXYHUufD9GFXPh4cQjeYE8N04PHHexB0SamnyP3XvK78EH5EoFAkkqrYsERgfWRxrttieQ893V7WS_hW-ZDqxMPFFud33t2hbb_Wle6ieZ9mbFsoWVWZtuWnbAdE
- [9] B. E. Rojas y J. D. Almarío Calderón, «PROPUESTA PARA LA REALIZACIÓN GUÍAS DE LABORATORIO SOBRE EL TEMA DISEÑO DE EXPERIMENTOS PARA LA ASIGNATURA MÉTODOS EXPERIMENTALES DEL PROGRAMA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE LA UNIVERSIDAD DE IBAGUÉ». Universidad de Ibagué, 2019.
- [10] «Hojas Guías Laboratorios». Accedido: 17 de julio de 2024. [En línea]. Disponible en: <https://daci.epn.edu.ec/index.php/docencia/hojas-guias>