



Viabilidad del desarrollo de una máquina de potenciales evocados auditivos

Feasibility of developing an auditory evoked potential machine

Viabilidade de desenvolvimento de uma máquina de potencial evocado auditivo

ARTÍCULO DE REVISIÓN

Julio César Casquero Zaidman jccasqueroz@unac.edu.pe https://orcid.org/0000-0001-6000-8934 Universidad Nacional del Callao, Callao - Perú	Hector Ángel Alvarado Rojas haalvarador@unac.edu.pe https://orcid.org/0009-0004-8996-2640 Universidad Nacional del Callao, Callao - Perú	Sebastián García Medina sjgarciam@unac.edu.pe https://orcid.org/0009-0008-6780-9038 Universidad Nacional del Callao, Callao - Perú	Adolfo Yuichiro Kanashiro Huicho aykanashiroh@unac.edu.pe https://orcid.org/0009-0002-0827-5335 Universidad Nacional del Callao, Callao - Perú	Rodrigo Mejía Lázaro rmejia@unac.edu.pe https://orcid.org/0009-0006-1502-5974 Universidad Nacional del Callao, Callao - Perú	Alexander Villafuerte Santa Cruz avillafuertes@unac.edu.pe https://orcid.org/0009-0005-4557-4344 Universidad Nacional del Callao, Callao - Perú
---	--	--	---	---	---

Recibido 15 de Marzo 2023 | Arbitrado y aceptado 20 de Mayo 2023 | Publicado el 12 de Diciembre 2023

RESUMEN

El objetivo es mostrar la evaluación preliminar de la viabilidad del desarrollo de una máquina destinada a medir potenciales evocados auditivos. Este tipo de máquina se utiliza para registrar la actividad eléctrica en el sistema auditivo en respuesta a estímulos sonoros, y el estudio se centraría en determinar si es factible implementar este equipo en un contexto específico. La factibilidad podría abarcar aspectos técnicos, económicos y logísticos para determinar la viabilidad de incorporar esta tecnología en un entorno determinado.

Palabras claves: Potenciales evocados, audición, diseño electrónico, simulación, diseño matemático, amplificación de señales.

ABSTRACT

The objective is to show the preliminary evaluation of the feasibility of the development of a machine intended to measure auditory evoked potentials. This type of machine is used to record electrical activity in the auditory system in response to sound stimuli, and the study would focus on determining whether it is feasible to implement this equipment in a specific context. Feasibility could cover technical, economic and logistical aspects to determine the viability of incorporating this technology in a given environment.

Keywords: s

RESUMO

O objetivo é mostrar a avaliação preliminar da viabilidade do desenvolvimento de uma máquina destinada à medição de potenciais evocados auditivos. Esse tipo de máquina é utilizada para registrar a atividade elétrica do sistema auditivo em resposta a estímulos sonoros, e o estudo teria como foco determinar se é viável implementar esse equipamento em um contexto específico. A viabilidade poderia abranger aspectos técnicos, econômicos e logísticos para determinar a viabilidade de incorporar esta tecnologia num determinado ambiente.

Palavras-chave: Potenciais evocados, audição, projeto eletrônico, simulação, projeto matemático, amplificação de sinal.

Introducción

Los potenciales evocados auditivos (PEA) son una herramienta importante para evaluar la audición en pacientes con problemas auditivos.

Los PEA se dividen en varios tipos según su origen y características. Los PEA de tronco cerebral (PEATC) son los más comunes y se originan en el tronco cerebral, que es la parte del cerebro que conecta el cerebro con la médula espinal. Los PEATC se utilizan para evaluar la función auditiva en pacientes con problemas auditivos, como la sordera, y pueden ayudar a identificar la ubicación de la lesión en el sistema auditivo. Estos potenciales son la respuesta neuro eléctrica del sistema auditivo ante un estímulo sonoro, y se pueden medir mediante electrodos colocados en el cuero cabelludo, estos potenciales evocados auditivos son una técnica de diagnóstico no invasiva que se utiliza para evaluar la función auditiva del cerebro. La máquina de potenciales evocados auditivos es un dispositivo que se utiliza para medir los potenciales evocados auditivos y puede ser útil en el diagnóstico de trastornos del oído y del cerebro.

En cuanto a la factibilidad de implementar una máquina de potenciales evocados auditivos, hay varios artículos y trabajos de investigación que abordan este tema. Uno de ellos es el trabajo de grado “Desarrollo e implementación de un dispositivo de captación y envío de potenciales evocados auditivos del tronco cerebral (PEATC)”. Este trabajo describe el diseño y la implementación de un dispositivo para la captación y envío de potenciales evocados auditivos del tronco cerebral. El trabajo también incluye una revisión bibliográfica sobre los fundamentos teóricos y las aplicaciones clínicas de los potenciales evocados auditivos. También tenemos el artículo “Hallazgos neurofisiológicos de potenciales evocados auditivos en lactantes con antecedente de prematuridad” describe los hallazgos neurofisiológicos de potenciales evocados auditivos en lactantes con antecedente de prematuridad. El estudio concluye que la prematuridad produce un incremento directamente proporcional y estadísticamente significativo en la frecuencia de hipoacusia para las frecuencias altas. Por otro lado, el artículo “Registro de potenciales evocados auditivos mediante una arquitectura modular apropiada para propósitos de investigación” describe el registro de potenciales evocados auditivos mediante una arquitectura modular apropiada para propósitos de investigación. Otro artículo interesante es el estudio “Fiabilidad de los potenciales

evocados auditivos de estado estable en la evaluación audiológica”. Este estudio compara la eficiencia de la detección automática de potenciales evocados auditivos de estado estable a múltiples frecuencias con la técnica ya establecida como los potenciales evocados auditivos de tronco cerebral. Por último, el artículo “Registro de potenciales evocados auditivos mediante una arquitectura modular apropiada para propósitos de investigación” describe el registro de potenciales evocados auditivos mediante una arquitectura modular apropiada para propósitos de investigación.

En general, estos estudios sugieren que es factible diseñar y construir dispositivos para capturar y enviar señales eléctricas generadas por el cerebro en respuesta a estímulos auditivos. Además, los hallazgos neurofisiológicos pueden ayudar a mejorar la eficiencia de las técnicas utilizadas para detectar PEATC.

I. PLANTEAMIENTO DE LA INVESTIGACIÓN:

A. Descripción de la realidad problemática:

En un país con un sistema de salud precario, la infraestructura hospitalaria y clínica puede carecer de los recursos necesarios para la adquisición, instalación y mantenimiento de equipos médicos especializados, como las máquinas de potenciales evocados. La falta de inversión en instalaciones médicas adecuadas crea un obstáculo significativo para la integración de tecnologías de diagnóstico avanzadas.

A pesar de que hay recursos necesarios que los lugares urbanos del Perú para la compra de maquinaria avanzada, en otros lugares más alejados, especialmente en los lugares rurales, los recursos son escasos por diversas razones. Es necesario que haya reducción del presupuesto para el equipo necesario y eso también incluye la máquina de los potenciales evocados auditivos.

B. Planteamiento del problema:

1. Problema general

La detección y diagnóstico de trastornos auditivos requieren de tecnologías avanzadas que permitan evaluar la función auditiva de manera precisa y eficiente.

2. Problema específico:

- La fabricación de una máquina de potenciales evocados auditivos implica la generación precisa de estímulos acústicos controlados.
- La fabricación debe considerar la integración de tecnologías avanzadas, como filtros digitales y técnicas de procesamiento de señales, para mejorar la precisión y la eficiencia en la detección de los PEA, manteniendo al mismo tiempo la facilidad de uso para los profesionales de la salud.

C. Objetivos de la investigación:

1. Objetivo general:

Diseñar y fabricar una máquina especializada para la detección de potenciales evocados auditivos, integrando tecnologías avanzadas, asegurando la generación precisa de estímulos acústicos, optimizando la sincronización temporal y garantizando la portabilidad y adaptabilidad a diferentes entornos clínicos.

2. Objetivo específico:

- Desarrollar un Sistema de Generación de Estímulos Acústicos
- Integrar Tecnologías Avanzadas de Procesamiento de Señales
- Diseñar una Interfaz de Usuario Intuitiva

D. Limitantes del trabajo de estudio:

Un limitante importante es que, a pesar de que se intenta reducir costos en este trabajo de investigación, igualmente termina saliendo costoso para la realización física del mismo. Por ejemplo, el AD620, un amplificador importante para la elaboración del proyecto cuesta S/25 cada uno y se necesita varios. También se necesita crear una placa impresa de doble cara no es viable usando el método de planchado ya que este solo dará una cara. Para doble cara se debe pedir y cuesta más.

Otro limitante es que a pesar de tener softwares que nos permite analizar señales como MatLab, tenerlas es muy complicado. A menos que tengamos una máquina real para analizar las señales, es inviable tener las mismas y menos si no se lo tiene en físico.

II. FUNDAMENTACIÓN TEORICA:

A. Fundamentos fisiológicos del sistema auditivo:

El sistema auditivo es un sistema complejo que se encarga de la detección y procesamiento de las ondas sonoras para que puedan ser interpretadas por el cerebro como sonidos.

1. Fisiología del oído externo, medio e interno:

1.1. Oído Externo:

Pabellón Auricular (Oreja): Captura las ondas sonoras del entorno y las canaliza hacia el conducto auditivo externo.

Conducto Auditivo Externo: Canaliza el sonido hacia el tímpano.

Glándulas Sebáceas y Ceruminosas: Secretan cerumen (cera) para proteger el oído y evitar la entrada de partículas extrañas.

1.2. Oído Medio:

Tímpano (Membrana timpánica): Separa el oído externo del oído medio y vibra en respuesta a las ondas sonoras.

Osículos (Martillo, Yunque y Estribo): Transfieren las vibraciones del tímpano a la ventana oval del oído interno.

Cavidad Timpánica: Espacio lleno de aire que contiene los osículos.

Trompa de Eustaquio: Conecta la cavidad timpánica con la parte posterior de la garganta, equilibrando la presión del aire en el oído medio con la del ambiente.

1.3. Oído Interno (Laberinto Óseo y Membranoso):

Laberinto Óseo: Contiene la cóclea (órgano de la audición) y el vestíbulo (órgano del equilibrio).

Cóclea: Transforma las vibraciones sonoras en señales eléctricas que son enviadas al cerebro a través del nervio auditivo.

Vestíbulo: Contiene los órganos del equilibrio, utrículo y sáculo, que detectan la posición y los movimientos de la cabeza.

3. *Perdidas auditivas:*

3.1. *Pérdida Auditiva leve:*

Rango de pérdida: 20-40 dB.

Dificultad para escuchar sonidos suaves o hablar en entornos ruidosos.

Puede afectar la comprensión del habla, especialmente en ambientes ruidosos.

3.2. *Pérdida Auditiva moderada:*

Rango de pérdida: 41-55 dB.

Dificultad para escuchar conversaciones normales sin ayuda auditiva.

La comprensión del habla puede ser significativamente afectada.

3.3. *Pérdida Auditiva moderadamente severa:*

Rango de pérdida: 56-70 dB.

Puede tener dificultades para entender el habla incluso con amplificación.

La interacción social puede ser afectada, y se puede requerir ayuda auditiva.

3.4. *Pérdida Auditiva severa:*

Rango de pérdida: 71-90 dB.

Dificultad significativa para entender el habla sin una ayuda auditiva potente.

Puede depender en gran medida de la lectura labial o el lenguaje de señas.

3.5. *Pérdida Auditiva profunda:*

Rango de pérdida: 91 dB a 120 dB.

Dificultad extrema para escuchar y entender el habla incluso con amplificación.

Dependencia significativa de la lectura labial o el lenguaje de señas.

3.6. *Pérdida Auditiva severa a profunda:*

Rango de pérdida: Mayor de 120 dB.

Poca o ninguna capacidad para escuchar sonidos incluso con el uso de dispositivos auditivos.

La comunicación se basa principalmente en el lenguaje de señas u otras formas visuales.

B. Fundamentos de las señales acústicas:

Las señales acústicas son un movimiento mecánico que se acelera de un medio flexible como el aire, resultando de la liberación de la energía de alteración de un material como el tímpano.

El sonido es una fluctuación en la presión de aire, el número de fluctuaciones de la presión del aire con respecto al tiempo determina la frecuencia.

C. Pruebas clínicas de los potenciales evocados auditivos:

Estas pruebas son señales bioeléctricas generadas en el sistema nervioso como resultado a un estímulo y comprende una herramienta imprescindible que diagnostica el sistema nervioso y las diferentes vías sensoriales.

El potencial evocado auditivo (PEA) es un conjunto de inscripción de movimiento bioeléctrica cerebral ocasionada en el nervio auditivo como producto a un estímulo sonoro. Se representa capturando típicamente como un conjunto de ondas generadas en diferentes porciones de la vía auditiva. Estas ondas se pueden clasificar de la siguiente forma:

1. PEA tempranos:

La que aparece en los primeros instantes (0 a 10 ms) luego de la aplicación del estímulo.

2. PEA medios:

Aparece entre los 10 ms y los 80 ms después del estímulo.

3. PEA tardíos:

Refleja la activación de las áreas de asociación secundaria y se reflejan luego de los 80 ms hasta los 500 ms.

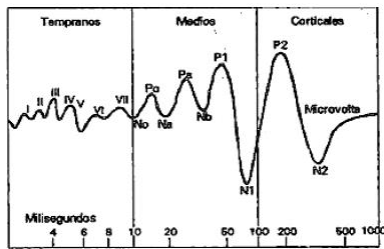


Figura 2: Tipos de onda del PEA con respecto al tiempo

D. Equipos de audiometría de los potenciales evocados auditivos:

1. Audiómetro:

Permiten analizar el umbral auditivo, ósea la mínima magnitud audible para cada frecuencia analizada, conocida como audiometría umbral.

1.1. Intensidad de estímulo:

La intensidad puede ajustarse independientemente de los dos canales de estimulación, ya sea en los oídos izquierdo y derecho. El rango de audición humana está entre los -10 dB a los 115 dB. Y aunque un dialogo entre personas se percibe entre los 60 dB, un sonido que supere los 85 dB puede considerarse dañino.

2. Sistema de potencial evocado auditivo:

2.1. Latencia:

Intervalo de tiempo entre la presentación del estímulo y un valor pico de la respuesta.

2.2. Intensidad:

A medida que disminuye la magnitud de estímulo, los picos de latencia aumentan lentamente para intensidades entre los 60 y 90 dB. La amplitud de las respuestas disminuye.

2.3. Amplitud:

Los rasgos de amplitud se encuentran entre los 0.1 y 1 μ V.

2.4. Frecuencia de señal de estímulo:

La frecuencia en un PEA se configura con respecto a los estímulos que se utiliza para la estimulación, dependiendo de la clasificación de del PEA ya sea en régimen transitorio o en régimen de estado estable. Las frecuencias podrán ser lentas cuando utiliza estímulos de potencial evocado auditivo de tronco cerebral, las frecuencias rápidas se dan cuando utiliza estímulos de potencial evocado auditivo de estado estable.

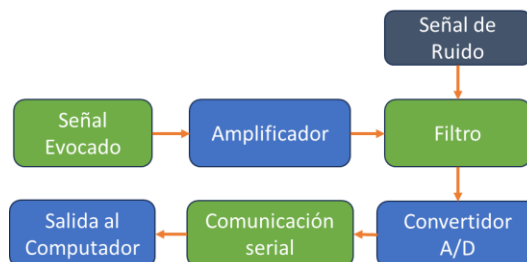
2.5. Frecuencia de reproducción de audio:

El equipo médico trabaja con dos protocolos de estimulación auditiva, por la metodología del quipo el rango de reproducción de audio está entre los 11025 Hz hasta los 96 kHz.

3. Equipos comerciales de estimulación auditiva:

Equipos comerciales	Canales de estimulación	Intensidad sonora máxima	Frecuencia máxima
Chartr EP 200	2	132 dB SPL	8 kHz
Epicplus pro	2	Sin especificar	10 kHz
Titan	2	80 dB SPL	10 kHz
Audiómetros de screening	2	100 dB HL	8 kHz
Audiómetro Audixi	2	120 dB HL	8 kHz
Audímetro Amplivox	2	100 dB HL	8 kHz

III. METODOLOGÍA:



E. *Análisis de requerimientos:*

1. *Amplificadores:*

1.1. *AD620:*

El AD620 es un amplificador de instrumentación, lo que significa que está diseñado para medir pequeñas diferencias de voltaje en presencia de ruido común. Este dispositivo es fabricado por Analog Devices y es ampliamente utilizado en aplicaciones de medición de sensores y transductores.

El AD620 es un amplificador de instrumentación de bajo ruido y alto rendimiento. Está diseñado para amplificar la diferencia de voltaje entre dos entradas mientras rechaza las señales comunes presentes en ambas entradas. La ganancia del amplificador es de 10000.

El AD620 está diseñado para ofrecer un rendimiento de bajo ruido, lo que lo hace adecuado para aplicaciones de medición de señales débiles como las señales evocadas.

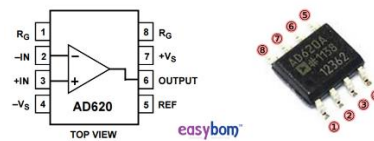


Figura 3: AD620 y sus pines

2. *Fuente fija:*

El circuito para el análisis del sistema evocado tiene varias etapas que requerirán partes fijas de voltaje, ya sea 3.3V, 5V o 9V. Una placa que tenga la fuente fija en los valores necesarios

3. *Selección de electrodos:*

Para que un electrodo puede ser capaz de generar un potencial lo suficientemente grande para permitir el procesamiento de la señal, se debe tomar en cuenta el potencial del electrodo del material.

Material del electrodo	Potencial del electrodo (V)
Aluminio+++/Aluminio	-1.66
Titania+++/Titanio	-1.63
Cromio+++/Cromio	-0.7

Hierro+++/Hierro	-0.44
Níquel++/Níquel	-0.14
Plomo++/Plomo	-0.13
Hidrogeno++/Hidrogeno	0
Cobre++/Cobre	+0.34
Plata++/Plata	+0.80
Platino++/Platino	+1.2
Oro+/Oro	+1.7

Los electrodos que se usan para los potenciales evocados suelen ser de oro y plata.

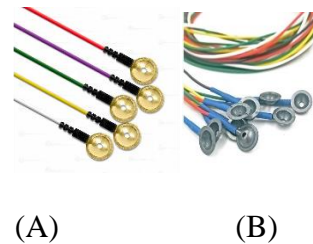


Figura 4: Electrodo A) de oro B) de plata

4. Etapas de parte analógica:

4.1. Acoplamiento de impedancias:

También conocido como transformador de impedancias, es utilizado para igualar o acoplar las impedancias eléctricas entre dos sistemas o componentes electrónicos. La impedancia es una medida de la oposición que presenta un circuito al flujo de corriente alterna, y su valor puede estar compuesto tanto por resistencia como por reactancia.

El propósito principal del circuito de acoplamiento de impedancias es maximizar la transferencia de energía entre dos dispositivos o etapas del circuito, garantizando que la impedancia de salida de uno coincida con la impedancia de entrada del otro. Este acoplamiento eficiente ayuda a evitar reflexiones de señal, pérdidas de potencia y distorsiones en la transmisión de la señal.

4.2. Amplificación:

Tras el acoplamiento de la impedancia de la señal, ahora lo que se hace es amplificar la señal con un circuito de amplificación de instrumentación.

Un circuito de amplificación de instrumentación (IA, por sus siglas en inglés, Instrumentation Amplifier) es un tipo especial de amplificador diseñado para proporcionar una alta ganancia de voltaje, rechazo de modo común y una alta

impedancia de entrada. Este tipo de amplificador es comúnmente utilizado en aplicaciones donde la precisión y la supresión del ruido son críticas, como en la adquisición de datos de sensores, instrumentación médica, sistemas de medición de precisión, entre otros.

Este circuito consiste normalmente en tres amplificadores y varias resistencias.

4.3. *Filtro:*

Las señales que se mantienen se deben disminuir el ruido para que sea lo mejor exacto, especialmente para las señales cuya frecuencia no son en las señales dadas en la teoría las señales evocadas.

Las señales de los potenciales evocados auditivos están comprendidas entre el 1kHz a los 5kHz. También hay frecuencias que se puede considerar eliminar, en cuyo caso podemos hacer un circuito rechaza banda. Para esto se planteó usar un filtro Sallen-Key.

El filtro Sallen-Key es un tipo de filtro activo que se utiliza comúnmente para implementar funciones de transferencia de segundo orden en el dominio de la frecuencia. Puede ser diseñado para actuar como un filtro pasa banda o un filtro rechaza banda. La configuración básica de un filtro Sallen-Key utiliza amplificadores operacionales y componentes pasivos como resistores y condensadores.

5. *Digitalización:*

Una conversión analógica-digital consiste en la transcripción de señales analógicas en señales digitales, con el propósito de facilitar su procesamiento (encriptación, compresión, etc.) y hacer la señal resultante (la digital) más inmune al ruido y otras interferencias a las que son más sensibles las señales analógicas.

Para hacer el proceso de conversión digital de la señal (potenciales evocados auditivos) se deben tener en cuenta los siguientes aspectos:

- Frecuencia a la que se va a muestrear la señal.
- El tiempo de conversión mínimo del convertidor A/D.
- El tiempo que tarda el dispositivo de almacenamiento en registrar una muestra de señal

5.1. *Muestreo*

El muestreo consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toman esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo. El intervalo de tiempo entre cada 2 instantes de muestreo consecutivos es igual a “TS” segundos y se le denomina periodo de muestreo (TS).

5.2. *Retención*

Las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención, el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Es el que se emplea en la práctica consiste en tomar la muestra y retener el valor un cierto tiempo hasta que comience el próximo período de muestreo.

5.3. *Cuantificación*

Durante el proceso de cuantificación se mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras, obtenidas en el proceso de muestreo, y se le atribuye a un valor finito (discreto) de amplitud, seleccionado por aproximación dentro de un margen de niveles previamente fijado. Los valores preestablecidos para ajustar la cuantificación se eligen en función de la propia resolución que utilice el código empleado durante la codificación. Si el nivel obtenido no coincide exactamente con ninguno, se toma como valor el inferior más próximo.

5.4. *Codificación*

La codificación es el último de los procesos que tiene lugar durante la conversión analógica-digital. La codificación consiste en la traducción de los valores de tensión eléctrica analógicos que ya han sido cuantificados (ponderados) al sistema binario, mediante códigos preestablecidos. La señal analógica va a quedar transformada en un tren de impulsos digital (sucesión de ceros y unos). La codificación que se realiza mediante el sistema binario está basada en el álgebra de Boole.

6. *Comunicación serial:*

La comunicación realizada con el puerto serial es una comunicación asíncrona. Para la sincronización de una comunicación se precisa siempre de un bit adicional a

través del cual el emisor y el receptor intercambian la señal del pulso. Pero en la transmisión serial a través de un cable de dos líneas esto no es posible ya que ambas están ocupadas por los datos y la tierra. Por este motivo se intercalan antes y después de los datos de información de estado según el protocolo RS-232. Esta información es determinada por el emisor y el receptor al estructurar la conexión mediante la correspondiente programación de sus puertos seriales.

7. Salida a computadora:

La computadora es la encargada del almacenamiento y procesamiento gráfico de los registros. Los registros enviados por el circuito electrónico son almacenados en la memoria de la computadora creando una representación virtual del registro. Cuanto mayor sea el número de puntos capaz de obtener la computadora mayor será la similitud entre el registro analógico obtenido y la representación virtual almacenada. Para el registro gráfico se utilizará el software LabVIEW. LabVIEW es una herramienta gráfica para pruebas, control y diseño mediante la programación. El lenguaje que usa se llama lenguaje G, donde la G simboliza que es lenguaje Gráfico.

F. Diseño conceptual:

1. Diseño del módulo de estimulación:

1.1. Acoplamiento de señales bioeléctricas:

En los registros de PEA, la disposición de los electrodos en la superficie craneal sigue una normativa específica, conocido como el Sistema Internacional de Nomenclatura de Electrodos 10-20.

1.2. Selección de electrodos:

Los electrodos convierten corrientes iónicas en corrientes de electrones. Se utilizan electrodos Ag-AgCl, que son discos de plata con un electrolito (gel o pasta conductora). Se utilizan invariablemente debido a sus propiedades de estabilidad y reducción del ruido.

1.3. Fase de acoplamiento:

Se utilizan invariablemente debido a sus propiedades de estabilidad y reducción del ruido.

En este circuito, se ha colocado

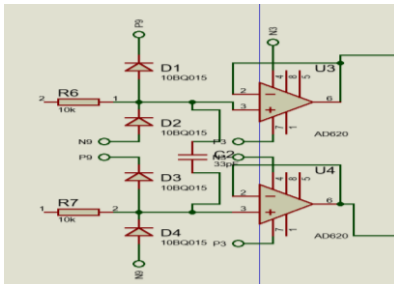


Figura 5: Espectro de frecuencia del canal 11 (oído izquierdo)

1.4. Amplificación:

Como las señales de los potenciales evocados son pequeñas, es necesario que se den una alta amplificación. En este caso, usaremos la siguiente formula que se da a través de un cálculo de las leyes de Kirchhoff.

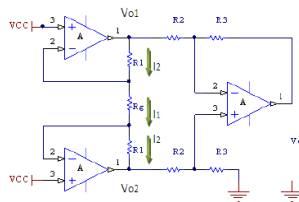


Figura 6: Diagrama de la amplificación de la señal

$$V_0 = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_G} \right) (V_2 - V_1)$$

Por lo tanto, se determina la siguiente ganancia:

$$G_D = \frac{R_3}{R_2} \left(1 + 2 \frac{R_1}{R_G} \right)$$

Determinamos los valores:

$$R_1 = 20k\Omega$$

$$R_2 = 500\Omega$$

$$R_3 = 50k\Omega$$

$$R_G = 1k\Omega$$

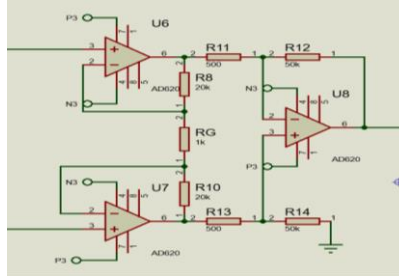


Figura 7: Circuito de la amplificación de la señal en proteus

1.5. Filtros analógicos:

En el contexto de la detección de potenciales evocados auditivos (PEA), se utilizan filtros analógicos para preprocesar las señales eléctricas registradas y mejorar la calidad de las respuestas evocadas. Estos filtros ayudan a eliminar el ruido no deseado y a resaltar las componentes de interés de la señal.

Las señales que los potenciales evocados auditivos son entre 1kHz y 5kHz, el filtro pasa banda debe estar entre esos rangos sí o sí.

Filtro pasa baja:

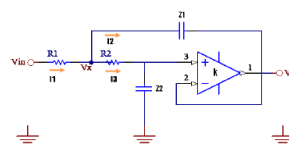


Figura 8: Diagrama del filtro pasa bajo

La función de transferencia del filtro es el siguiente:

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{k}{R_1 R_2 C_1 C_2 s^2 + [(R_1 + R_2) C_2 + R_1 C_1 (1 - k)] s + 1}$$

Donde k está relacionado con la ganancia de realimentación del amplificador operacional utilizado en el filtro Sallen-Key. La ganancia de realimentación.

K puede ajustarse variando la resistencia o la relación resistiva en la red de realimentación del amplificador operacional.

Es por esta razón por la que el amplificador debe tener buena ganancia y poco ruido. Como k está entre 0 a 1, lo ideal es que tenga una retroalimentación completa ($k=1$) y un amplificador sin mucha pérdida es óptimo, acercándose a ese valor.

$$f_c = \frac{1}{2\pi\sqrt{R_1R_2C_1C_2}}$$

$$\frac{\omega_c}{Q} = \frac{1}{C_2} \left(\frac{1}{R_1} + \frac{1}{R_2} \right)$$

Valores para que haya un valor óptimo ($f_c=1\text{kHz}$ y $Q=0.707$).

$$R_1 = R_2 = 22507.9\Omega$$

$$C_1 = 10\text{nF}$$

$$C_2 = 5\text{nF}$$

La razón por la que las resistencias son las que toman los decimales es porque son más fáciles de variar con una resistencia variable, incluso pequeña. Los capacitores si bien hay variables son más difíciles de conseguir, incluso algunos están descontinuados.

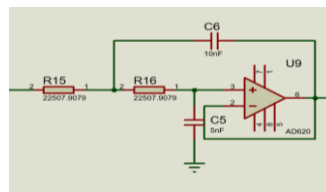


Figura 9: Filtro pasa bajo en proteus

Filtro pasa alta:

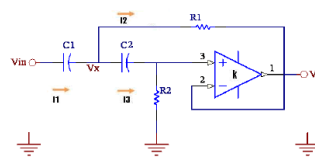


Figura 10: Diagrama del filtro pasa alta

En este circuito se trata de limitar las señales de las frecuencias mayores. El funcionamiento es similar al de la pasa bajos, con la diferencia de que está “invertido” las resistencias y capacitores. La función de transferencia del circuito es la siguiente.

$$\frac{V_0}{V_i} = \frac{kR_1R_2C_1C_2s^2}{R_1R_2C_1C_2s^2 + [(R_1 + R_2)C_2 + R_1C_1(1 - k)]s + 1}$$

Valores para que haya un valor optimo (fc=1kHz).

$$R_1 = R_2 = 3183.099\Omega$$

$$C_1 = C_2 = 10nF$$

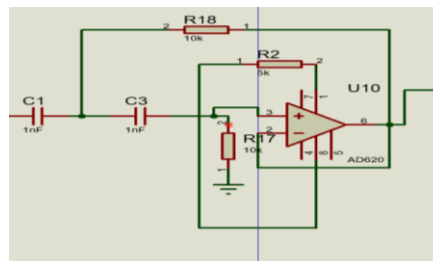


Figura 11: Filtro pasa alta en proteus

1.6. Conversión analógico-digital:

En el contexto de transformar las señales analógicas a digitales, ya no se puede usar objetos simples, a menos no de una manera cómoda. Para esta conversión lo que se usa son microcontroladores.

Un microcontrolador es un dispositivo compacto que integra un procesador central, memoria, periféricos de entrada/salida y otros componentes necesarios para realizar tareas específicas en un sistema embebido. Está diseñado para ejecutar programas almacenados en su memoria y controlar diferentes dispositivos y periféricos. Un microcontrolador como el PIC18F4550, fabricado por Microchip, es ampliamente utilizado en aplicaciones que requieren el procesamiento de señales analógicas y digitales.

Para transformar una señal analógica a digital (A/D), el PIC18F4550, al igual que muchos otros microcontroladores, cuenta con un convertidor analógico a digital (ADC).

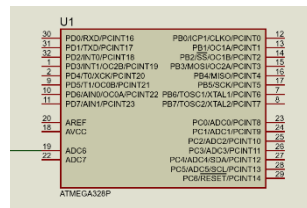


Figura 12: Atmega 328P

G. MatLab:

MATLAB, que significa MATrix LABoratory, es un entorno y lenguaje de programación de alto rendimiento que se utiliza principalmente para computación numérica, análisis y visualización de datos. Desarrollado por MathWorks, MATLAB proporciona un conjunto completo de herramientas para la manipulación de matrices, implementación de algoritmos, modelado, simulación y creación de interfaces gráficas de usuario.

MATLAB es ampliamente utilizado en el análisis de señales debido a sus capacidades especializadas en procesamiento de señales y comunicaciones. Algunas de las características y herramientas específicas de MATLAB para el análisis de señales incluyen:

1. Funciones de Procesamiento de Señales:

MATLAB proporciona una amplia gama de funciones específicas para el procesamiento de señales, como filtrado, convolución, transformadas (por ejemplo, la Transformada de Fourier), análisis espectral y más.

2. Toolbox de Procesamiento de Señales:

MATLAB cuenta con la Signal Processing Toolbox, que incluye funciones y herramientas especializadas para el diseño de filtros, análisis de sistemas lineales, extracción de características y técnicas avanzadas de procesamiento de señales.

3. Visualización Espectral:

La capacidad de generar gráficos y visualizaciones espectralmente ricas es crucial en el análisis de señales. MATLAB ofrece herramientas para crear representaciones visuales claras de dominios de frecuencia y tiempo, como espectrogramas y diagramas de dispersión.

IV. RESULTADOS:

A. Diseño y desarrollo:

1. Diseño de electrodos:

Se ha hecho un diseño donde puede estar los electrodos en general.

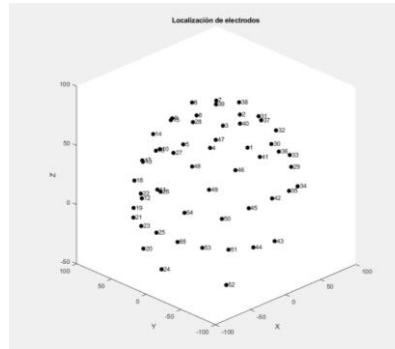


Figura 13: Diseño de ubicación de electrodos 3D

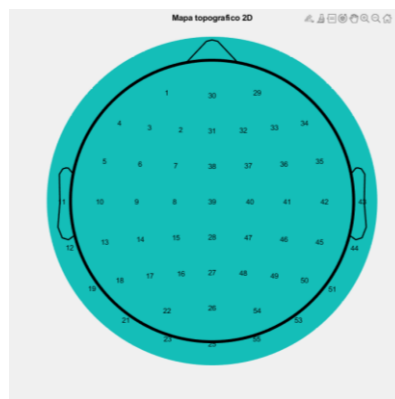


Figura 14: Diseño de ubicación de electrodos 2D

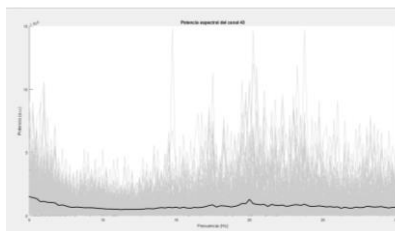


Figura 15: Espectro de frecuencia del canal 43 (oído derecho)

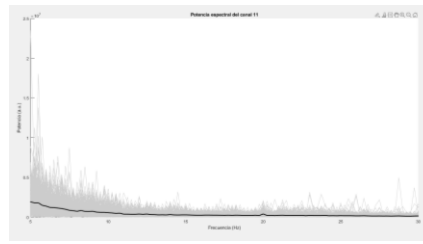


Figura 16: Espectro de frecuencia del canal 11 (oído izquierdo)

B. Diseño electrónico:

Diseño de la placa PCB del circuito:

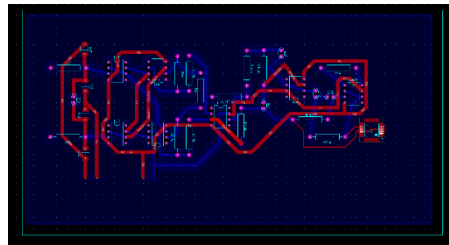


Figura 17: Diseño de la placa PCB del circuito

C. Diseño de software:

1. Software de análisis en MatLab:

```
close all; clear; clc
```

```
% Cargar datos
```

```
load SSVEPdata.mat
```

```
% Inspeccionar la estructura
```

```
whos
```

```
EEG
```

```
%% Localización de electrodos 3D
```

```
figure(1), clf
```

```
% Posición de electrodos 3D
```

```
plot3([EEG.chanlocs.X],[EEG.chanlocs.Y],[EEG.chanlocs.Z],'ko','markerfacecolor',  
r','k')
```

```

% draw the text labels

hold on

for i=1:EEG.nbchan

    text(EEG.chanlocs(i).X+3,EEG.chanlocs(i).Y,EEG.chanlocs(i).Z,num2str(i))

end

% make the plot look nicer and more interactive

xlabel('X'), ylabel('Y'), zlabel('Z')

title('Localización de electrodos')

rotate3d on

axis square

%% plot of electrode locations in 2D

% plot ERPs for dimension-specific averaging

figure(2), clf

% show an empty topoplot

topoplotIndie(zeros(EEG.nbchan,1),EEG.chanlocs,'electrodes','numbers');

title('Mapa topografico 2D')

%% spectral analysis

% soft-code a channel to plot

%chan2plot = 22;

chan2plot = 11;

% FFT of one channel

channelPower = zeros(EEG.pnts,EEG.trials);

for triali=1:EEG.trials

    channelPower(:,triali) = abs(fft(EEG.data(chan2plot,:,triali))).^2;

end

```

```
% without a loop

channelPower = squeeze(abs(fft(EEG.data(chan2plot, :, :), [], 2)).^2);

% vector of frequencies

hz = linspace(0, EEG.srate/2, floor(EEG.pnts/2)+1);

%% visualization

figure(3), clf, hold on

h = plot(hz, channelPower(1:length(hz), :));

plot(hz, mean(channelPower(1:length(hz), :), 2), 'k', 'linew', 2)

% set all individual lines to black

set(h, 'color', .8*ones(3,1))

% pretty the plot

% set(gca, 'xlim', [5 30])

set(gca, 'xlim', [5 30])

xlabel('Frecuencia (Hz)')

ylabel('Potencia (a.u.)')

title(['Potencia espectral del canal ' num2str(chan2plot) ])
```

2. Código del quemado del Atmega328P en Arduino:

```
const int pinAnalogo = A0;

void setup() {

    pinMode(pinAnalogo, INPUT);

}

void loop() {

    int valorAnalogo = analogRead(pinAnalogo);
```



```
delay(1000); // Espera 1 segundo (1000 milisegundos) antes de leer nuevamente.
```

```
}
```

3. *Software de transformación de analógico a digital:*

Para la conversión de la señal analógicas digitales se aprovechó el conversor ADC del microcontrolador ATmega328, para que sea más dinámico la visualización tanto como el uso se optó por crear un panel de control, para el desarrollo de la programación y panel de control se usó el programa LabVIEW.

- *Código del quemado del Atmega328P en Arduino:*

```
const int pinAnalogo = A0;
```

```
void setup() {
```

```
    pinMode(pinAnalogo, INPUT);
```

```
}
```

```
void loop() {
```

```
    int valorAnalogo = analogRead(pinAnalogo);
```

```
    delay(1000); // Espera 1 segundo (1000 milisegundos) antes de leer nuevamente.
```

```
}
```

- *Diagrama de bloques:*

Para la conexión entre el microcontrolador se usó la librería LINX, se usó el pin analógico A0 y la conexión por puerto serial.

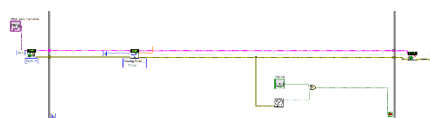


Figura 18: Conexión al PIN A0

Para generar el estímulo, se usará un bip de 10KHz , el valor de la frecuencia puede ser variado dependiendo del paciente.

Al ser iniciado el estímulo se mandará una señal hacia el temporizador para iniciar la cuenta, una vez detectado el primer pico de tensión se mandará al paro del temporizador, esto determinara la latencia, esta prueba se debe realizar varias veces, los datos recopilados serán guardados en un Excel para el posterior análisis.

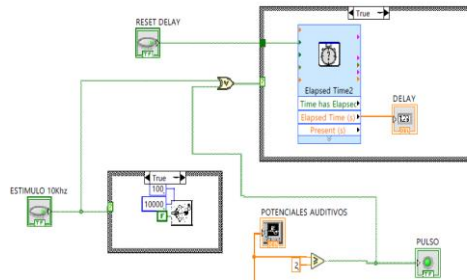


Figura 19: Recopilación de datos a Excel

Cada detección de un pico de tensión será notificada por un sonido e indicador interactivo en forma de oreja en el panel de control,

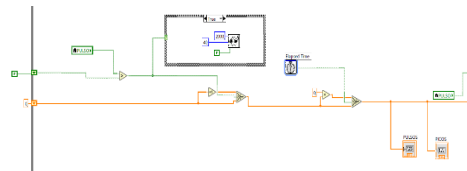


Figura 20:

Dados los datos obtenidos, tanto de tensión ,latencia , hora y fecha en el que se realizo la prueba será guardado en un archivo Excel para el posterior analisis.

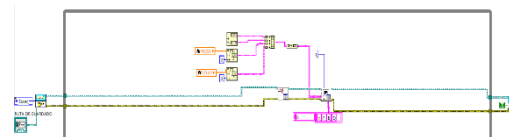


Figura 21:

Por último, se tiene un panel de control donde se podrá controlar el inicio, los estimulas y visualizar los picos de tención mientras se realizan las pruebas al paciente.



Figura 22:

Diagrama de bloques completo:

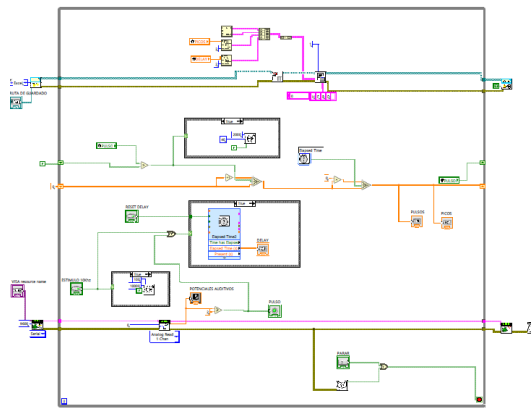


Figura 23:

V. **PRECIOS:**

Amplificador AD620: S/10 c/u en línea y S/25 c/u en Paruro.

Resistencias: S/0.10 c/u.

Capacitores: S/0.10 c/u.

Diodos 10BQ015 o 10BQ040: S/1.20 c/u.

Electrodo: Entre S/5 a S/10 c/u.

ATMega3028P: S/30 c/u

VI. DISCUSIÓN DE RESULTADOS:

1. Resultados:

Efectos de la Lesión Cerebral en Potenciales Evocados Auditivos: Se menciona cómo el estudio demostró que las lesiones cerebrales, particularmente las conmociones cerebrales, tienen un impacto significativo en las respuestas de los potenciales evocados auditivos en lechones jóvenes. Destaca cómo las amplitudes y latencias de las respuestas auditivas se ven afectadas en los grupos experimentales.

Diferencias en Respuestas entre Tipos de Lesiones: Resalta las diferencias encontradas entre los grupos experimentales que experimentaron diferentes tipos de lesiones cerebrales, como RNR simple, RNR repetido y simulado. Esto podría ser relevante al evaluar la factibilidad de implementar una máquina de potenciales evocados auditivos, ya que diferentes lesiones pueden requerir enfoques de evaluación y rehabilitación específicos.

Diferencias en Respuestas entre Regiones del Cerebro: Se menciona cómo el estudio identificó diferencias significativas en las respuestas cerebrales en diferentes regiones del cerebro en relación con los estímulos auditivos. Esto podría influir en la ubicación y el enfoque de la implementación de una máquina de potenciales evocados auditivos.

Cambios Temporales en las Respuestas Cerebrales: Resalta los cambios significativos en las amplitudes y las densidades de corriente en diversas regiones cerebrales y momentos temporales, especialmente antes y después de la lesión. Esto podría indicar la necesidad de seguimiento y evaluación a lo largo del tiempo al utilizar la máquina de potenciales evocados auditivos en casos de lesiones cerebrales.

Datos Cuantitativos: Se utiliza los datos cuantitativos proporcionados en la tabla que muestra la media y la desviación estándar de las velocidades y aceleraciones angulares en los grupos de animales sometidos a diferentes tipos de lesiones. Esto puede respaldar la utilidad y la importancia de utilizar máquinas de potenciales evocados auditivos para evaluar los efectos de las lesiones cerebrales.

Relevancia para la Evaluación de Lesiones Cerebrales en Humanos: Si es aplicable, se puede destacar cómo los resultados en lechones pueden tener implicaciones para la evaluación de lesiones cerebrales en humanos, lo que subraya la importancia de la implementación de máquinas de potenciales evocados auditivos en la práctica clínica.

2. *Recursos:*

Datos Experimentales: Los datos cuantitativos recopilados en el estudio, como las amplitudes y latencias de las respuestas de potenciales evocados auditivos en lechones con conmoción cerebral, son recursos fundamentales para respaldar la necesidad de implementar una máquina de potenciales evocados auditivos. Estos datos pueden destacar cómo la máquina podría ayudar en la evaluación precisa de los efectos de la conmoción cerebral en el procesamiento auditivo.

Comparaciones entre Grupos Experimentales: Las comparaciones entre los diferentes grupos experimentales, como aquellos sometidos a RNR simple, RNR repetido y lesiones simuladas, pueden proporcionar información sobre cómo la implementación de la máquina puede ser beneficiosa para evaluar y diferenciar los efectos de diferentes tipos de lesiones cerebrales.

Diferencias en Respuestas entre Regiones del Cerebro: Los resultados que muestran diferencias significativas en las respuestas cerebrales en diversas regiones del cerebro en relación con los estímulos auditivos pueden respaldar la necesidad de una máquina de potenciales evocados auditivos que sea capaz de mapear y evaluar específicamente estas regiones.

VII. CONCLUSIONES:

Los potenciales evocados auditivos (PEA), especialmente los de tronco cerebral (PEATC), destacan como una herramienta esencial para evaluar la función auditiva en pacientes con trastornos auditivos, al proporcionar información clave sobre la posible localización de lesiones en el sistema auditivo. La técnica no invasiva de colocar electrodos en el cuero cabelludo para medir estos potenciales evocados auditivos se revela como un método efectivo en la evaluación de la función auditiva cerebral. La viabilidad de implementar máquinas de potenciales evocados auditivos se respalda con evidencia sólida proveniente de diversos estudios que abordan su desarrollo y aplicación

práctica. Además, el progreso tangible en el diseño e implementación de dispositivos para captar y transmitir estos potenciales evocados auditivos del tronco cerebral, como se detalla en el trabajo de grado mencionado, indica avances concretos en esta área.

La investigación en potenciales evocados auditivos en lactantes prematuros subraya la importancia de esta técnica en la detección temprana de problemas auditivos, especialmente en poblaciones vulnerables. La comparación entre diferentes técnicas, como los potenciales evocados auditivos de estado estable y los potenciales evocados auditivos de tronco cerebral, sugiere que la detección automática puede mejorar significativamente la eficiencia del proceso de evaluación audiológica. En general, los estudios revisados respaldan la posibilidad de diseñar y construir dispositivos capaces de capturar y transmitir señales eléctricas generadas por el cerebro en respuesta a estímulos auditivos, lo cual se presenta como fundamental para el diagnóstico y seguimiento de trastornos auditivos. Los hallazgos neurofisiológicos presentados en los artículos revisados ofrecen perspectivas valiosas que tienen el potencial de contribuir significativamente a la mejora continua de las técnicas utilizadas en la detección de PEATC.

El precio que se genera para generar una máquina de los potenciales evocados es compleja por las débiles señales que se procesa. El AD620, un elemento importante para el procesamiento de las señales tiene un precio elevado. Y aunque las resistencias y capacitores son relativamente baratos, como se requieren bastantes es lo que hace que el precio se eleve. Además, la placa debe ser de tipo doble cara y ello significa que debe ser del tipo plástico, es decir, sellada en ambas caras. Esa placa solo se puede mandar a fabricar, el método del uso de baquelita no es viable.

VIII. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS:

Cristian Sebastián Landi Nieto y Kleber Alfonso Vásquez Ramón. Diseño e implementación de un prototipo de estimulación auditiva para aplicaciones de potencial evocado auditivo y audiometría. Cuenca, Ecuador, 2022.

Juan Paúl Ortiz Gonzales y Manuel Jeová Reinoso Avecillas. Diseño y construcción de un prototipo de electroencefalografía para adquisición de señales cerebrales. Cuenca, Ecuador, 2010.

<https://www.youtube.com/watch?v=B9ti7boa9jc&t=23s>

<https://www.alldatasheet.com/datasheet-pdf/pdf/48090/AD/AD620.html>

“Estímulos auditivos para la generación de PEA”. Tecnura, vol. 12, no 23, pp. 81-88, 2008.

“Cómo proteger a los pacientes de posibles fallas eléctricas: resúmenes de diseño médico”.

<http://www.medicaldesignbriefs.com/component/content/article/mdb/features/technology-leaders/35777> (acceso 22 de junio del 2021).

Bryan W. Evans y traducido por José Manuel Ruiz Gutiérrez. Manual de programación Arduino. Primera edición, agosto del 2007. San Francisco, California, EEUU.

Financiamiento de la investigación

Con recursos propios.

Declaración de intereses

Declaro no tener ningún conflicto de intereses, que puedan haber influido en los resultados obtenidos o las interpretaciones propuestas.

Declaración de consentimiento informado

El estudio se realizó respetando el Código de ética y buenas prácticas editoriales de publicación.

Derechos de uso

Copyright© 2023 por **Julio César Casquero Zaidman,**
Alvarado Rojas Hecto Ángel, García Medina Sebastián,



Kanashiro Huicho Adolfo Yuichiro, Mejía Lázaro Rodrigo, Villafuerte Santa Cruz Alexander

Este texto está protegido por la [Licencia Creative Commons Atribución 4.0 Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by/4.0/).

Usted es libre para compartir, copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato y adaptar el documento, remezclar, transformar y crear a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente, siempre que cumpla la condición de atribución: usted debe reconocer el crédito de una obra de manera adecuada, proporcionar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que tiene el apoyo del licenciante o lo recibe por el uso que hace.