

Conceptos

Vestíbulo coclear

“sensitiva: equilibrio y audición. Compuesto por nervios vestibular y coclear. Nervio coclear: su disfunción induce tinnitus, hipoacusia. Nervio vestibular: vértigo, por lo regular posicional (véase tabla más adelante). Nistagmo: vertical/horizontal/ rotatorio. S/s generales: diaforesis, n/v, taquicardia, hipotensión.”

Nistagmos

“El nistagmo es una oscilación, rítmica e involuntaria, de los ojos. Al encontrar esta condición es un paciente es importante conocer y comprender los mecanismos por los que el nistagmo puede ocurrir, pero antes que eso, es fundamental conocer los componentes que conforman el sistema encargado de mantener la imagen de un objeto en la fovea y la integración neuronal con los movimientos oculomotores para mantener una adecuada posición de los ojos y pueden presentarse de las siguiente manera:

- De un lado a otro (nistagmo horizontal)
- Arriba y abajo (nistagmo vertical)
- Rotatorio (nistagmo rotatorio o de torsión)”

Electronistagmografía (ENG)

“La electronistagmografía (ENG; por su sigla en inglés) es un procedimiento que se utiliza para evaluar a las personas con vértigo (una falsa sensación de estar dando vueltas o en movimiento que puede provocar mareos) y otros trastornos que afectan la audición y la visión. Se colocan electrodos encima y debajo del ojo para registrar la actividad eléctrica. A través de la medición de los cambios en el campo eléctrico dentro del ojo, la ENG puede detectar nistagmos (movimientos oculares rápidos e involuntarios) en respuesta a diversos estímulos.”

Estimulación galvánica vestibular (EGV)

“La estimulación galvánica vestibular (EGV) es una técnica de estimulación no invasiva que consiste en la inyección de corriente eléctrica a través de electrodos superficiales en la periferia auricular.”

Introducción

La estimulación galvánica vestibular (EGV) es un método de terapia no invasivo, donde se aplica una inyección de 1 - 5 mA de corriente, la morfología de la señal es cuadrada a una frecuencia de 40 Hz, cumpliendo con la ley de excitación donde la intensidad es de 1 - 5 mA durante 5 segundos utilizando electrodos con un diámetro de contacto de 1 centímetro sobre las apófisis mastoides bilateralmente.

El estabilizador postural, tiene como principio la detección de nistagmos a partir de electronistagmografía. Posteriormente, la aplicación de corriente eléctrica modulada generará la sensación de estabilidad visual.

Justificación

A través de los años la ciencia y las diversas ramas de las tecnologías han buscado en conjunto la detección de nistagmos, utilizando diferentes métodos de los cuales algunos son los siguientes:

1. Video- oculografía
2. Posturografía
3. Técnica de bobina escleral
4. Resonancia magnética
5. Técnica de impulso cefálico

Sin embargo, los anteriormente mencionados son costosos gracias a la instrumentación que se utiliza para emplearlos, es por ello que recurrimos a la electronistagmografía para la detección de nistagmos. La sociedad ha evolucionado y cada vez en más común los viajes espaciales, pero, ¿Cuales son las afecciones médicas sobre el ser humano?, entre la pérdida de masa muscular, densidad ósea y patologías asociada a la exposición constante a radiación, pero en este caso nos centraremos en el síndrome de adaptación espacial (SAS por sus siglas en inglés), el cual es una afección directa al sistema vestibular, debido a que la orientación y percepción espacial se ve alterada lo cual afecta al equilibrio, no obstante, aunque lo anteriormente mencionado fue lo que despertó el interés de la investigación y desarrollo del proyecto, existen otras diversas condiciones que propician la desestabilización vestibular, de las cuales se podrán mitigar las sintomatología asociada a mareos con el dispositivo desarrollado.

Hipótesis

Inyectar corriente sobre la apófisis mastoides estimula las neuronas que forman parte del octavo par craneal “Vestíbulo coclear”, si la inyección es bilateral y la frecuencia es controlada se

creará una tendencia a la estabilización vestibular, si provocamos la aparición de nistagmos en el individuo de forma controlada y logramos detectarlos correctamente, podremos estimular el vestíbulo coclear a través de EGV para mitigar paulatinamente los nistagmos en menor tiempo y controlar la intensidad de ellos.

Metodología

El proyecto se dividió en dos etapas, la etapa de control y la etapa de potencia, la etapa de control estuvo compuesta por electronistagmografía, mientras que la etapa de potencia estuvo compuesta por un electroestimulador TENS (por sus siglas en inglés Transcutaneous electrical nervous stimulation).

Etapa de control

Esta etapa se subdivide en dos etapas, donde la etapa inicial es a través de un sistema de hardware, posteriormente las señales adquiridas en la etapa anterior pasarán a una proceso en software.

Hardware

adquisición de señal analógica.

Las señales oculográficas se obtendrán a través de dos integrados AD620, debido a

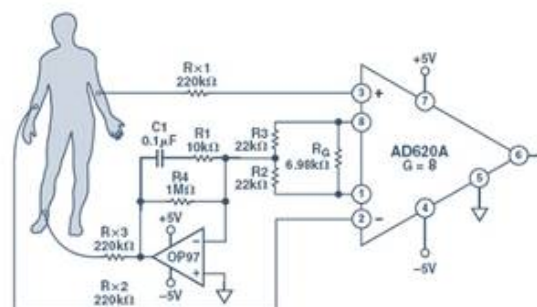
que el electronistagmograma será de dos derivaciones (Esto debido a la naturaleza propia de los nistagmos explicados en la primera página).

Cada integrado AD620 obtendrá la señal de una derivación (horizontal y vertical respectivamente) como se muestra en la figura 1.



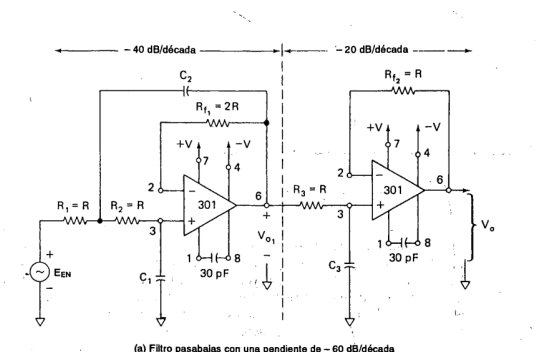
Figura 1. Derivaciones sistema adquisición.

Cada electrodo mide el potencial de acción de los músculos oculares, posteriormente tendrán que ser adquiridos por un sistema electrónico, el cual estará dado por el siguiente diagrama electrónico.

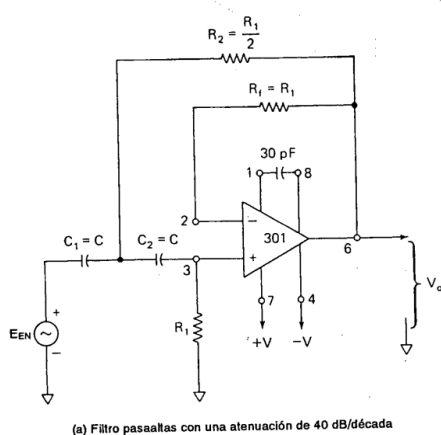


Etapas de filtrado analógico.

Los nistagmos suelen presentarse entre los 0.1 y 30 Hz según la sociedad internacional de electrofisiología clínica de la visión, sin embargo, es recomendable extender el ancho de frecuencia hasta los 40 Hz, con el fin de establecer un rango de error de 10 Hz, para el proceso de filtrado analógico se utilizó un sistema de filtro paso banda Butterworth en cascada con el circuito de adquisición el cual está compuesto por un filtro paso altas de 0.1 Hz de cuarto orden y un filtro paso bajas de 40 Hz de sexto orden.



(a) Filtro pasabajas con una pendiente de -60 dB/década



(a) Filtro pasaaltas con una atenuación de 40 dB/década

cabe mencionar que se realizaron dos filtros paso bandas espejados en cascada a la salida respectiva de cada sistema de adquisición.

Componentes utilizados:

TL081

Resistencias

Capacitores

Digitalización de las señales adquiridas

Como última proceso antecesor al procesamiento de las señales adquiridas las señales se ingresaran a un integrado ADC, el cual será la tarjeta ads1115, de la cual nos interesan las siguientes características:

1. Resolución de 64 bits
2. Frecuencia de muestreo de 475 SPS (Sample per second)
3. Ganancia programable

Su alta resolución nos permitirá obtener digitalmente con mayor precisión los datos analógicos, además, su frecuencia de muestreo al ser aproximadamente 10 veces mayor a la frecuencia máxima con la que estaremos trabajando, se cumple el teorema de Nyquist, sin embargo es justo la resolución necesaria para procesar digitalmente las señales sin ocasionar un sobremuestreo incorrecto.

En esta etapa se utilizó un ads1115 y dos capacitores de 10 nanofaradios, cada uno para cada derivación con la finalidad de atenuar las señales ruidosas.

Procesamiento digital

Una vez digitalizadas las señales, las cuales llamaremos “eje x” y “eje y” con nuestra tarjeta ADC ads1115, procederemos a procesar la señal en la tarjeta de computo Raspberry pi 4 model B, esto fue necesario gracias a su amplia capacidad de procesamiento de datos, y su flexible adaptación a ADC's integrados, cabe mencionar que la tarjeta de computo se configuró con Raspberry Pi OS Lite, esto con la finalidad de optimizar el uso de recursos computacionales, evitando el uso de aquellos que hagan que el sistema sea lento, en adición y con la finalidad de cuidar el consumo de corriente, se realizaron los siguientes ajustes a nuestra tarjeta de computo:

1. Ajustar la velocidad del CPU
2. Deshabilitar wifi y bluetooth
3. Añadir botón de encendido/apagado

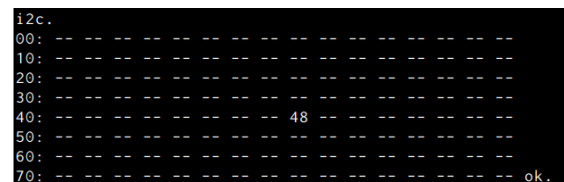
para alimentar nuestra tarjeta de computo adaptamos una power bank, con las siguientes características: $V_{out} = 5V$, 5000mah, siempre buscando la seguridad

de nuestra tarjeta de desarrollo y tarjeta sd (la cual era de 32 gb).

Los datos fueron enviado a la tarjeta de desarrollo a través del protocolo de comunicación i2c por lo que antes de comenzar a leer los datos era necesario corroborar que el protocolo de comunicación entre la tarjeta ads1115 y la tarjeta de desarrollo raspberry pi por ello se ejecuta el siguiente comando en la terminal:

```
sudo i2cdetect -y 1
```

una vez establecida la comunicación correctamente en la terminal debe aparecer el siguiente mensaje:



```
i2c.  
00: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
10: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
20: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
30: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
40: -- -- -- -- -- -- -- -- 48 -- -- -- -- -- -- -- --  
50: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
60: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- --  
70: -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- -- ok.
```

Esto establece que el puerto de comunicación es a través del SDA y SCL de la tarjeta de desarrollo.

Una vez establecido el protocolo de comunicación procederemos a crear el script de python donde aplicaremos distintos algoritmos para la detección de nistagmos.

El script de python está compuesto

inicialmente por la adquisición de datos por los puertos establecidos en el protocolo de comunicación i2c, una vez adquiridos los datos procederemos a filtrarlos digitalmente nuevamente con un filtro paso bandas Butterworth, en embargo esta vez utilizaremos el algoritmo Pan-Tompkins como referencia para la detección de nistagmos, el algoritmo Pan-Tompkins es utilizando para la detección de complejo QRS, sección que cuenta con características similares a la señales emitidas por los nistagmos.

Antes de establecer las frecuencias de corte de nuestro filtro digital, es necesario detectar las frecuencias en las que se presentan los nistagmos, por ello tomamos 15 muestras en distintos individuos de entre 20 y 23 años de edad, de los cuales 5 fueron mujeres y 10 fueron hombres, almacenamos los datos en la base de datos diseñada en sqlite3, posteriormente exportamos la señal como archivo .csv, con la finalidad de procesarlo en Google Colab, donde se obtuvo graficamos las señales comunes y de los nistagmos detectados.

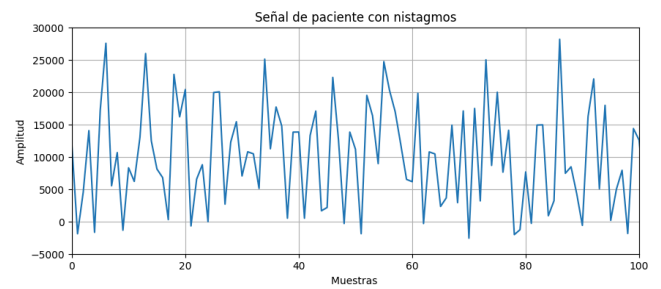


Fig. Movimientos oculares ocasionados por los nistagmos

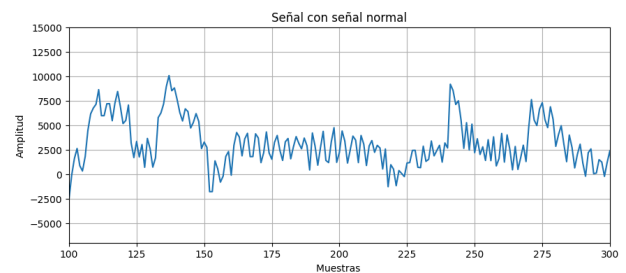


Fig. Movimiento de los ojos naturalmente

Una vez detectados los cambios de frecuencia y amplitud, fue necesario aplicar la transformada rápida de Fourier con la finalidad de detectar las frecuencias donde se presenta mayor amplitud.

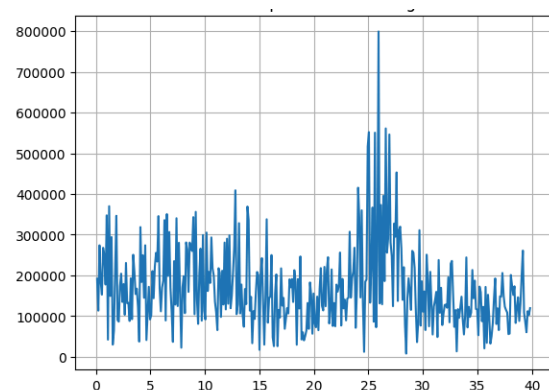


Fig. Transformada rápida de Fourier de ambas señales concatenadas

A partir de la transformada rápida de Fourier aplicadas en las diferentes señales logramos detectar que los nistagmos se presentan entre los 27 y 30 Hz en promedio.

Retomando el Script de python en nuestra tarjeta de desarrollo, comenzamos a diseñar nuestros filtros en funciones, estableciendo las frecuencias de corte de la siguiente manera: frecuencia alta = 30, frecuencia baja = 27, con la finalidad de atenuar todas aquellas señales que no sean ocasionadas por nistagmos.

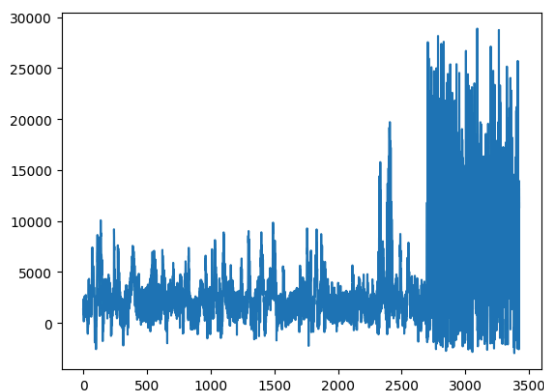


Fig. Señal prefiltrada

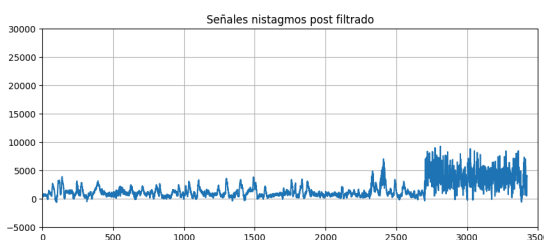


Fig. Señal post filtrado

Donde el diseño de los filtros luce de la siguiente manera:

```
sos_high = butter(order, cutoff_high, btype='highpass', fs=fs,
output='sos')
zi_high0 = sosfilt_zi(sos_high)
zi_high1 = sosfilt_zi(sos_high)
```

```
sos_low = butter(order, cutoff_low, btype='lowpass',
fs=fs, output='sos')
zi_low0 = sosfilt_zi(sos_low)
zi_low1 = sosfilt_zi(sos_low)
```

Una vez atenuada toda aquella señal que no sea derivada de un nistagmo, únicamente requerimos distinguir una razón de cambio entre la muestra tomada actualmente y la muestra tomada anteriormente es decir, la pendiente que se genera entre cada muestra, y si la pendiente tiende a ser muy pronunciada, es consecuencia de un nistagmo.

Pero, ¿Cómo sabemos si la razón de cambio es suficiente para determinar que es ocasionada por un nistagmo?, inicialmente el algoritmo tiene la capacidad de promediar las distintas razones de cambio durante los primeros 5 segundos, y generar una tolerancia al cambio la cual será llamada “umbral”, posteriormente la tarjeta de desarrollo estará tomando las señales adquiridas sobre el “eje x” y el “eje y”, filtrar ambas señales y detectara la razón de cambio y con una simple pero eficiente condicionante establecida por el umbral y el promedio, es decir si la razón de cambio es mayor a la tolerancia establecida por el algoritmo, el algoritmo tiene la capacidad de detectarlo como nistagmo.

Etapa de potencia

Anteriormente fue diseñado digitalmente el algoritmo que es capaz de detectar nistagmos, sin embargo esta etapa consta con la función de mitigar dichos nistagmos detectados y a su vez ser imperceptible para el usuario. El TENS diseñado tiene la capacidad de generar ondas cuadradas donde la frecuencia está establecida en los 40 Hz, y la intensidad puede ser regulada con un potenciómetro, sin embargo para la aplicación deseada, estableceremos la intensidad en 3mA.

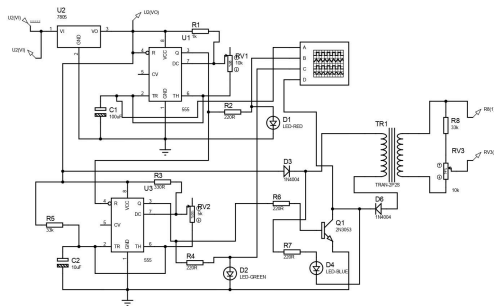


Fig. Diagrama electroestimulador

Las salidas fueron colocadas sobre las apófisis mastoides, se realizaron 20 pruebas en distintas ocasiones donde se realizaron giros en sentido horario del cuerpo de los individuos sobre los cuales se realizaron las pruebas.

Resultados

Logramos detectar los nistagmos correctamente, con una precisión no menor al %85, aunque la precisión de detección del algoritmo se puede eficientar, los resultados fueron buenos, respecto a la

EGV, se logró con efectividad disminuir el tiempo de recuperación post mareo en un 65% en promedio, y la sintomatología asociada al mareo se logró mitigar casi en su totalidad (náuseas, desequilibrio y aturdimiento), los puntos de mejora radican principalmente en la detección de nistagmos debido a que el porcentaje de detección podría aumentar, sin embargo los resultados del proyecto desarrollado durante el periodo Enero 2024 - Agosto 2024 fueron los esperados.

Conclusión

La detección de nistagmos y estimulación nerviosa del sistema vestibular es un área de exploración poco indagada, sin embargo, sumamente interesante, es por ello que desarrollar este proyecto nos permitió aprender sobre diversos temas y establecer protocolos de calidad deseados, hay bastantes puntos de mejora en el proyecto desarrollado, sin embargo deja abierta las puertas al desarrollo de sistemas biomédicos que se implementen en el área de la investigación y desarrollo de dispositivos de estimulación del sistema nervioso.