

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo y Validación de una Plataforma de Hardware y
Software para el programador Inalámbrico de un
Neuroestimulador del Nervio Vago - Fase II**

Trabajo de graduación presentado por Miguel Alfonso Alvarez Sierra
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA
Facultad de Ingeniería



**Desarrollo y Validación de una Plataforma de Hardware y
Software para el programador Inalámbrico de un
Neuroestimulador del Nervio Vago - Fase II**

Trabajo de graduación presentado por Miguel Alfonso Alvarez Sierra
para optar al grado académico de Licenciado en Ingeniería Mecatrónica

Guatemala,

2020

Vo.Bo.:

(f) _____
Dr. Luis Alberto Rivera Estrada

Tribunal Examinador:

(f) _____
Dr. Luis Alberto Rivera Estrada

(f) _____
MSc. Carlos Esquit

(f) _____
Ing. Luis Pedro Montenegro

Fecha de aprobación: Guatemala, 5 de diciembre de 2020.

El motivo de este trabajo de graduación

Prefacio	V
Lista de figuras	IX
Lista de cuadros	XI
Resumen	XIII
Abstract	XV
1. Introducción	1
2. Antecedentes	3
3. Justificación	7
4. Objetivos	9
5. Alcance	11
6. Marco teórico	13
7. Resultados	21
8. Simulación de Comunicación Inalámbrica en Proteus	27
8.1. Variación de la frecuencia y del ciclo de trabajo	27
9. Conclusiones	31
10.Recomendaciones	33
11.Bibliografía	35
12.Anexos	37

Lista de figuras

1.	Generador de pulsos 102 con sonda 302 de Cyberonics Imagen tomada de cyb102	4
2.	Varilla programadora utilizado en los VNS de Cyberonics Imagen tomada de wandmanual	4
3.	Prototipo funcional de la Fase I - Andrés Girón Imagen tomada de [7]	5
4.	Focal Seizures vs Generalized Seizures	14
5.	EEG utilizado para determinar Epilepsia	15
6.	El nervio vago	16
7.	Estimulación del nervio vago	17
8.	Comunicación de datos	19
9.	Formas de flujo de datos	19
10.	Comunicación inalámbrica entre antenas	20
11.	Comandos enviados desde Python a Arduino	21
12.	Interfaz para encender y apagar un LED	22
13.	LED encendido por medio de la interfaz	23
14.	LED apagado por medio de la interfaz	24
15.	Interfaz gráfica para enviar frecuencias	25
16.	Simulación de comunicación inalámbrica entre Arduinos en Proteus	27
17.	Envío de comandos desde Putty	28
18.	Misma frecuencia y mismo ciclo de trabajo	28
19.	Misma frecuencia con diferente ciclo de trabajo	29
20.	Diferente frecuencia con mismo ciclo de trabajo	29

Lista de cuadros

El propósito de este trabajo de graduación es diseñar un módulo de programación inalámbrica para poder enviar diferentes parámetros a un módulo de estimulación (módulo a implantar) de manera inalámbrica, como parte del proyecto del Neuroestimulador del Nervio Vago, trabajado en UVG. El módulo de programación inalámbrica debe ser eficiente y robusto para que los parámetros puedan ser enviados al módulo de estimulación, sin sufrir problemas cuando este módulo ya esté implantado. Para poder obtener el mejor resultado, se realizarán diferentes pruebas como la comunicación entre diferentes controladores y la PC a través de una interfaz gráfica amigable con el usuario y comunicación inalámbrica a través de algo que simule ser un tejido carnosos, para garantizar que el módulo será capaz de enviarle los parámetros al módulo implantado. Además, se trabajará en una varilla programadora para enviar los parámetros utilizando el módulo de comunicación inalámbrica diseñado, para que le sea mucho más fácil a las personas programar los parámetros.

Abstract

La epilepsia es una de las enfermedades neurológicas (desorden neurológico) más comunes en el mundo. Esta enfermedad produce por convulsiones impredecibles (con la posibilidad de causar otros problemas de salud) y afecta a personas de todas las edades. Las convulsiones causadas por epilepsia pueden estar relacionadas a una lesión cerebral o una tendencia familiar, pero la mayoría de veces, no se conoce la causa. Durante una convulsión, se pierde el control de cuerpo, causando movimientos involuntarios de los músculos.

Existen 4 tratamientos farmacológicos (drogas) esenciales para tratar con la epilepsia pero, en Latinoamérica, son muy escasos. Incluso en Guatemala no se cuenta con ninguno. Además de la falta de fármacos, alrededor del 20% de casos no responden al tratamiento con fármacos. Es por esto que la ingeniería biomédica ha tenido que buscar una solución y la ha encontrado en la estimulación del nervio vago.

La estimulación del nervio vago consiste en estimular el nervio con pulsos eléctricos para que responda de la manera esperada. Para lograr esto, se utiliza un dispositivo electrónico que se implanta (por medio de cirugía) en el área pectoral. Este dispositivo es el encargado de estimular el nervio vago con los pulsos eléctricos. Para definir todos los parámetros de los pulsos (tiempo de estimulación, frecuencia, ancho de pulso, etc.) se utiliza un programador inalámbrico. Este programador envía los parámetros de forma inalámbrica al dispositivo implantado.

Este dispositivo ha beneficiado a muchas personas el mundo pues, aunque no respondan de manera positiva a los fármacos, tienen una alternativa para no sufrir las consecuencias de la epilepsia. Sin embargo, en Guatemala, no es un tratamiento accesible para todos, ya que cuesta alrededor de \$20,000. Debido a esto, surge la necesidad de una alternativa que sea accesible para la mayoría de guatemaltecos afectados. La alternativa es el proyecto de VNS de la universidad.

Cyberonics/LivaNova

Cyberonics es una empresa de tecnología médica la cual es experta en neuromodulación. La empresa se dedica al diseño, desarrollo y ventas de dispositivos médicos implantables que proveen terapia de neuroestimulación, como lo es la estimulación de nervio vago (VNS por sus siglas en inglés) para el tratamiento de la epilepsia. El sistema de terapia VNS usa un dispositivo que se implanta debajo de la piel en el área pectoral que envía pulsos eléctricos al nervio vago y un dispositivo capaz de variar los parámetros de estimulación por medio de una varilla programadora. [1]

En 2015, Cyberonics y Sorin decidieron unirse para convertirse en una sola empresa, LivaNova. Estudios de LivaNova demuestran que la estimulación del nervio vago es el método alternativo (en caso de que las personas no respondan de la manera correcta al tratamiento con fármacos) más efectivo para tratar la epilepsia. [2]

El generador de pulsos es un generador de señales implantable que entrega un patrón de estimulación preciso al nervio vago izquierdo. Uno de los generadores de pulsos más comunes es el modelo 102 de Cyberonics, tiene un estuche de titanio de 6.9 mm x 52.2 mm x 51.6 mm y solo pesa 25 gramos. Tiene una batería que dura aproximadamente 6 años (depende de los parámetros de estimulación). [3] Para conectar el generador de pulsos 102 a el nervio vago se utiliza la sonda 302 de Cyberonics. Es un cable eléctrico bipolar que sirve para transmitir los pulsos de estimulación desde el generador hasta el nervio vago izquierdo. Los pulsos se transmiten a través de un clavija conectada al generador y se conecta a las hélices donde se conectan los electrodos. [4]



Figura 1: Generador de pulsos 102 con sonda 302 de Cyberonics | Imagen tomada de **cyb102**

Además del generador de pulsos se cuenta con software de programación, en donde se modifican y almacenan los parámetros de estimulación. También sirve para recuperar datos de telemetría. Estos parámetros se cargan en una varilla programadora para luego ser enviados de manera inalámbrica al generador de pulsos. [5]

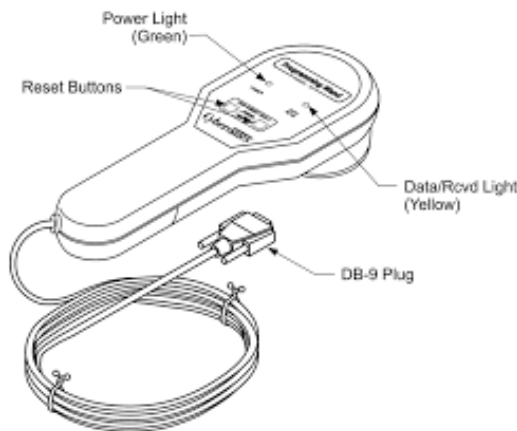


Figura 2: Varilla programadora utilizado en los VNS de Cyberonics | Imagen tomada de **wandmanual**

Como se mencionó, los Sistemas de Terapia VNS de Cyberonics incluyen la varilla programadora junto con un software, utilizado para interrogar al dispositivo y programar los parámetros de estimulación desde una computadora personal hasta el generador de pulsos por medio de señales electromagnéticas. Los parámetros de estimulación incluyen ancho de pulso, corriente de salida, frecuencia de la señal y la duración e intervalos de de la estimulación. [6]

Fase I - 2019

Este trabajo es continuación del trabajo de graduación de Andrés Girón, 2019. En este trabajo, se basa el dispositivo para estimulación del nervio vago en el modelo 102 de Cyberonics. En la primera fase del proyecto, se llevó a cabo un prototipo funcional de una varilla

programadora, capaz de enviar parámetros de forma inalámbrica, con un protocolo de comunicación para el correcto envío y recepción de parámetros, logrando diseñar un módulo que cabe en una placa de menos de 25 centímetros cuadrados. Se logró evitar ruido y señales externas gracias a que se estableció una frecuencia central limpia, utilizada en aplicaciones médicas. Para esto, se presentó un prototipo final en base al módulo SPSGRFC de comunicación inalámbrica y a un PIC16F1789. Además, se diseñó una interfaz gráfica amigable para la modificación de los parámetros. [7]

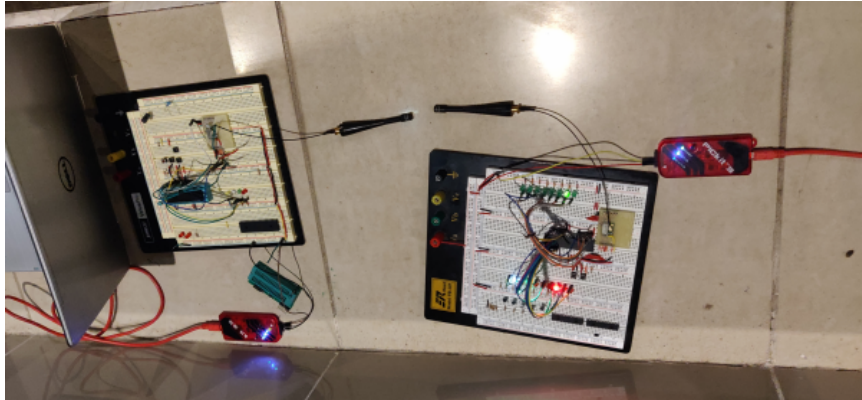


Figura 3: Prototipo funcional de la Fase I - Andrés Girón | Imagen tomada de [7]

Según The Epilepsy Foundation of Greater Chicago, la terapia de estimulación del nervio vago cuesta alrededor de \$20000 (incluyendo la implantación y la cirugía) [8]. Esto es un precio demasiado elevado para muchas personas, sobre todo en un país como el nuestro. Es por esto que, diseñar (y posteriormente implementar) un estimulador de nervio vago, prueba ser muy útil para la población que necesita del tratamiento en Guatemala.

Existen cuatro medicamentos anti-epilépticos esenciales para el tratamiento de la epilepsia. En los países de América Latina, estos medicamentos solo se encuentran en algunos países (en Guatemala no se cuenta con ninguno) [9], y en los países en los que se encuentran disponibles, solo es para servicios especializados, por lo que son de difícil acceso para la persona promedio. Además, alrededor de un 20 % de los casos complejos de epilepsia no responden al tratamiento con fármacos. [10] Entonces, surge la necesidad de una solución. El diseño y desarrollo nacional de un tratamiento de estimulador de nervio vago para mitigar la epilepsia, como el que se propone en este trabajo, funciona como solución al problema.

En Guatemala, se estima que dos de cada 100 habitantes padecen de epilepsia. HUMANA es una asociación en Guatemala que se encarga de procesos y tratamientos médicos, como el de la epilepsia. HUMANA cuenta con varios testimonios en los que se demuestra el funcionamiento del estimulador de nervio vago. Poder tratar esta enfermedad de una forma eficiente es muy importante pues se puede mejorar (e incluso salvar) la vida de muchos guatemaltecos. Para saber más de HUMANA y su trabajo en Guatemala: [11]

Como fue mencionado anteriormente, los modelos de VNS (como el 102 de Cyberonics), se programan por medio de una varilla programadora, capaz de enviar los parámetros al estimulador implantando de forma inalámbrica. Es necesario poder diseñar un módulo de comunicación inalámbrica que sea seguro, robusto y eficiente para que sea útil para la comunidad.

Objetivo General

Mejorar y validar la plataforma de hardware y software del programador inalámbrico desarrollado en la fase 1 del proyecto de neuroestimulación del nervio vago.

Objetivos Específicos

- Diseñar e implementar una varilla programadora que envíe los parámetros de estimulación, de forma inalámbrica, al controlador a implantar.
- Implementar de forma eficiente y segura la comunicación inalámbrica entre el controlador a implantar y la varilla programadora.
- Crear una interfaz gráfica amigable y fácil de usar para definir los parámetros de estimulación de la varilla programadora.
- Diseñar el módulo de programación inalámbrica para que sea capaz de lograr la comunicación a través de una membrana que simule un tejido carnoso.

CAPÍTULO 5

Alcance

Epilepsia

La epilepsia es un trastorno neurológico (cerebral) crónico que causa que una persona sufra de trastornos convulsivos (convulsiones de manera repetida). Estas convulsiones se deben a una actividad cerebral anormal y descontrolada, provocando pérdida de atención o de la consciencia o comportamientos anormales. La epilepsia está causada cuando los cambios en el tejido cerebral causan que el cerebro se encuentre excitable. Gracias a esto, el cerebro no es capaz de enviar las señales normales, produciendo una convulsión. No todas las convulsiones son causadas por epilepsia. [12] Una convulsión es una descarga de la actividad cerebral eléctrica excesiva y corta, que causa que cambia cómo siente, piensa o comporta una persona. Durante una convulsión epiléptica, el balance normal entre la estimulación e inhibición de la actividad cerebral, se rompa. [13] Aunque el término correcto para cuando se produce la actividad anormal es convulsión, muchas personas se refieren a éstas como ataques o episodios. Hay varios tipos de epilepsia, que afectan a las persona de diferentes maneras. Por lo general, las convulsiones se clasifican como partial-onset seizure, generalized onset seizures o unknown onset seizures.

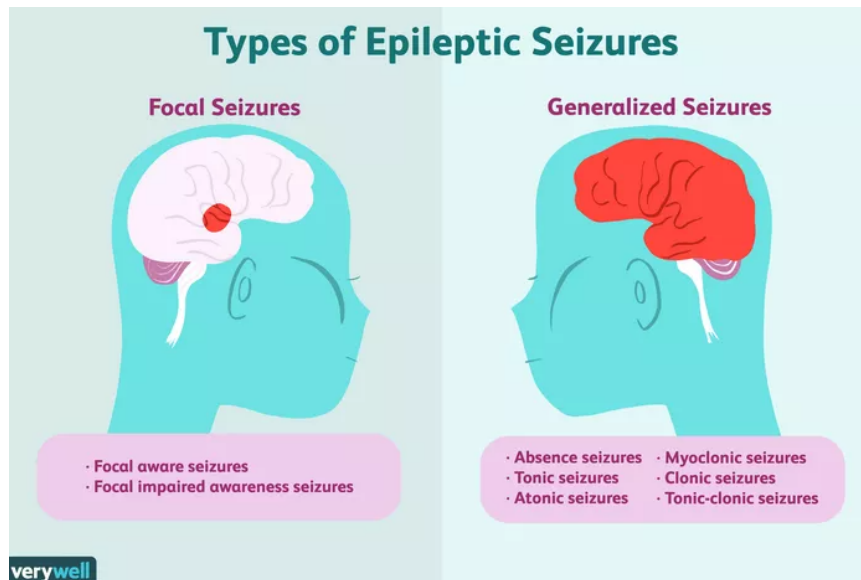


Figura 4: Focal Seizures vs Generalized Seizures

Las partial-onset seizure empiezan en solo un lado del cerebro, pueden llegar a ser muy serias y afectar la habilidad para responder al entorno. No son fáciles de identificar (sentir); hay personas que no se dan cuenta de que están sufriendo una convulsión en ese momento. Existen dos tipos principales de partial-onset seizures: simple partial seizure y complex partial seizure. Las simple partial seizure (focal-onset aware seizure) pueden ser sutiles pues no se pueden controlar pero la persona que la está sufriendo puede sentir que algo está pasando. Las complex partial seizure (focal-onset impaired awareness seizures) perjudican la conciencia, pudiendo llegar a causar la pérdida de ésta. Las partial-onset seizures pueden llegar a esparcirse por todo el cerebro, causando una "convulsión convulsiva", requiriendo atención médica inmediata. [14]

Diagnóstico

Para poder diagnosticar la epilepsia es muy importante el historial clínico del paciente: contexto en el que ocurrió la convulsión, supervisión de señales, detalles de la convulsión, respuesta, etc. Dependiendo de cómo sean los resultados del historial, la evaluación varía. Para diagnosticar la epilepsia se puede usar un electroencefalograma (EEG).

Un EEG es una grabación de la actividad cerebral eléctrica, sirviendo para detectar actividad anormal como picos focales u ondas muy parecidas a las de personas con epilepsia. Utilizar un EEG por mucho tiempo (algunos días) puede ayudar a concluir si la convulsión fue un evento causado por epilepsia o una convulsión "común".

En conjunto con una EEG, se puede utilizar imagen por resonancia magnética (MRI, magnetic resonance imaging). Puede servir para encontrar lesiones estructurales del sistema nervioso central y encontrar anomalías en pacientes con convulsiones. [15]

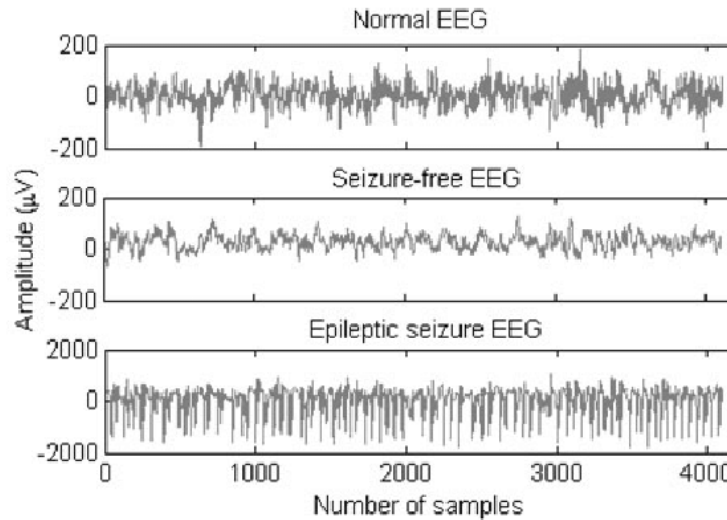


Figura 5: EEG utilizado para determinar Epilepsia

Tratamiento

La mayoría de las personas que sufren epilepsia pueden utilizar drogas antiepilépticas (AEDs, Anti-epileptic drugs) como forma de tratamiento. Es la forma de tratamiento más común, ayudando a un 70 % de las personas a curarse completamente o a lograr que las convulsiones desaparezcan con el tiempo.

Los tipos más comunes de AEDs incluyen:

- Valproato de sodio
- Carbamazepina
- Lamotrigina
- Topiramato

La AED a tomar depende del tipo de convulsiones del paciente, su edad y otros factores. Se debe consultar a un médico.

Como fue mencionado anteriormente, alrededor del 70-80 % de pacientes de epilepsia quedan libres de convulsiones con las AEDs. De esta población, un 80 % necesitará solo de una droga para control y un 10-15 % necesitará una combinación de dos agentes. La meta de esta terapia con drogas es lograr eliminar/controlar las convulsiones con una sola droga tomada una o dos veces al día, sin efectos secundarios. Si no se puede controlar de buena manera, se puede incrementar la dosis o combinar otra droga. Es necesario observar de manera cuidadosa al paciente pues se pueden presentar tumores o defectos metabólicos al incrementar la dosis o combinar agentes. [16]

Las personas en las que no funciona el tratamiento con AEDs, pueden optar a otro tratamiento conocido como estimulación del nervio vago.

Estimulación del nervio vago

El nervio vago

Existen 12 nervios craneales. Estos nervios vienen en pares y ayudan a conectar el cerebro con otras áreas del cuerpo como la cabeza, el cuello y el torso. Algunos de estos nervios envían información sensorial como detalles sobre lo que se huele, mira, siente y escucha, al cerebro. Estos nervios se conocen por tener funciones sensoriales. Otros nervios craneales controlan el movimiento de varios músculos y las funciones de ciertas glándulas. A estos se les conocen por sus funciones motoras. Algunos nervios tienen ambas funciones, motoras y sensoriales. El nervio vago es uno de estos nervios (también conocido como nervio craneal X).

Vagus, que significa errante en Latín, es un nombre apropiado para el nervio vago debido a que es el nervio craneal más largo. Va desde el cerebro hasta parte del colon. Sus funciones sensoriales se dividen en dos componentes: componentes somáticos que son las sensaciones en la piel o en los músculos y los componentes viscerales que son las sensaciones en los órganos del cuerpo. [17]

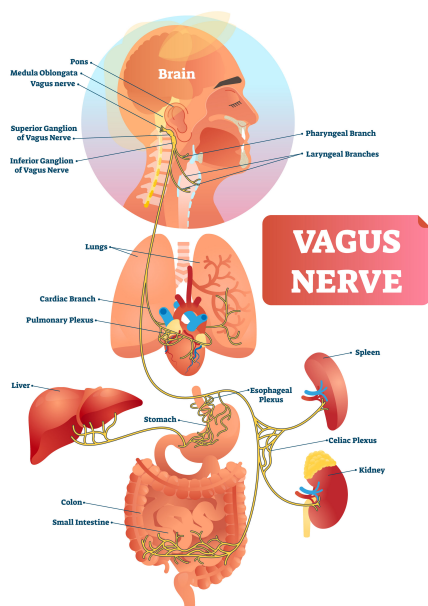


Figura 6: El nervio vago

Las funciones sensoriales del nervio vago incluyen:

- Proveer información de sensaciones somáticas para la piel detrás de la oreja, la parte externa del canal auditivo y ciertas partes de la garganta
- Proveer información de sensaciones viscerales para la laringe, el esófago, pulmones, tráquea, corazón y la mayor parte del tracto digestivo.
- Jugar un pequeño rol en la sensación de sabor cerca de la raíz de la lengua

Las funciones motoras del nervio vago incluyen:

- Estimular músculos en la faringe, laringe y el palate suave (la parte carnosa en el "techo" de la boca)
- Estimular músculos en el corazón, ayudando a disminuir el ritmo cardiaco al descansar
- Estimular contracciones involuntarias en el tracto digestivo, lo que ayuda a la comida a moverse en el tracto.

Estimulación (VNS)

La estimulación del nervio vago (Vagus Nerve Stimulation, VNS) es el uso de un dispositivo que sirve para estimular el nervio vago con pulsos eléctricos. Es el tratamiento no farmacológico más utilizado para la epilepsia resistente a las drogas. [18] Este dispositivo se implanta debajo de la piel en el área del pecho y un cable se enreda en el nervio vago izquierdo. Se utiliza para tratar la epilepsia y la depresión. Cuando el dispositivo se activa, envía pulsos a través del nervio vago izquierdo hasta el cerebro.

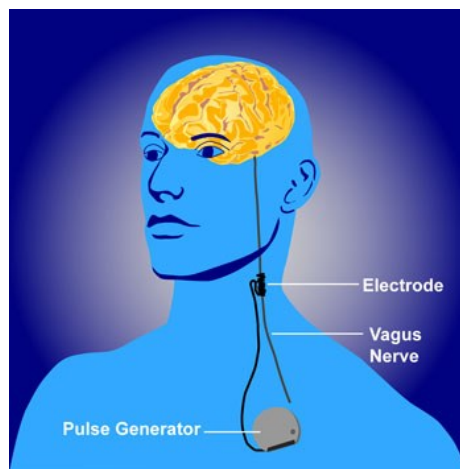


Figura 7: Estimulación del nervio vago

VNS es necesaria debido a que alrededor de un tercio de las personas que sufren de epilepsia no responden al tratamiento con medicina/drogas anti-convulsiones. VNS es una opción para reducir las convulsiones para estas personas que no tienen reacción ante las medicinas. También es útil para personas que no han respondido a antidepresivos. [19]

El sistema estimulador de nervio vago usa un dispositivo que se implanta debajo de la piel en el área pectoral que envía pulsos eléctricos al nervio (generador de pulsos) y un dispositivo capaz de variar los parámetros de estimulación por medio de una varilla programadora. El generador de pulsos entrega una pequeña cantidad de corriente eléctrica al nervio vago de manera intermitente (30 segundos encendido y 5 minutos apagado) a toda hora y todos los días.

El procedimiento de implantación se debe llevar a cabo por un neurocirujano y lleva alrededor de 45-90 minutos, mientras el paciente está bajo anestesia general. Requiere de dos pequeñas incisiones: la primera en el lado izquierdo del pecho para implantar el generador de pulsos y la segunda se hace en la parte baja del cuello para poder colocar los cables que se enrollan en el nervio vago.

El dispositivo implantado tiene una batería que puede durar desde uno hasta 15 años. Cuando la batería se agota, se reemplaza el estimulador con un proceso menos invasivo que la primera cirugía. El estimulador se programa con una pequeña computadora portátil, un software de programación y una varilla programadora. De esta manera, se programa la fuerza y la duración de los pulsos eléctricos. El dispositivo funciona continuamente y se programa para encenderse y apagarse por tiempos específicos de tiempo.

A los pacientes se les da una pulsera magnética (un imán), para controlar el estimulador en sus casas. Al mover el imán sobre el estimulador implantado, se activa un proceso de estimulación extra, sin importar el tratamiento programado. Esto sirve para que los pacientes puedan estimular el nervio vago de una manera eficiente cuando sea necesario. [20]

Los sistemas de VNS incluyen una varilla programadora junto con un software de programación, utilizado para interrogar al dispositivo y transmitir la información necesaria, como ancho de pulso, corriente de salida, frecuencia, intervalo y duración de la estimulación, al generador de pulsos. El ciclo ON/OFF determina el intervalo de tiempo entre los periodos de estimulación, el ancho de pulso determina la duración del periodo de estimulación en microsegundos y la frecuencia de estimulación determina la cantidad de pulsos entregados por segundo. [6]

Comunicación Inalámbrica

Comunicaciones de Datos

Las comunicaciones de datos son el intercambio de datos entre dos dispositivos a través de un medio de transmisión. La efectividad de las comunicaciones de datos depende de 4 características fundamentales:

- Entrega (Delivery): el sistema debe entregar la data al destino correcto. Los datos solo deben ser recibida por el dispositivo al que se debía entregar.
- Precisión (Accuracy): no se debe alterar la data en la transmisión.
- Tiempo (Timeliness): la data se debe entregar en el tiempo establecido.
- Jitter: variación en el tiempo de llegada de los paquetes.

Un sistema de comunicación de datos tiene cinco componentes: mensaje, emisor, receptor, medio de transmisión y protocolo. El mensaje es la información a comunicar, el emisor es el dispositivo que envía los datos y el receptor es el que se encarga de recibirlos, el medio de transmisión es un método físico o inalámbrico por el cual el mensaje viaje y el protocolo es un set de reglas que gobierna la comunicación.

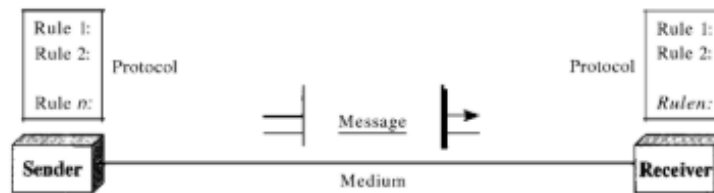


Figura 8: Comunicación de datos

Existen tres formas en las que el flujo de datos entre dos dispositivos se presenta: simplex, half-duplex y full-duplex. Simplex significa que el flujo de datos es unidireccional, solo viaja en una dirección del emisor al receptor. Half-duplex significa que ambos dispositivos pueden emitir y recibir los datos, pero no al mismo tiempo. Full-duplex es el método en el que ambos dispositivos son capaces de recibir y emitir información al mismo tiempo. [21]

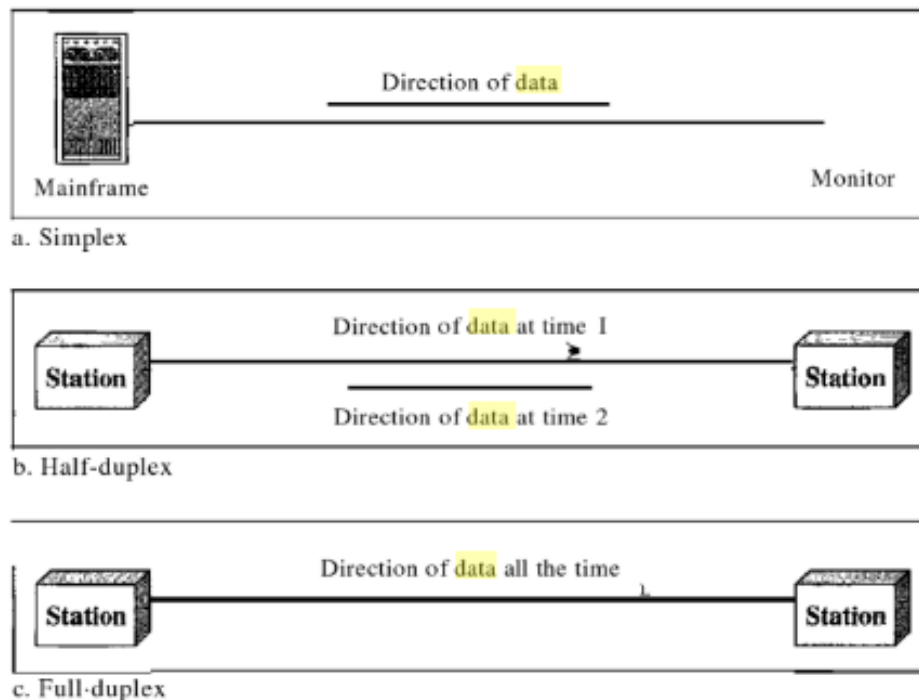


Figura 9: Formas de flujo de datos

Comunicación Inalámbrica

La comunicación inalámbrica es un tipo de comunicación en la que no hay un medio de propagación físico, sino que operan a través de radiación electromagnética desde el transmisor hasta el receptor. Al referirse a este método de comunicación, por lo general se refiere a radiofrecuencia (RF). Los únicos dispositivos físicos que hay en la comunicación inalámbrica son el receptor y el emisor. Se utilizan antenas para lograr la comunicación inalámbrica. [22]

Existen sistemas con antenas de apertura y con antenas alámbricas. Las antenas de apertura primarias se energizan por medio de la fuente y se utilizan para poder transmitir y recibir señales de manera independiente. Las antenas de apertura secundarias necesitan de otra antena como fuente para poder funcionar. Al activar una antena, se generan campos electromagnéticos, propagando la señal a través de los campos de radiación. [22]

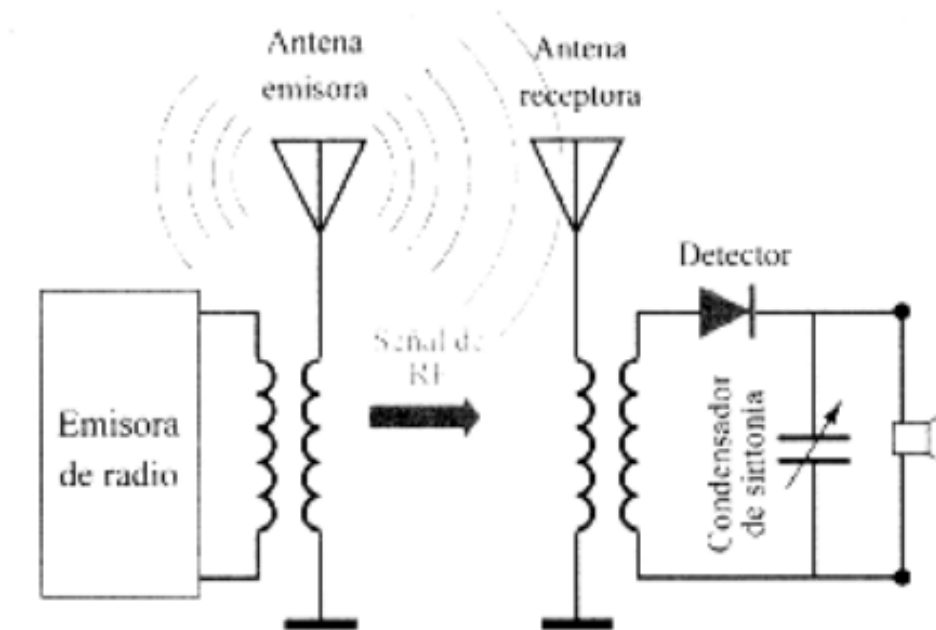
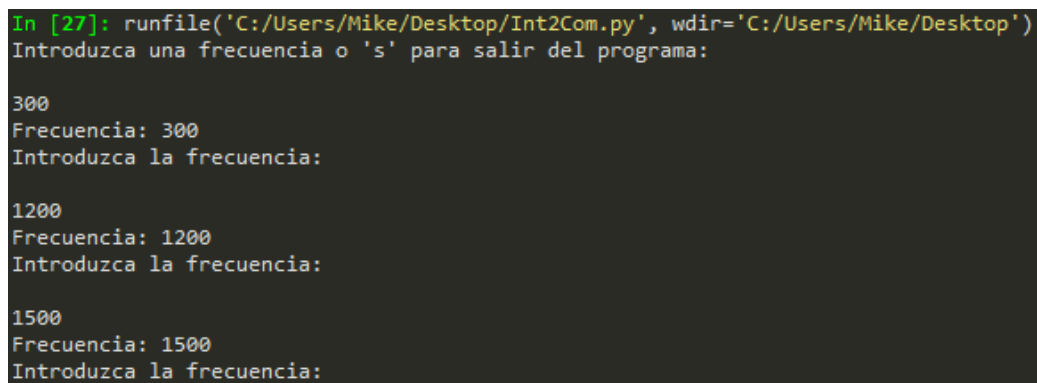


Figura 10: Comunicación inalámbrica entre antenas

Prueba 1 - Control de un buzzer en Arduino desde Python

Como primera prueba, se conectó Arduino con Python, para garantizar una conexión buena entre Python y un controlador. Para probar que la comunicación era correcta, se enviaron diferentes frecuencias (números interpretados como frecuencias) a un buzzer conectado a Arduino. Se puede observar el envío de diferentes frecuencias en la Figura 11.



```
In [27]: runfile('C:/Users/Mike/Desktop/Int2Com.py', wdir='C:/Users/Mike/Desktop')
Introduzca una frecuencia o 's' para salir del programa:

300
Frecuencia: 300
Introduzca la frecuencia:

1200
Frecuencia: 1200
Introduzca la frecuencia:

1500
Frecuencia: 1500
Introduzca la frecuencia:
```

Figura 11: Comandos enviados desde Python a Arduino

Esta prueba fue realizada con éxito, se logró hacer que el buzzer resonará a las diferentes frecuencias enviadas.

Prueba 2 - Encendido y apagado de LED con Interfaz Gráfica

Como segunda prueba, se realizó una pequeña interfaz gráfica en Python, utilizando Tkinter, para apagar y encender un LED conectado a Arduino. Esto para probar que la interfaz gráfica utilizada funciona y facilita la comunicación entre Python y el controlador para las personas no expertas en programación.

La interfaz gráfica utilizada:

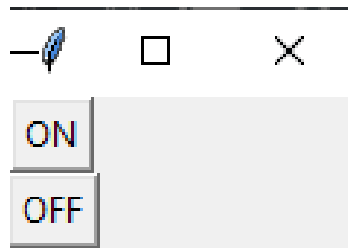


Figura 12: Interfaz para encender y apagar un LED

Se puede observar que el botón de ON enciende el LED mientras que el botón de OFF lo apaga.

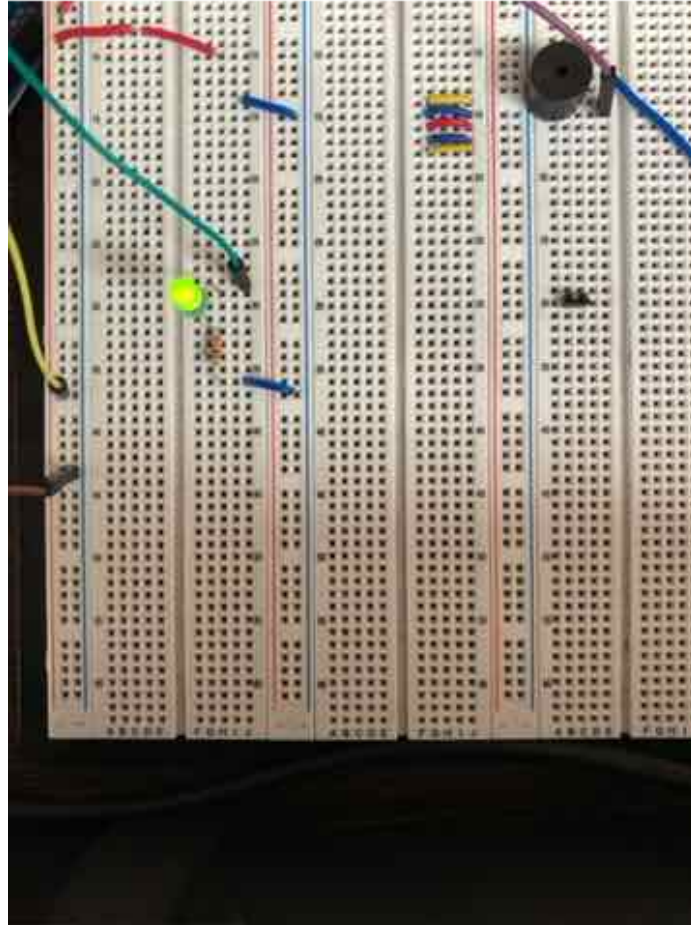


Figura 13: LED encendido por medio de la interfaz

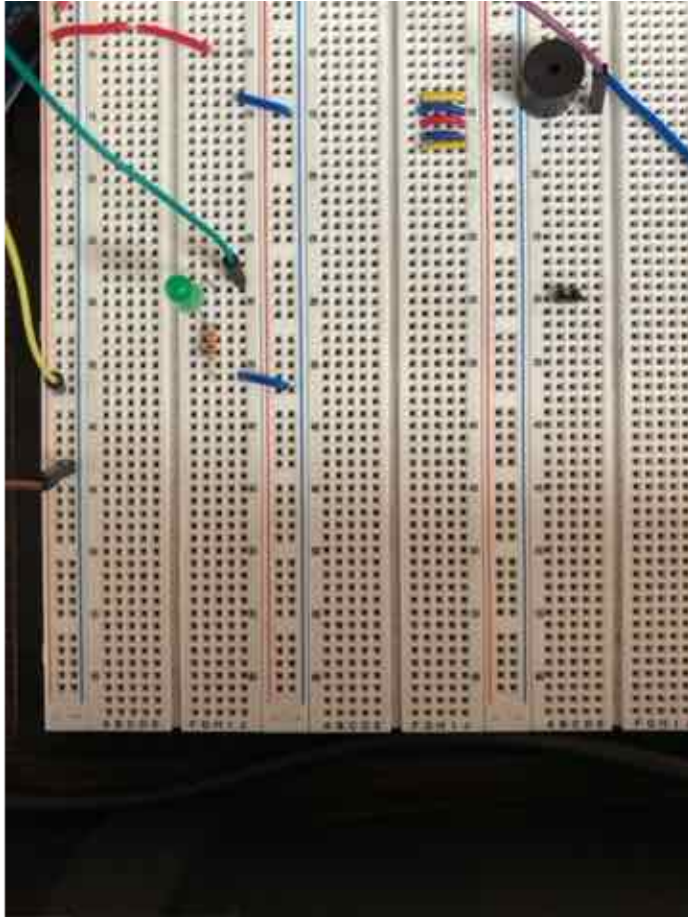


Figura 14: LED apagado por medio de la interfaz

La prueba fue realizada con éxito. La interfaz gráfica facilita la comunicación entre Python y Arduino.

Prueba 3 - Interfaz para enviar frecuencias a buzzer

Se diseñó una interfaz gráfica capaz de enviar una frecuencia al buzzer conectado al Arduino. La frecuencia se introduce en el textbox al presionar SEND, se envía al buzzer para que éste resuene. El botón de STOP sirve para apagar al buzzer y QUIT para salir de la interfaz y cerrar el puerto serial. La interfaz gráfica se puede observar en la figura 15



Figura 15: Interfaz gráfica para enviar frecuencias

Debido a que la mayoría de los resultados obtenidos dependen del sonido del buzzer, solo se muestra la interfaz gráfica diseñada en este documento. En el video adjunto se puede escuchar como funciona el buzzer cuando se le envían las frecuencias desde la interfaz gráfica.

Simulación de Comunicación Inalámbrica en Proteus

8.1. Variación de la frecuencia y del ciclo de trabajo

Utilizando módulos de envío y recepción de comunicación inalámbrica en el software de simulación Proteus, se logró la comunicación entre un Arduino Uno y un Arduino Mega. El Arduino Mega recibe comandos desde una terminal serial (Putty) y se los envía al Arduino Uno por medio de los módulos de comunicación inalámbrica.

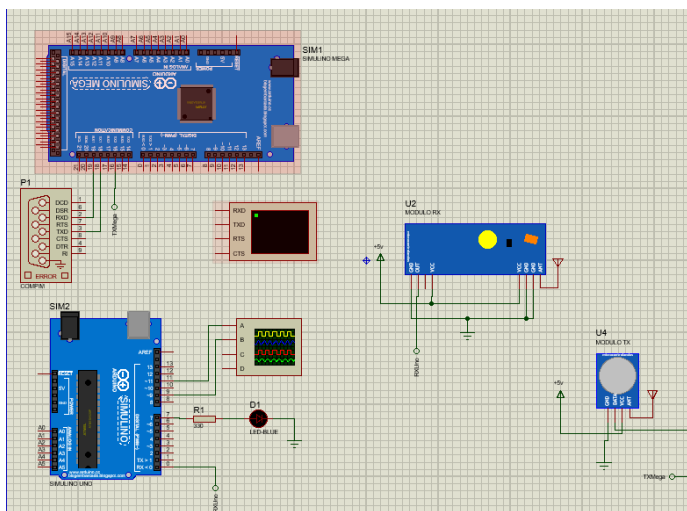


Figura 16: Simulación de comunicación inalámbrica entre Arduinos en Proteus

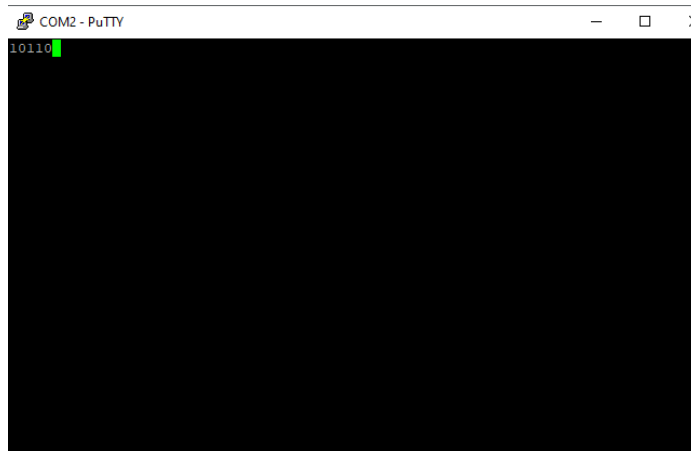


Figura 17: Envío de comandos desde Putty

El Arduino Uno los recibe y los interpreta para poder variar la frecuencia o el ciclo de trabajo en un pin PWM. Al enviar diferentes comandos se puede observar el cambio de la señal de salida en el osciloscopio digital de Proteus.

Si no se varía ni la frecuencia ni el ciclo de trabajo, se puede observar lo siguiente:

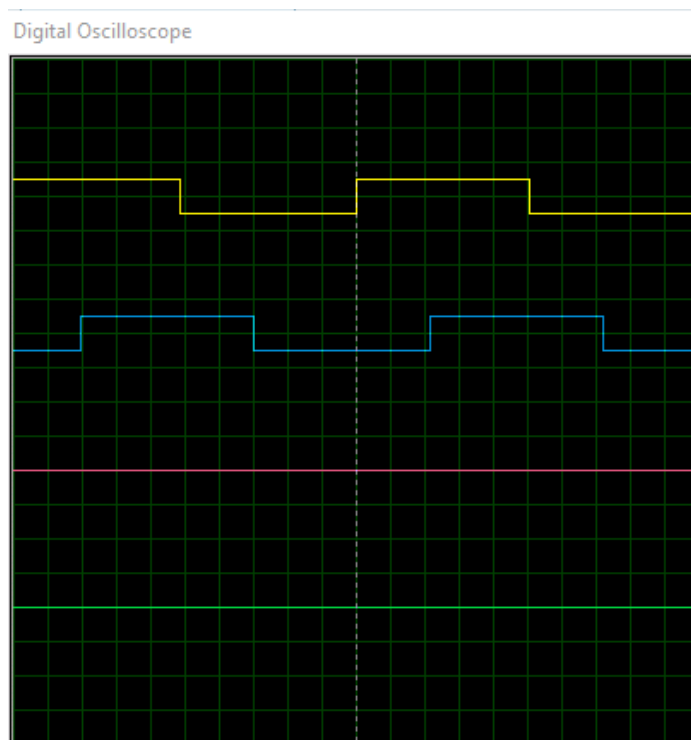


Figura 18: Misma frecuencia y mismo ciclo de trabajo

Al variar el ciclo de trabajo, se observa el siguiente comportamiento:

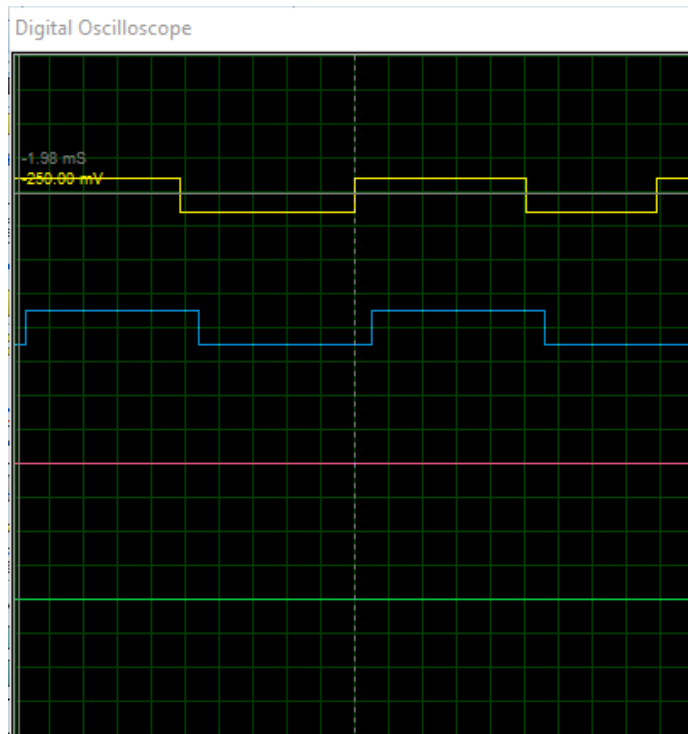


Figura 19: Misma frecuencia con diferente ciclo de trabajo

Y por último, si se varía la frecuencia, se observa lo siguiente:

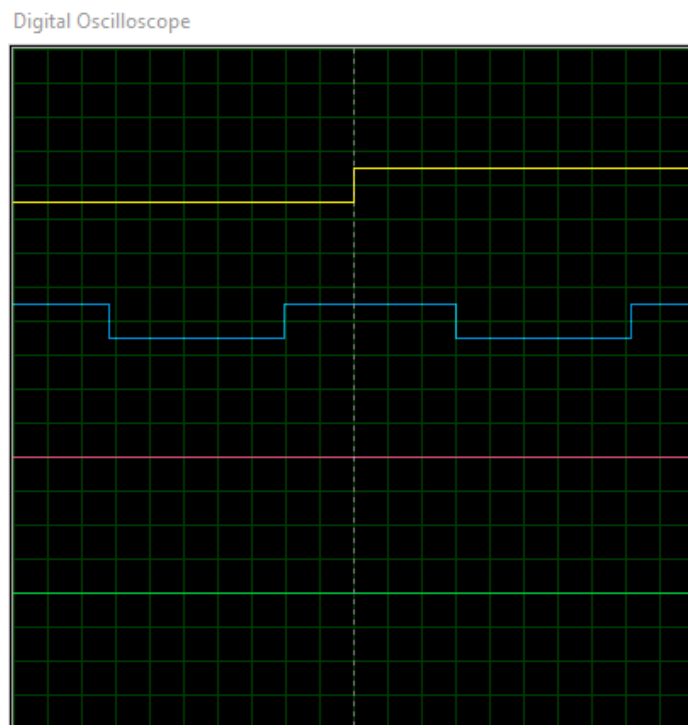


Figura 20: Diferente frecuencia con mismo ciclo de trabajo

CAPÍTULO 9

Conclusiones

CAPÍTULO 10

Recomendaciones

- [1] *Cyberonics*. dirección: <https://www.forbes.com/companies/cyberonics/#ad5ee813293c>.
- [2] *LivaNova*. dirección: <https://www.livanova.com/en-US/Home/About-Us.aspx>.
- [3] *VNS Therapy Pulse Generators*, <http://dynamic.cyberonics.com/depression/hcp/ForSurgeons/implanted.aspx>.
- [4] *AspireSR® - Neuroestimulador implantable by Cyberonics: MedicalExpo*. dirección: https://www.medicalexpo.es/prod/cyberonics/product-84639-544445.html#product-item_544481.
- [5] *AspireSR® - Neuroestimulador implantable by Cyberonics: MedicalExpo*. dirección: https://www.medicalexpo.es/prod/cyberonics/product-84639-544445.html#product-item_544485.
- [6] C. E. Donovan, *Out of the Black Hole: A Patient's Guide to Vagus Nerve Stimulation and Depression*. Wellness Publishers, L.L.C, 2006.
- [7] R. A. Girón, “Diseño e implementación de plataforma de hardware y de software que permita la comunicación remota de un neuroestimulador del nervio vago luego de su implantación”, Universidad del Valle de Guatemala, Guatemala, Guatemala, diciembre de 2019.
- [8] *Cost of Treatment*, mayo de 2016. dirección: <https://epilepsy.chicago.org/epilepsy/treatment/vagus-nerve-stimulation/cost-of-treatment/>.
- [9] C. Acevedo, C. Miranda, M. Campos, R. Caraballo y A. Carpio, “Informe sobre la epilepsia en Latinoamérica”, Organización Panamericana de la Salud, inf. téc., 2008.
- [10] E. Lopez, *OPS/OMS Guatemala - Más de la mitad de las personas con epilepsia no reciben ningún tipo de atención en América Latina y el Caribe: OPS/OMS*, ene. de 2019. dirección: https://www.paho.org/gut/index.php?option=com_content&view=article&id=1188:mas-de-la-mitad-de-las-personas-con-epilepsia-no-reciben-ningun-tipo-de-atencion-en-america-latina-y-el-caribe&Itemid=441.
- [11] *HUMANA Centro de Epilepsia y Neurocirugía Funcional*, <https://humanagt.org/>.

- [12] *Generalidades sobre la epilepsia: MedlinePlus enciclopedia médica*. dirección: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000694.htm>.
- [13] O. Devinsky, *Epilepsy: A Patient and Family Guide*. Demos Medical Publishing, 2007.
- [14] *Types of Partial-Onset Seizures: Understanding Epilepsy*. dirección: <https://www.vimpat.com/understanding-epilepsy>.
- [15] C. E. Stasftrom y L. Carmant, “Seizures and epilepsy: an overview for neuroscientists”, *Cold Spring Harbor perspectives in medicine*, vol. 5,6, jun. de 2015. DOI: 10.1101/cshperspect.a022426.
- [16] J. S. Duncan, “Modern treatment strategies for patients with epilepsy: a review”, *Journal of the Royal Society of Medicine*, vol. 84,3, págs. 159-162, mar. de 1991.
- [17] J. Seladi-Schulman, *Vagus Nerve: Anatomy and Function, Diagram, Stimulation, Conditions*, ago. de 2018. dirección: <https://www.healthline.com/human-body-maps/vagus-nerve>.
- [18] J. Robertson, C. Roux y K. Wiggins, *Vagus Nerve Stimulation*. CRC Press, 2002.
- [19] *Vagus nerve stimulation*, dic. de 2018. dirección: <https://www.mayoclinic.org/tests-procedures/vagus-nerve-stimulation/about/pac-20384565>.
- [20] *Vagus Nerve Stimulation*. dirección: <https://www.aans.org/en/Patients/Neurosurgical-Conditions-and-Treatments/Vagus-Nerve-Stimulation>.
- [21] B. Forouzan y S. Chung Fegan, *Data Communications and Networking*. Huga Media, 2007.
- [22] D. Tse y P. Viswanath, *Fundamentals of Wireless Communication*. Cambridge University Press, 2005.

CAPÍTULO 12

Anexos
