

Caracterización y validación de un Prototipo de Estimulador del Nervio Vago y su Varilla de Programación Inalámbrica para el Tratamiento de Epilepsia Fármaco Resistente - Fase IV

ERICK DANIEL AQUINO PAZ

17319

INGENIERÍA MECATRÓNICA

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA



RESUMEN

El presente trabajo muestra la creación un modo de funcionamiento automático replicando el funcionamiento del modelo comercial AspireSR 106 de la empresa LivaNova. También la caracterización y validación el modulo de estimulación de nervio vago y su varilla programadora.

El modo automático es capaz de diferenciar dos estados de actividad física de las personas por medio de lectura y análisis en tiempo real de electrocardiogramas, siendo capaz de enviar una señal para activar la estimulación del nervio vago cuando se detecte cierto estado de actividad física.

Se caracteriza y valida el envío y recepción de parámetros de la varilla programadora y se caracteriza los tiempos de envío de datos como el consumo eléctrico.

OBJETIVO GENERAL

- Caracterizar y validar los módulos de la estimulación del nervio vago y varilla programadora desarrollados en la fase anterior del proyecto, y agregar un modo de operación automático.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Desarrollar un protocolo de experimentos para evaluar más extensamente el consumo energético y el funcionamiento en general del sistema desarrollado previamente.
- Caracterizar el sistema por medio de los datos recopilados en los experimentos de evaluación.
- Desarrollar un modo de operación automático para el módulo de estimulación.

INTRODUCCIÓN

Enfermedad

Una de las enfermedades neurológicas más comunes del mundo

Síntomas

Convulsiones, movimientos rápidos del cuerpo, pérdida del conocimiento



Tratamientos

Fármacos antiepilépticos que eliminan completamente las convulsiones o ayudan a que desaparezcan con el tiempo.

Epilepsia refractaria

Condición congénita que limita la efectividad de los fármacos antiepilépticos o desarrollan resistencia a los mismo a medida que la epilepsia cambia.

Dispositivos neuromoduladores

Funcionamiento

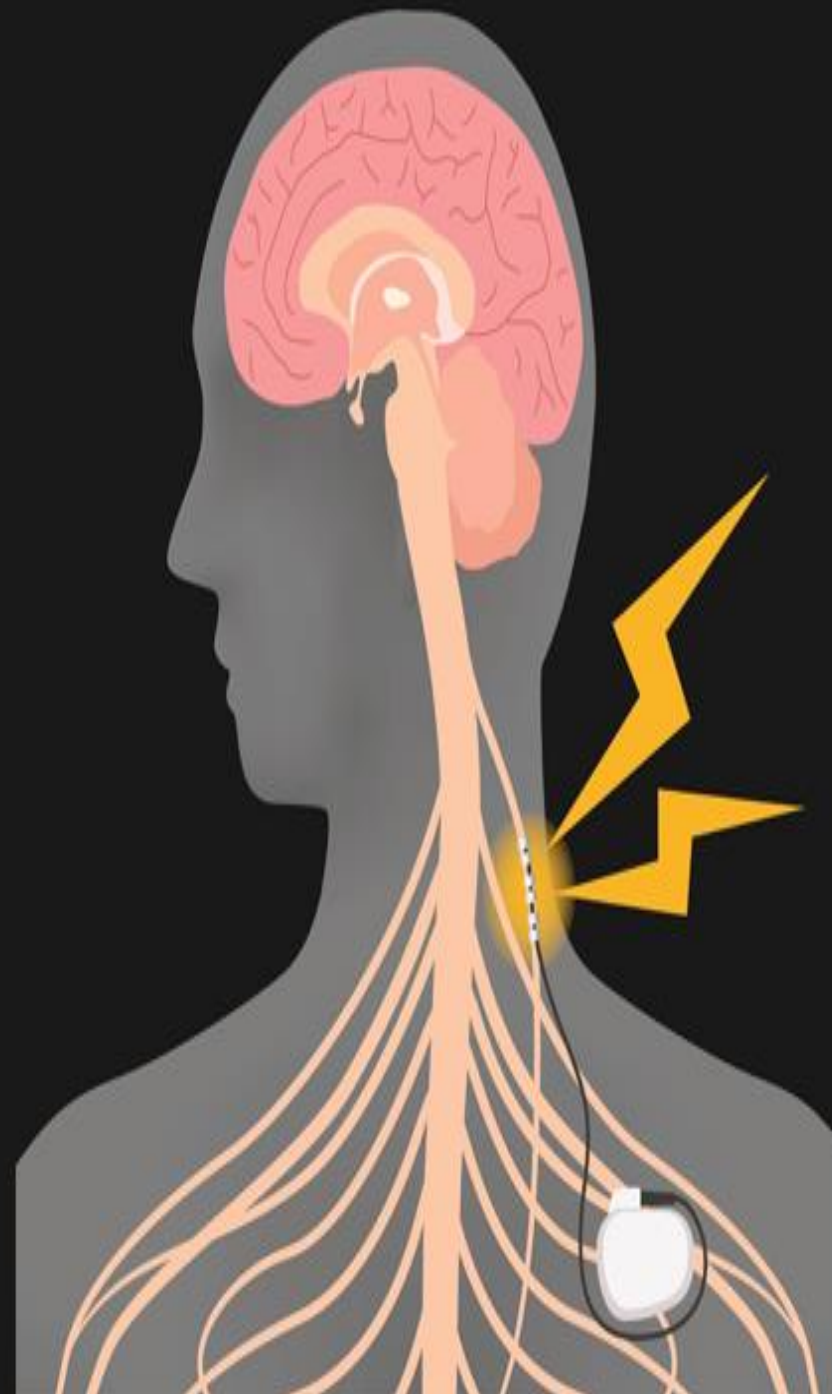


Pulsos
eléctricos
controlados

Costos



Hasta \$20,000
Cirugía y
dispositivo



LivaNova

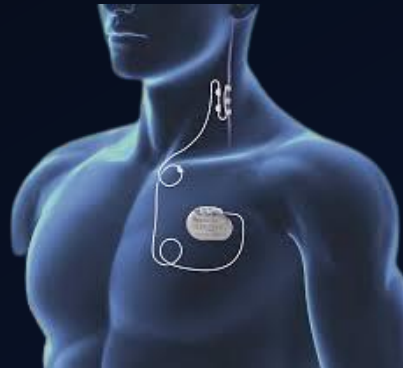
- Empresa global líder de tecnología médica en soluciones de neuromodulación. Dueña de productos neuromoduladores de más altos estándares.

Modelo AspireSR 106

Productos



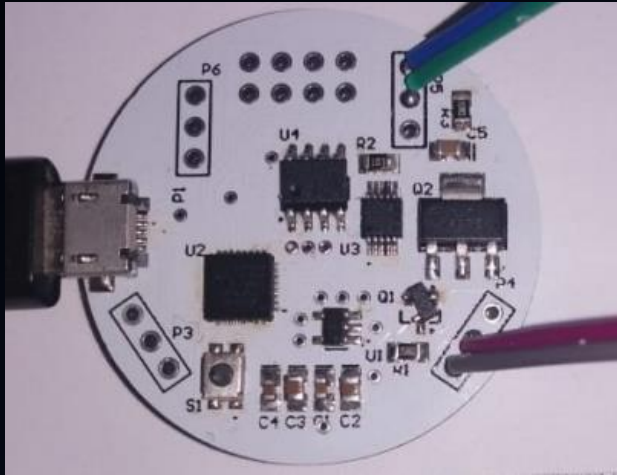
Procedimiento



Dispositivo

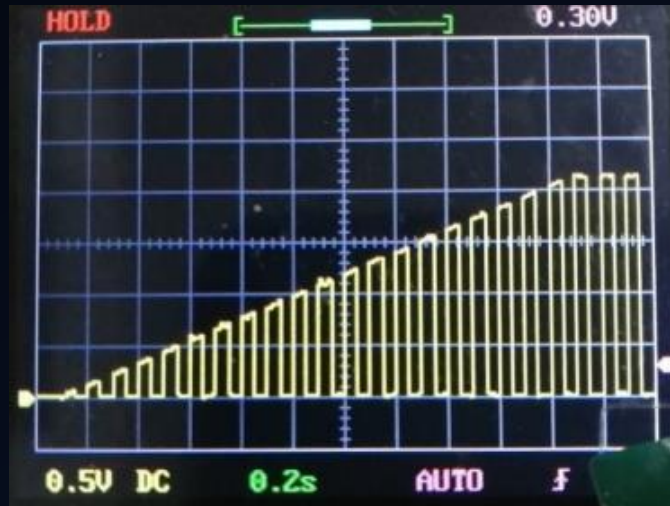


ANTECEDENTES



Estimulador nervio vago

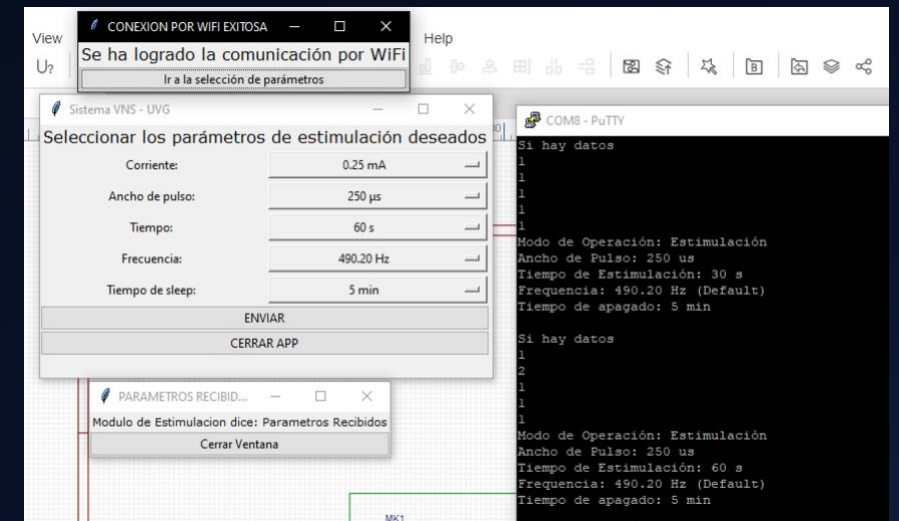
- Señal de neuroestimulación
- Alimentación del estimulador



ANTECEDENTES

Varilla programadora

- Conectividad por medio de comunicación serial o conexión wifi
- Interfaz gráfica y sus parámetros



METODOLOGIA

1

- Análisis de funcionamiento de prototipos previos
- Análisis del funcionamiento detección automática

2

- Desarrollo de software filtrado de señales ECG
- Desarrollo de software de detección de picos R

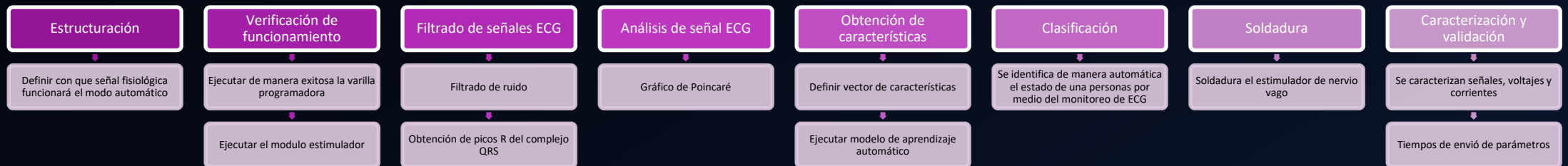
3

- Análisis de señales ECG para extracción de características
- Implementación de modelo de aprendizaje automático

4

- Soldadura de estimulador de nervio vago
- Validar y caracterizar funcionamiento de estimulador y su varilla programadora

FASES DEL PROYECTO



Diseño experimental

Simulador de ECG

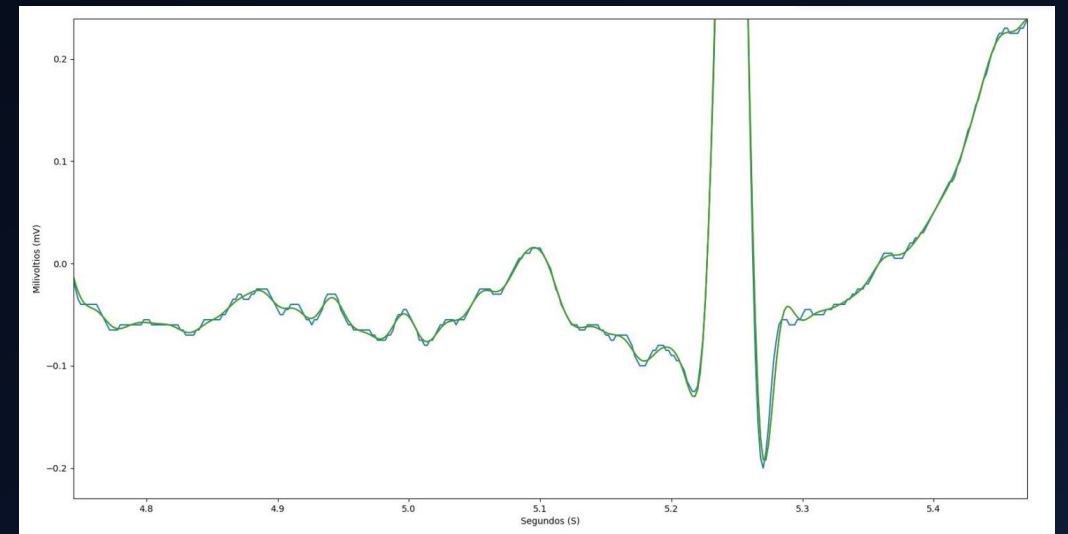
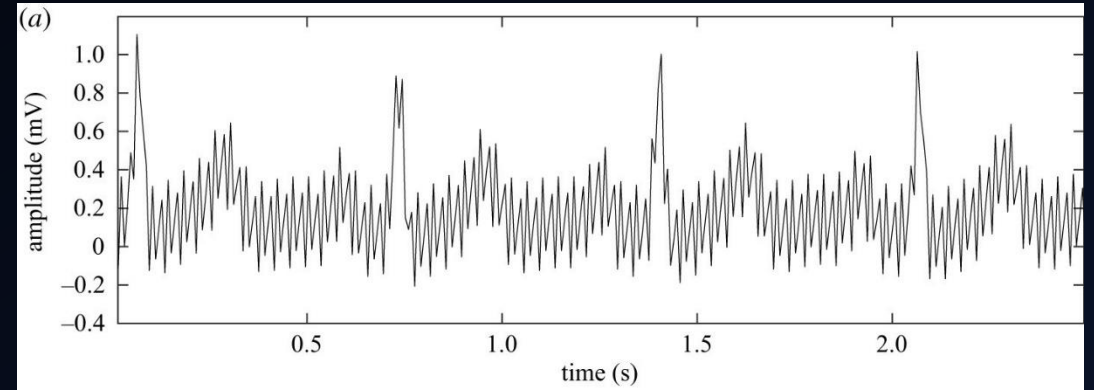
RASPBERRYPI + USB A TTL



- Lee y envía los datos obtenidos de señal ECG en tiempo real
- Se simula enviando los datos a través de comunicación serial por medio de una Raspberrypi.
- Formato CSV

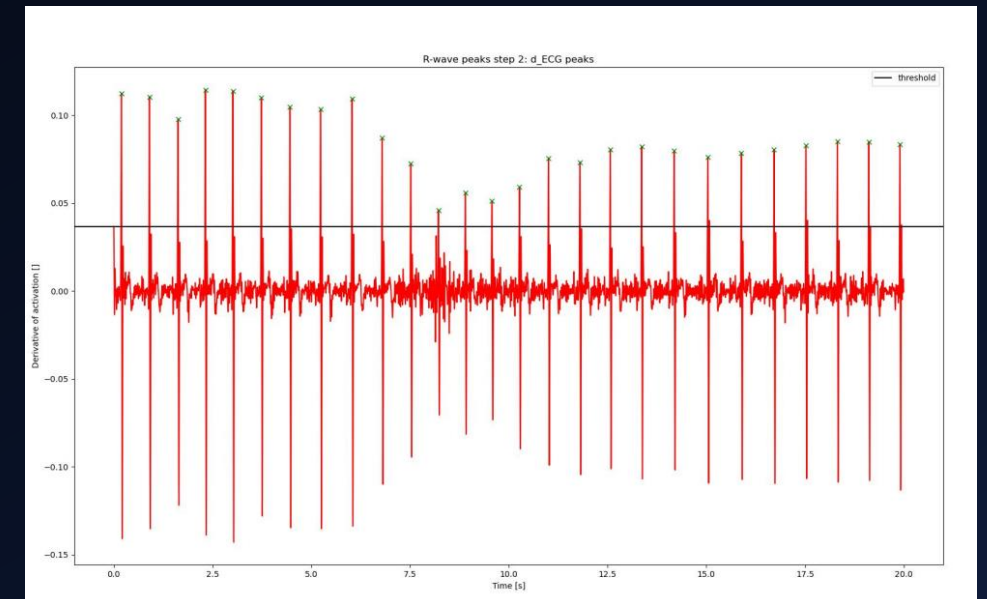
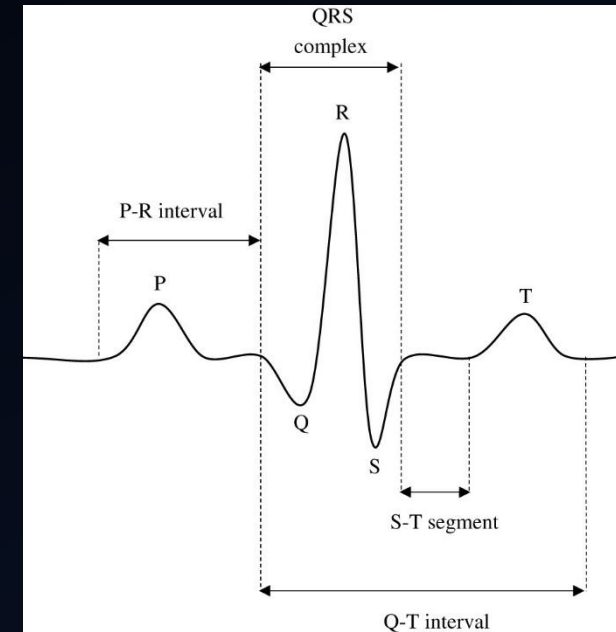
Filtrado de ruido en señal ECG

- Distintas fuentes de ruido
- Características perdidas durante el filtrado
- Filtro Butterworth de 55Hz a 60 Hz



Detección de picos R

- Complejo QRS
- Picos R
- Derivada de la señal ECG
- Obtención de picos R



Análisis de señales fisiológicas

- Análisis en el dominio del tiempo
- Análisis en el dominio de la frecuencia
- Análisis no lineales

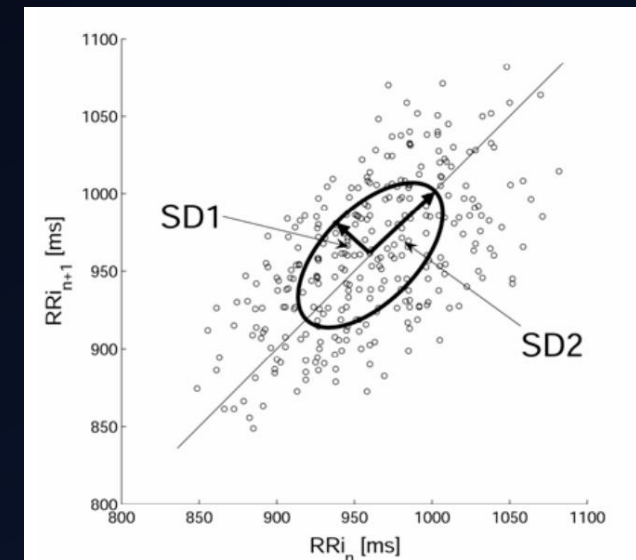
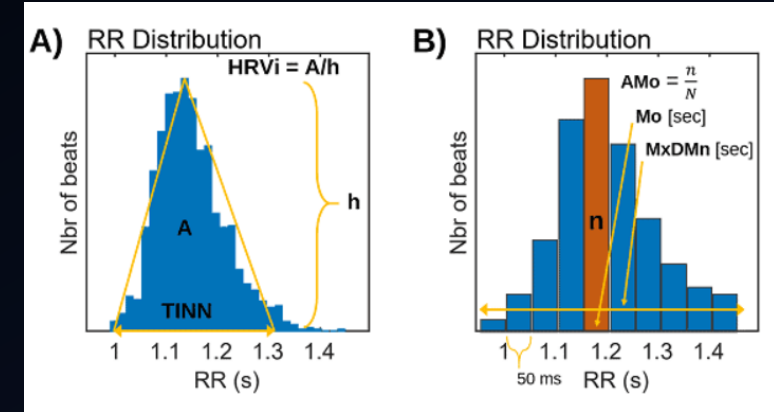
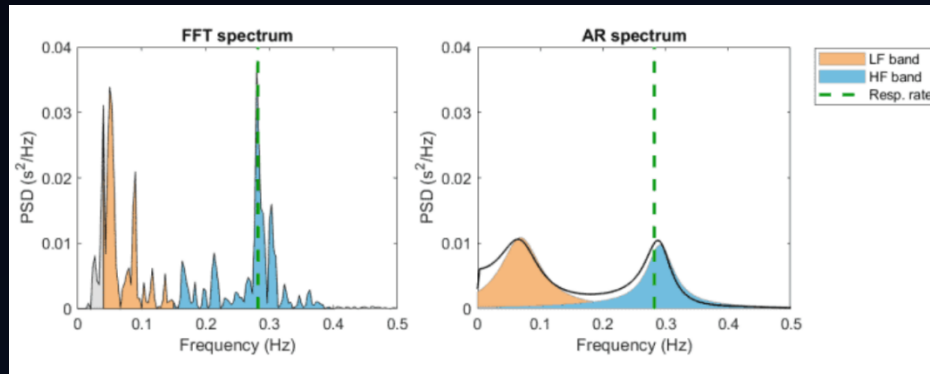
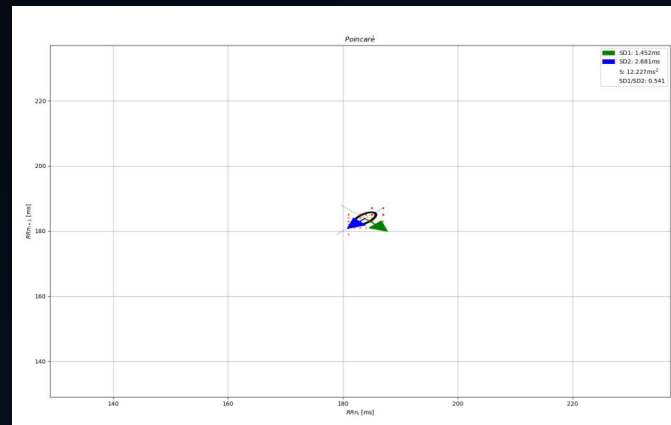
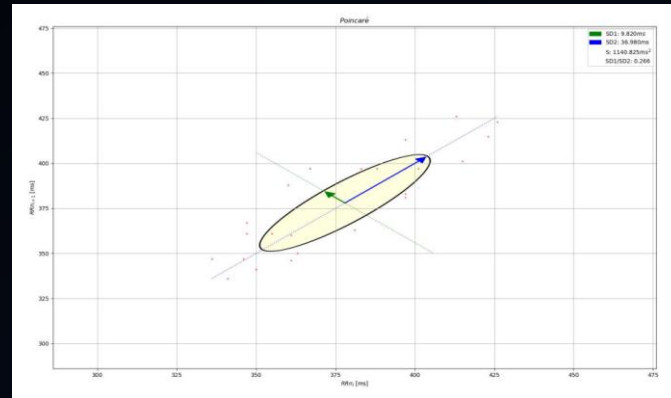
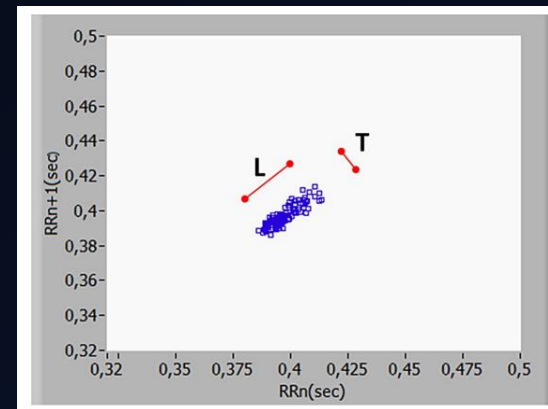
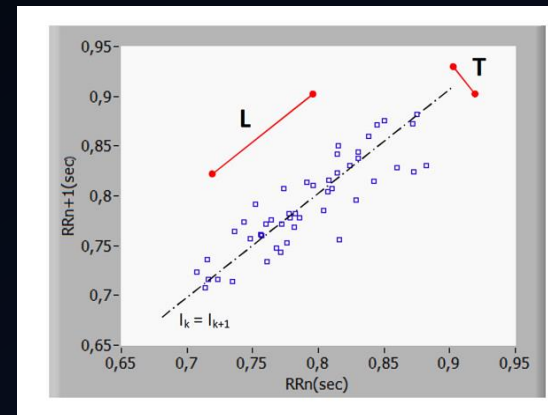


Gráfico de Poincaré

Experimental



Teórico

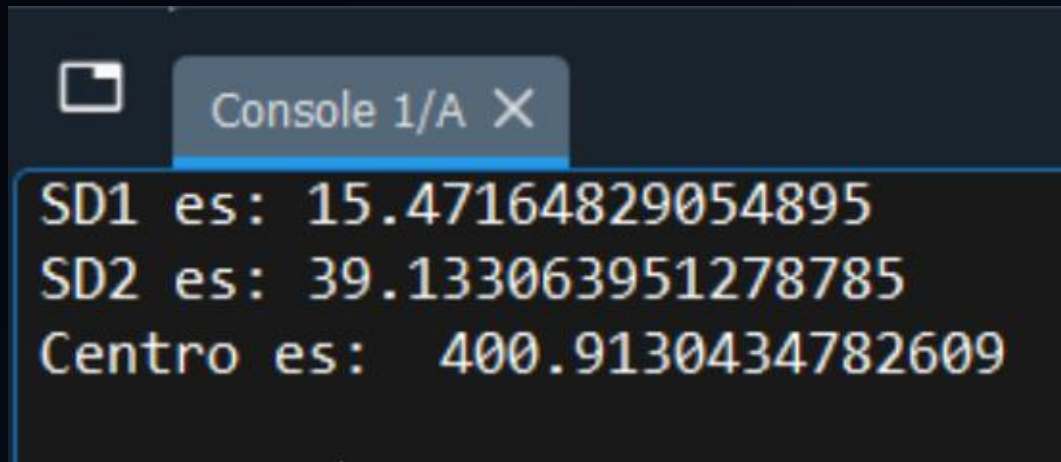


Algoritmo para la clasificación de latidos del corazón

- Método diferencial de frecuencia cardiaca

$$\text{HR} - \text{Diff} = \sum_{i=0}^k \frac{1}{2} (x_{(1+i)} - x_{(i-1)}); \quad k = \{\text{n muestras}\}$$

Obtención de vector de características



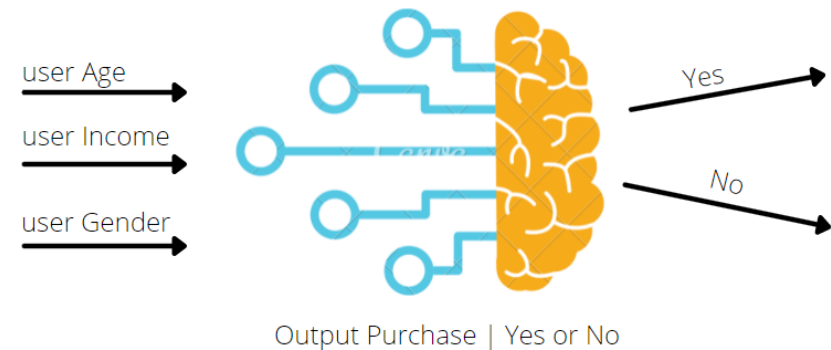
```
SD1 es: 15.47164829054895  
SD2 es: 39.133063951278785  
Centro es: 400.9130434782609
```

- Combinación entre gráfico de Poincaré y el método diferencial de frecuencia cardiaca obtenemos las características deseadas.
- Se ha demostrado que mediante este método se puede detectar un suceso de 60 segs a 20 segs antes de que suceda.

Aprendizaje automático

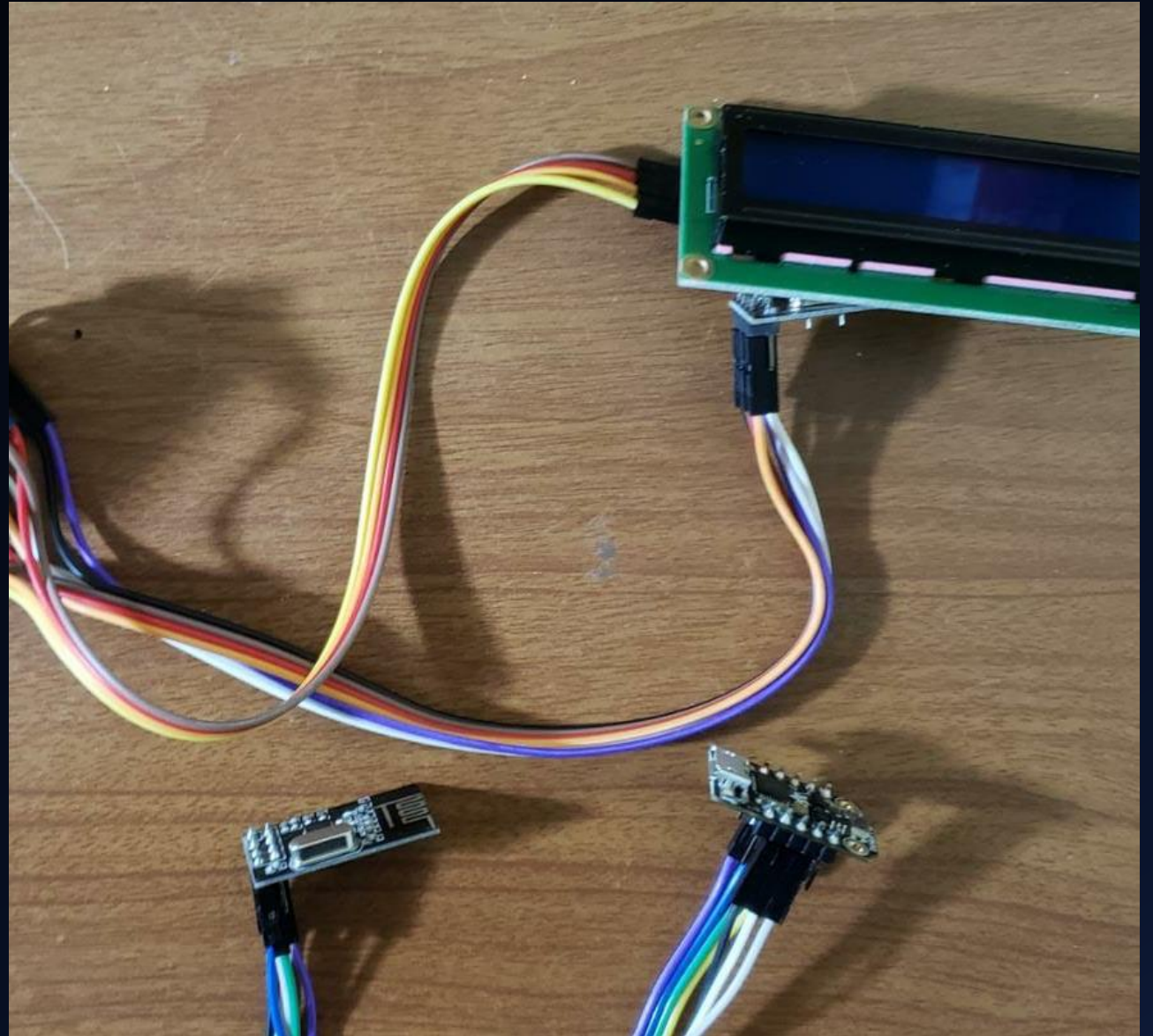
- Regresión logística presentó mejores resultados
- Se logra clasificar con un 93% de precisión entre estado en reposo y estado de actividad física.

Logistic Regression



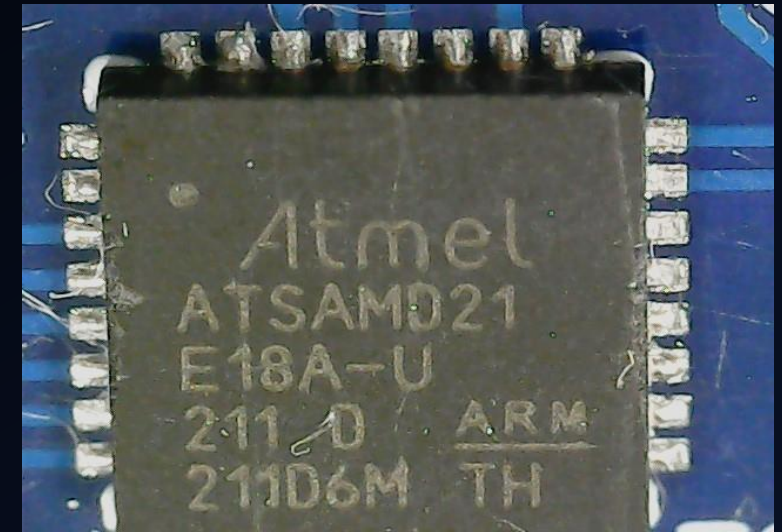
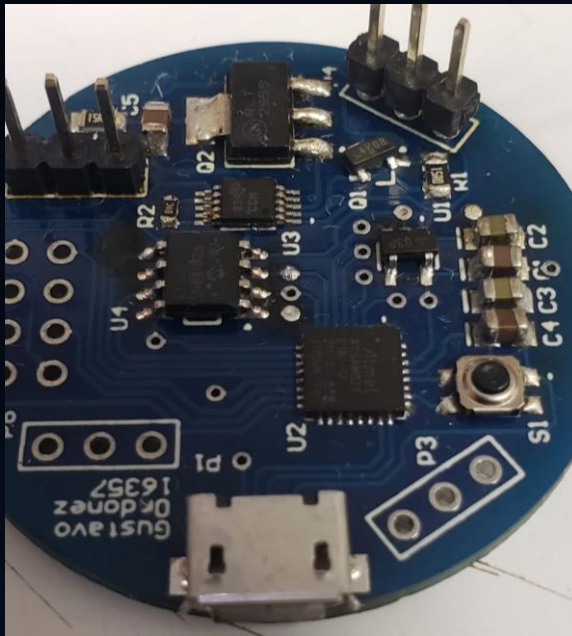
COMUNICACIÓN RF ENTRE TRINKET M0 Y ESP8266

Previamente solo se había logrado
con éxito la comunicación RF entre
Arduino y ESP8266



Soldadura módulo estimulador

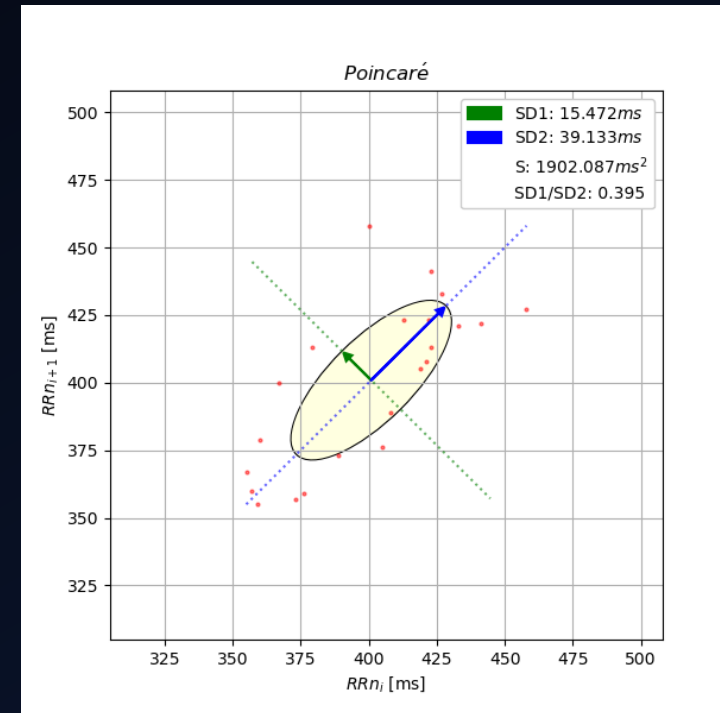
- Soldadura por medio de pistola de calor
- Soldadura con horno



RESULTADOS

- Obtención de características de un ECG por medio de algoritmo de clasificación del ritmo cardiaco y análisis de gráfico de Poincaré.

	A	B	C	D	E
1	Nombre	SD1	SD2	Position	target
2	data	13.3193	46.86123	410.6818	0
3	data2	15.47165	39.13306	400.913	0
4	data3	11.49636	27.84834	393.3478	0
5	data4	9.135816	11.72366	389.6667	0
6	data5	6.78073	8.924403	366.36	0
7	data6	11.19433	26.71064	413.8182	0
8	data7	7.323432	30.23123	413.0909	0
9	data8	9.179737	32.68214	405.6818	0
10	data9	10.52865	47.41748	386.7083	0
11	data10	8.855122	26.75811	365.68	0
12	data11	10.52865	47.41748	386.7083	0
13	data12	11.22594	21.22365	399.3478	0
14	data13	9.862763	22.66189	389.125	0
15	data14	9.819729	36.98024	377.96	0



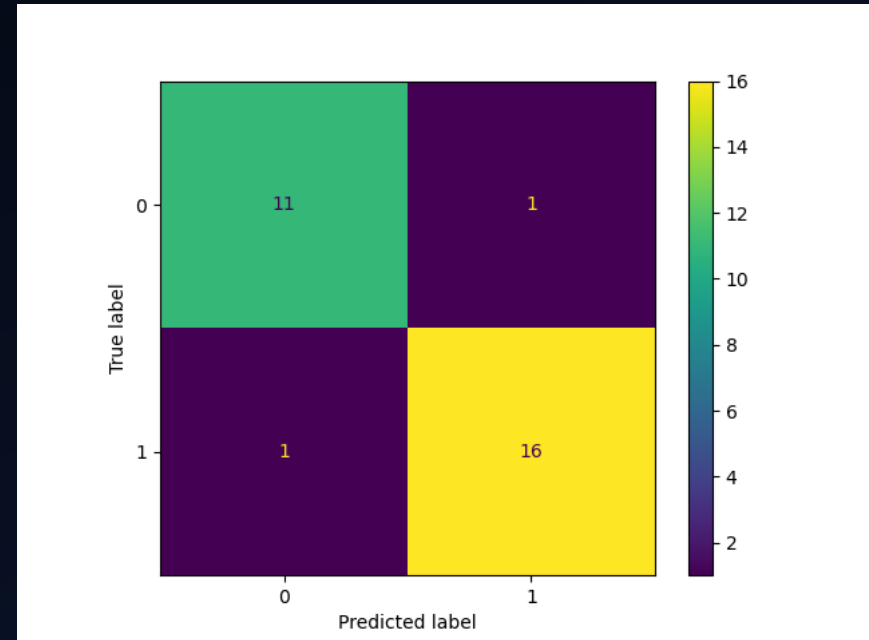
Resultados

RESULTADOS

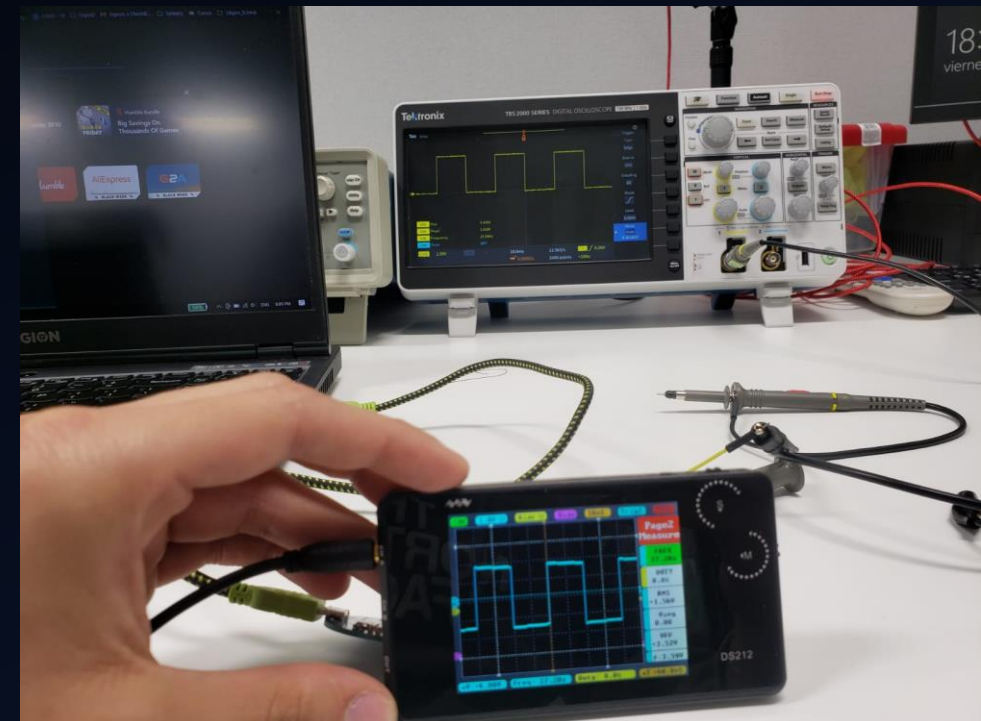
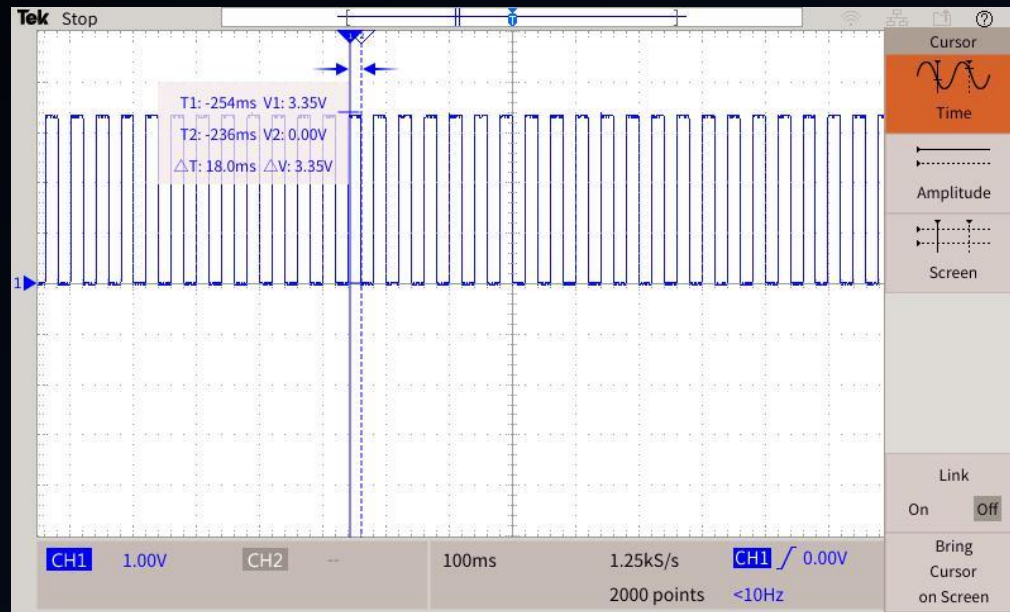
- Clasificación entre estado en reposo y estado de actividad física, por medio de aprendizaje automático.
- La clasificación tiene una precisión del 93%.

```
[1]  
La persona esta haciedo un esfuerzo físico según su ECG|
```

```
[0]  
La persona esta en reposo según su ECG|
```



Señal PWM del modulo estimulador



Comunicación RF e Interfaz gráfica

CONEXION POR WIFI EXITOSA

Se ha logrado la comunicación por WiFi

Ir a la selección de parámetros

Sistema VNS - UVG

Seleccionar los parámetros de estimulación

Corriente:	0.25 mA
Ancho de pulso:	250 μ s
Tiempo:	30 s
Frecuencia:	490.20 Hz
Tiempo de sleep:	5 min

ENVIAR

PARAMETROS RECIBIDOS

Modulo de Estimulacion dice: Parametros Recibidos

Cerrar Ventana

COM7

Send

Modo de Operación: Estimulación
Ancho de Pulso: 250 us
Tiempo de Estimulación: 30 s
Frecuencia: 490.20 Hz (Default)
Tiempo de apagado: 5 min

☒ Autoscroll ☐ Show timestamp

Newline 115200 baud Clear output

CONCLUSIONES

- Se logró el sistema de operación automático para la detección de estados de una persona.
- Se validó el funcionamiento de la interfaz gráfica de la varilla programadora.
- Se validó el funcionamiento de la pantalla LCD para brindar el código a ingresar en la interfaz gráfica de la varilla programadora.
- Se logró la clasificación de señales ECG por medio de técnicas de aprendizaje automático.
- Se validó la comunicación RF entre ES8266 y Trinket M0, consecuentemente el envío y recepción de parámetros de ambas vías.

RECOMENDACIONES

- Se recomienda buscar nuevas características para una mejor asertividad en el aprendizaje automático.
- Se recomienda desarrollar un dispositivo que funcione como bootloader para la programación de ATSAM21E18 y de esta manera sacrificar Trinket M0 para la programación del mismo.
- Se recomienda la fabricación de nuevas placas para el estimulador del nervio vago.
- Se recomienda verificar el funcionamiento de todas las partes por separado y luego proceder a probarlas en conjunto.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Livanova VNS Una Introducción a VNS Therapy, sep. de 2018. dirección: <https://www.livanova.com/epilepsy-vnstherapy/getmedia/6fd40c67-3089-4a2b-b41a-9f3f2b3dd3cc/introduction-to-vns-therapy-spanish.pdf>.
- AspireSR All the benefits of previous generations of VNS Therapy. dirección: <https://epilepsyswo.ca/wp-content/uploads/2019/05/AspireSRFAQ.pdf>.
- Epilepsia: MedlinePlus enciclopedia médica, es. dirección: <https://medlineplus.gov/spanish/ency/article/000694.htm> (visitado 09-05-2022).
- R. J. Figueroa, "Integración y Mejora de un Prototipo de Estimulador del Nervio Vago y su Varilla de Programación Inalámbrica para el Tratamiento de Epilepsia Fármaco Resistente - Fase III," 2022.
- E. Task Force of the European Society of Cardiology the North American Society of Pacing, "Heart Rate Variability," Circulation, vol. 93, n.o 5, págs. 1043-1065, mar. de 1996, Publisher: American Heart Association. doi: 10.1161/01.CIR.93.5.1043. dirección: <https://www.ahajournals.org/doi/full/10.1161/01.cir.93.5.1043> (visitado 02-12-2022).
- S. K. Ghatak y S. Aditya, Poincaré parameters and principal component analysis of Heart rate variability of subjects with health disorder, arXiv:1802.10289 [physics], feb. de 2018. dirección: <http://arxiv.org/abs/1802.10289> (visitado 27-09-2022).
- J. Piskorski y P. Guzik, "Filtering Poincaré plots," en, Publisher: ICHB PAS Poznan Supercomputing and Networking Center. doi: 10.12921/CMST.2005.11.01.39-48. dirección: <http://www.cmst.eu/articles/filtering-poincare-plots> (visitado 02-12-2022).
- J. Jeppesen, S. Beniczky, P. Johansen, P. Sidenius y A. Fuglsang-Frederiksen, "Detection of epileptic seizures with a modified heart rate variability algorithm based on Lorenz plot," English, Seizure - European Journal of Epilepsy, vol. 24, págs. 1-7, ene. de 2015, Publisher: Elsevier, issn: 1059-1311, 1532-2688. doi: 10.1016/j.seizure.2014.11.004. dirección: [https://www.seizure-journal.com/article/S1059-1311\(14\)00303-3/fulltext#relatedArticles](https://www.seizure-journal.com/article/S1059-1311(14)00303-3/fulltext#relatedArticles) (visitado 25-09-2022).
- Difference between RR interval and NN interval, en-US. dirección: <https://hexoskin.zendesk.com/hc/en-us/articles/360045123314-Difference-between-RR-interval-and-NN-interval> (visitado 30-11-2022).
- C. Cárdenas y J. Ancizar, "Eliminación de perturbaciones en señales ECG utilizando filtrado de Kalman implementado en un DSP," spa, bachelorThesis, Pereira : Universidad Tecnológica de Pereira, dic. de 2014. dirección: <http://repositorioslatinoamericanos.uchile.cl/handle/2250/141362> (visitado 22-11-2022).
- ECG interpretation: Characteristics of the normal ECG (P-wave, QRS complex, ST segment, T-wave), en-US. dirección: <https://ecgwaves.com/topic/ecg-normal-pwave-qrs-complex-st-segment-t-wave-j-point/> (visitado 25-11-2022).
- H. H. P. Staff, Heart rate variability: How it might indicate well-being, en, nov. de 2017. dirección: <https://www.health.harvard.edu/blog/heart-rate-variabilitynew-way-track-well-2017112212789> (visitado 30-11-2022).