

Informe de Análisis de Señales ECG y EEG para Pacientes con Enfermedad de Parkinson*

1st Allisson Rojas Niebles
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
allisson.rojas@udea.edu.co

2nd Fabio Velez Osorio
Universidad de Antioquia
Medellín, Colombia
fabio.velezo@udea.edu.co

Abstract—Este estudio se centra en el análisis de señales biomédicas, como el ECG, EMG y EEG, con el fin de identificar patrones relacionados con la enfermedad de Parkinson a través de herramientas estadísticas. Se llevaron a cabo diferentes pruebas, incluyendo t-Student, Mann-Whitney, Shapiro-Wilk, Levene y Dickey-Fuller, para evaluar aspectos como la normalidad, la homocedasticidad y la estacionariedad de los datos. En el caso del ECG, se detectaron diferencias entre ciclos, a pesar de que la prueba de Dickey-Fuller sugirió que los datos eran estacionarios. Por otro lado, en el EEG, aunque los datos no se ajustaron a una distribución normal, presentaron homogeneidad en las varianzas. A pesar de estos hallazgos, no se encontraron diferencias significativas entre los pacientes sanos y aquellos con Parkinson, lo que podría atribuirse al tamaño reducido de la muestra o a la fase clínica de los pacientes analizados. En conclusión, el procesamiento digital de señales resulta fundamental para evaluar las variaciones fisiológicas, aunque los resultados obtenidos están muy influenciados por la calidad de los datos y el enfoque estadístico utilizado.

Index Terms—Parkinson, Señales biomédicas, Estacionariedad, Análisis estadístico

I. INTRODUCCIÓN

La enfermedad de Parkinson es un trastorno neurodegenerativo crónico caracterizado por la pérdida progresiva de neuronas dopaminérgicas en la sustancia negra del cerebro, lo cual impacta directamente en el control del movimiento. Esta condición se manifiesta principalmente por síntomas motores como temblores, rigidez muscular, lentitud de movimiento (bradicinesia) y problemas de equilibrio, así como por síntomas no motores, incluyendo disfunciones cognitivas, alteraciones del sueño, dolor y trastornos del sistema nervioso autónomo [1].

Las señales biomédicas, como la Electromiografía (EMG) y la Electrocardiografía (ECG), permiten evaluar el estado funcional de los sistemas muscular y cardiovascular, respectivamente. La EMG registra la actividad eléctrica generada por los músculos durante el movimiento o el reposo, lo que resulta útil para detectar irregularidades neuromusculares asociadas a la enfermedad. Por su parte, la ECG mide la actividad eléctrica del corazón y permite identificar alteraciones del ritmo cardíaco y de la regulación autonómica, factores que también pueden verse comprometidos en pacientes con Parkinson [2].

Dado que estas señales son estocásticas por naturaleza, su análisis requiere el uso de herramientas estadísticas que

permitan describir su comportamiento promedio y estimar la variabilidad entre distintos registros o sujetos. Esta aproximación facilita la extracción de patrones significativos que pueden contribuir al desarrollo de estrategias diagnósticas y terapéuticas más precisas [3].

II. METODOLOGÍA

- Los materiales y equipos utilizados en este estudio incluyeron el archivo signals.mat, que contiene las señales ECG, EMG y EEG. Las señales se registraron a una tasa de muestreo de 1024 Hz. Para el análisis se ejecutó el uso de software especializado como Python (con bibliotecas como NumPy, SciPy, MNE y statsmodels) que facilitan tanto el procesamiento como la visualización de los datos. Además, fueron implementados filtros asegurando así una señal limpia y adecuada para el análisis estadístico posterior.

PROTOCOLO EXPERIMENTAL

A. Implementación de funciones

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i^2} \quad (1)$$

Las señales proporcionadas en el archivo signals.mat tienen una tasa de muestreo de 1024 Hz, con un tiempo de duración de 30 s.

B. Analisis estadistico ECG

En este analisis estadistico se realizaron los siguientes procedimientos:

- Extracción de ciclos Se extrajeron 15 ciclos de la señal filtrada y se calculó en cada ciclo el promedio y la varianza.
 - Hipótesis nula (H): Los ciclos extraídos son estacionarios (la media y la varianza son constantes).
 - Hipótesis alternativa (H): Los ciclos extraídos no son estacionarios (la media y la varianza varían significativamente).
- Comparación estadística entre ciclos utilizando una prueba t-Students

- Hipótesis nula (H): No existe diferencia estadísticamente significativa entre los ciclos comparados (medias de los ciclos son iguales).
- Hipótesis alternativa (H): Existe una diferencia estadísticamente significativa entre los ciclos comparados (medias de los ciclos son diferentes)
- Prueba de normalidad (una prueba de Shapiro-Wilk) para verificar la normalidad de los ciclos.
 - Hipótesis nula (H): Los datos siguen una distribución normal.
 - Hipótesis alternativa (H): Los datos no siguen una distribución normal.
- Prueba de homocedasticidad (prueba de Levene) para verificar la homogeneidad de las varianzas.
- Prueba U de Mann-Whitney (Si las pruebas de normalidad y homocedasticidad no se cumplen) es un analisis parametrico.
 - Hipótesis nula (H): Las distribuciones de ambos ciclos son idénticas (no hay diferencia significativa).
 - Hipótesis alternativa (H): Las distribuciones de ambos ciclos son diferentes (existe diferencia significativa).
- Prueba de estacionariedad (Prueba de Dickey-Fuller) para verificar si la señal ECG es estacionaria.
 - Hipótesis nula (H): La señal ECG no es estacionaria (tiene una raíz unitaria).
 - Hipótesis alternativa (H): La señal ECG es estacionaria (no tiene raíz unitaria).

C. Analisis estadistico EEG

- Cálculo de la energía promedio por canal y promediada por épocas como:

$$E_{c,e} = \sum_{t=1}^T X_i^2$$

Luego, la energía promedio por canal se calcula como:

$$\bar{E}_c = \frac{1}{E} \sum_{e=1}^E E_{c,e} = \frac{1}{E} \sum_{e=1}^E \sum_{t=1}^T X_i^2$$

- Descripción objetiva sin interpretación (esa va en la discusión).
- Comparación estadística de la energía entre grupos de control y de pacientes que tiene parkinson.
 - Hipótesis nula (H): No hay una diferencia significativa en la energía promedio entre los canales de los dos grupos, es decir, las medias de energía de ambos grupos son iguales.
 - Hipótesis alternativa (H): Existe una diferencia significativa en la energía promedio entre los canales de los dos grupos, lo que implica que las medias de energía son diferentes.
- Prueba de normalidad (una prueba de Shapiro-Wilk) para verificar la normalidad de los ciclos.

- Hipótesis nula (H): Los datos siguen una distribución normal.
- Hipótesis alternativa (H): Los datos no siguen una distribución normal.
- Prueba de homocedasticidad (prueba de Levene) para verificar la homogeneidad de las varianzas.
- La prueba U de Mann-Whitney es un análisis no paramétrico que se utiliza cuando no se cumplen los supuestos de normalidad y homocedasticidad.
 - Hipótesis nula (H): Las distribuciones de energía entre los dos grupos son iguales.
 - Hipótesis alternativa (H): Las distribuciones de energía entre los dos grupos son diferentes.

III. RESULTADOS

A. Analisis estadistico ECG

- Implementacion de funcion y filtrado de la señal.

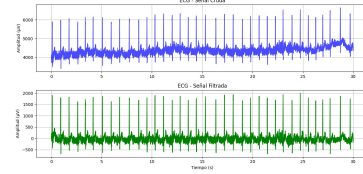


Fig. 1: Comparacion señal cruda y señal filtrada.

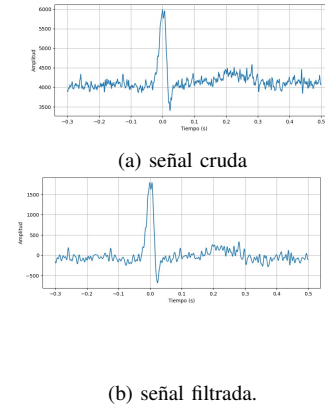


Fig. 2: Graficación ciclo cardiaco de señal cruda y filtrada.

Los datos obtenidos en cada grafica se han organizado en la siguiente tabla:

| Filtrada/no filtrada | Promedio | RMS | Varianza | Desviación estándar |
|----------------------|----------|---------|----------|---------------------|
| sin filtrar | 4163.02 | 4174.00 | 91567.86 | 302.60 |
| filtrada | 4.90 | 298.03 | 88800.36 | 297.99 |

TABLE I: Datos de las señales en la FIG2

Los datos obtenidos en cada grafica se han organizado en la siguiente tabla:

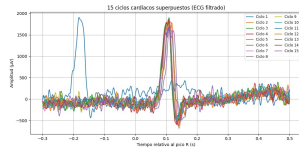


Fig. 3: Extracción de 15 ciclos

- Comparación estadística entre ciclos utilizando una prueba t



Fig. 4: Gráfica valor promedio

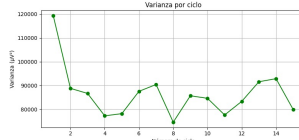


Fig. 5: Gráfica varianza

- Comparación estadística entre ciclos utilizando una prueba t

El Ciclo 2 y el Ciclo 5

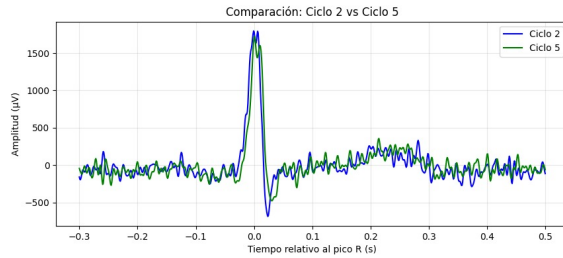


Fig. 6: se realizo una comparacion con los ciclos 2 y 5

| Ciclo | Nombre variable | Valor numeral | Descripcion |
|-------|-----------------|---------------|-------------|
| 2 | p-valor | 0.0000 | No normal |
| 5 | p-valor | 0.0000 | No normal |

TABLE II: prueba de normalidad Shapiro-Wilk

| Tipopruoba | Nombre prueba | p-valor | Descripcion |
|------------------|-------------------|---------|--------------------------|
| homocedasticidad | Levene | 0.8434 | Varianzas iguales |
| no paramétrica | U de Mann-Whitney | 0.0430 | Diferencia significativa |

TABLE III: pruebas t-Student

El Ciclo 8 y el Ciclo 12

| Ciclo | Nombre variable | Valor numeral | Descripcion |
|-------|-----------------|---------------|-------------|
| 8 | p-valor | 0.0000 | No normal |
| 12 | p-valor | 0.0000 | No normal |

TABLE IV: prueba de normalidad Shapiro-Wilk

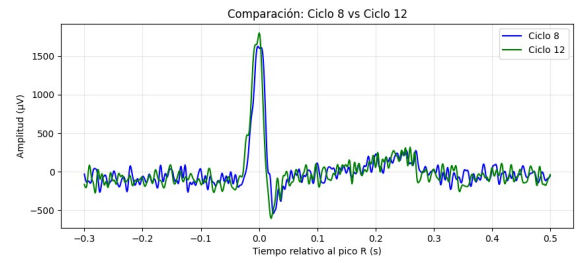


Fig. 7: se realizo una comparacion con los ciclos 8 y 12

| Tipopruoba | Nombre prueba | p-valor | Descripcion |
|------------------|---------------|---------|---------------------------------|
| homocedasticidad | Levene | 0.4794 | Varianzas iguales |
| no paramétrica | Mann-Whitney | 0.0600 | No hay diferencia significativa |

TABLE V: t-Student

- Comprobación de estacionariedad con la prueba de Dickey-Fuller. Los datos obtenidos para esta prueba son los siguientes: Estadístico ADF: -26.6125 p-valor: 0.0000 Valores críticos: 1510

B. Analisis estadistico EEG

En este analisis estadistico se realizaron los siguientes procedimientos:

| Canal | grupo | p-valor | Descripcion |
|-------|-------|---------|-------------|
| 1 | 1 | 0.0187 | No normal |
| 1 | 2 | 0.0102 | No normal |
| 2 | 1 | 0.0175 | No normal |
| 2 | 2 | 0.0042 | No normal |
| 3 | 1 | 0.0148 | No normal |
| 3 | 2 | 0.0031 | No normal |
| 4 | 1 | 0.0008 | No normal |
| 4 | 2 | 0.0005 | No normal |
| 5 | 1 | 0.0038 | No normal |
| 5 | 2 | 0.0023 | No normal |
| 6 | 1 | 0.0000 | No normal |
| 6 | 2 | 0.0000 | No normal |
| 7 | 1 | 0.0000 | No normal |
| 7 | 2 | 0.0000 | No normal |
| 8 | 1 | 0.0000 | No normal |
| 8 | 2 | 0.0000 | No normal |

TABLE VI: prueba de normalidad Shapiro-Wilk

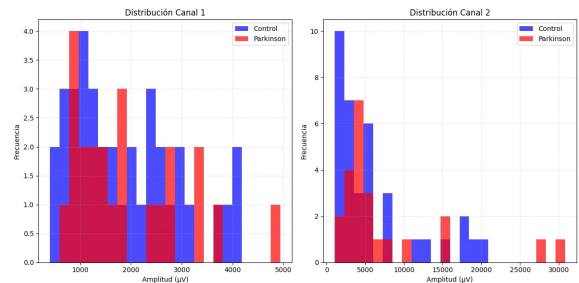


Fig. 8: Distribución normal de 2 canales aleatorios

Resultados del análisis Mann-Whitney U

| Canal | p-valor | Descripcion |
|-------|---------|---------------|
| 1 | 0.9132 | Homocedástico |
| 2 | 0.6417 | Homocedástico |
| 3 | 0.6404 | Homocedástico |
| 4 | 0.4720 | Homocedástico |
| 5 | 0.6807 | Homocedástico |
| 6 | 0.5090 | Homocedástico |
| 7 | 0.6676 | Homocedástico |
| 8 | 0.6409 | Homocedástico |

TABLE VII: prueba de Levene

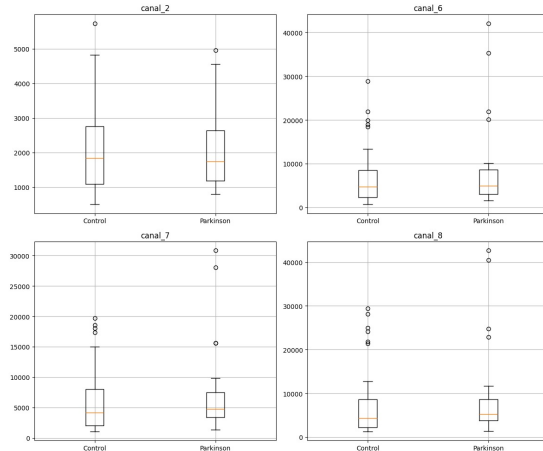


Fig. 9: Comparación de canales 2,6,7 y 8

| Canal | p-valor | Descripcion |
|-------|---------|------------------|
| 1 | 0.8581 | No significativo |
| 2 | 0.9938 | No significativo |
| 3 | 0.7149 | No significativo |
| 4 | 0.6804 | No significativo |
| 5 | 0.9442 | No significativo |
| 6 | 0.4795 | No significativo |
| 7 | 0.2941 | No significativo |
| 8 | 0.3087 | No significativo |

TABLE VIII: análisis Mann-Whitney

IV. DISCUSIÓN

Analisis estadistico ECG- Implementacion de funcion y filtrado de la señal. Se observa que se aplicó un offset a la señal cruda tal que las fluctuaciones de señal filtrada se den alrededor de la media 0. Además, también se ve la aplicación de un *detrending lineal*, ya que se evidencia que se eliminaron tendencias lineales de la señal cruda para centrarse en las fluctuaciones significativas alrededor de la media 0. Probablemente se utilizó un filtro pasa-bajas, ya que se observó una significativa reducción de la frecuencia del ruido entre la señal cruda y la señal filtrada. Esto facilita un mejor análisis de la señal, considerando que la frecuencia del ECG se sitúa entre 0,05 y 200 Hz. La aplicación de estos filtros permite eliminar el ruido generado por movimientos. Además, es posible que el filtro pasa-bajas se haya complementado con filtros pasa-bandas y pasa-altos, lo que contribuye a una filtración más efectiva de la señal, ayudando así a eliminar ruidos producidos por interferencias eléctricas externas. -Extracción

de 15 ciclos de la señal filtrada La señal presenta ciclos con una duración aproximada de 0.5 segundos, lo cual concuerda con la duración media de un ciclo cardíaco [3]. Los valores máximos de amplitud se encuentran entre 1500 y 2000 mV, y las fluctuaciones se distribuyen alrededor de una media cercana a cero. Sin embargo, se observan diferencias significativas en los valores de media y varianza entre distintos tramos de la señal, lo cual indica un comportamiento no estacionario. Este comportamiento se refuerza al analizar el coeficiente de variación, que alcanza un porcentaje de 245.5 por ciento, lo que significa que la desviación estándar es aproximadamente 2.455 veces mayor que la media. Este elevado valor del coeficiente de variación revela una alta dispersión en los datos respecto a su media, lo que dificulta la predicción de valores futuros con certeza y respalda la hipótesis de no estacionariedad. - Comparación estadística entre ciclos utilizando una prueba t Para realizar una comparación estadística, se seleccionaron manualmente dos ciclos específicos de la señal: el Ciclo 2 y el Ciclo 5, y tambien se realizo el mismo procedimiento con el Ciclo 8 y Ciclo 12 todos con una duración de 0.800 segundos. Esta elección visual y deliberada permite comparar segmentos temporales equivalentes, evitando sesgos por diferencia de longitud. Al ser no consecutivos, estos ciclos permiten detectar posibles variaciones estadísticas en el tiempo que reflejen comportamientos no estacionarios, ya sea por factores fisiológicos, ambientales o del propio sistema biológico. Prueba de ciclos ciclo 2 y 5 Haciendo uso de la prueba U de Mann-Whitney para el ciclo 2 y 5 se observa que la hipotesis nula se rechaza, lo que indica que hay diferencias significativas en los datos, por ejemplo en la amplitud de los ciclos y que este no sigue una periodicidad estrictamente constante. ciclo 8 y 12 La prueba U Mann Whitney para los ciclos 8 y 12, demuestran que los datos no presentan diferencias significativas entre sí. Con esto se puede establecer que la señal presenta estacionariedad. - Comprobación de estacionariedad con la prueba de Dickey-Fuller. El valor de -26.6125 es significativamente inferior a los valores críticos habituales (como -3.5 o -2.9), lo que sugiere una contundente evidencia de que la señal es estacionaria por lo tanto se rechaza la hipótesis nula Además, el p-valor, que es extremadamente bajo (0.0000), indica que la probabilidad de que la señal no sea estacionaria es prácticamente inexistente. Analisis estadistico EEG - Shapiro-Wilk: La prueba Shapiro-Wilk es no normal, probablemente se refiere a que el resultado indica que los datos no son normales, lo cual ocurriría si el p-valor es menor a 0.05. - Homocedasticidad (Levene) Las pruebas realizadas para cada uno de los canales comparando pacientes sanos y con enfermedad de Parkinson, indican que las varianzas son homogéneas entre ambos grupos, dando a entender que todos presentan homocedasticidad. Esto sugiere que las diferencias entre los grupos no se manifiestan directamente en términos de la varianza de las

señales de EEG en los canales analizados. - Prueba U de Mann-Whitney Los resultados de las pruebas indican que ningún canal proporciona información diferenciadora entre pacientes sanos y aquellos con enfermedad de Parkinson. Esto sugiere que, al menos bajo el análisis estadístico actual, no se pueden detectar diferencias significativas en la señal de EEG entre estos dos grupos. Es posible que este hallazgo esté relacionado con el tamaño reducido de la muestra utilizada, lo cual dificulta la identificación de diferencias debido a la variabilidad inherente en cada grupo. Un aumento en el tamaño de la muestra podría mejorar la capacidad estadística y facilitar la detección de tales diferencias. Además, es importante considerar que no se cuenta con información acerca de la fase de la enfermedad en la que se encontraban los pacientes con Parkinson. esto afectaría el tamaño considerable de las señales a analizar.

V. CONCLUSIONES

- El procesamiento digital de señales es clave en el análisis del ECG, ya que permite detectar variaciones estadísticas a lo largo del tiempo y facilita la identificación de patrones cardíacos. Además, permite comparar diferentes estados fisiológicos, destacando la importancia de analizar variables estadísticas como indicadores clave en la evaluación de estas señales.
- La ausencia de diferencias significativas entre el grupo de pacientes sanos y aquellos diagnosticados con Parkinson no implica necesariamente que no existan diferencias reales. Más bien, podría ser un reflejo de las limitaciones de las pruebas estadísticas empleadas y de las características elegidas para el análisis. Esto subraya la importancia de tener en cuenta factores como el tamaño de la muestra y las particularidades clínicas de los pacientes, especialmente en enfermedades como el Parkinson, que presentan una alta variabilidad. Así, queda de manifiesto la relevancia de analizar diversas variables estadísticas que actúan como indicadores y métricas clave en la evaluación de las señales de EEG.

REFERENCES

- [1] O. M. de la Salud, "Enfermedad de parkinson," <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/parkinson-disease>, 2023, accedido: 2025-04-14. [Online]. Available: <https://www.who.int/es/news-room/fact-sheets/detail/parkinson-disease>
- [2] J. C. Saidiza Rodríguez, "Análisis de señales de eeg para apoyar el diagnóstico de la enfermedad de parkinson (ep), mediante características espectrales," Tesis de pregrado, Universidad Antonio Nariño, 2023, disponible en el repositorio institucional de la Universidad Antonio Nariño. [Online]. Available: <http://repositorio.uan.edu.co/handle/123456789/7413>
- [3] L. L. Álvarez Escobar, "Análisis de esquemas de filtrado para señales electrocardiográfica (ecg)," Tesis de pregrado, Universidad Tecnológica de Pereira, 2007, disponible en el repositorio institucional de la Universidad Tecnológica de Pereira. [Online]. Available: <https://hdl.handle.net/11059/1088>