**Clasificación de Movimientos con Señal EMG**

Elda Daniela Navas Cinto 211000,

[nav211000@uvg.edu.gt](mailto:nav211000@uvg.edu.gt)

**Descripción del Problema**

Las personas que han sufrido amputaciones requieren prótesis funcionales que les permitan recuperar parte de la movilidad de sus extremidades. Las prótesis mioeléctricas detectan señales musculares (EMG) del muñón y las traducen en comandos de movimiento. Sin embargo, uno de los principales desafíos actuales es que no existe un modelo universal que funcione igual para todos los usuarios, debido a las diferencias fisiológicas, de activación muscular y patrones de movimiento entre individuos.

**Análisis**

El laboratorio se realiza en tres secciones principales, la primera es

**Propuesta de Solución**

Este proyecto busca desarrollar un sistema de **clasificación** de movimientos de la mano (pinza, puño y palma extendida) a partir de señales EMG, con el objetivo de ser aplicado al control de prótesis mioeléctricas de manera personalizada.

Para lograr esto, se utilizarán datos **propios** obtenidos directamente usando el BIOPAC con electrodos superficiales conectados al antebrazo. La adquisición de señales personales tiene dos objetivos fundamentales:

1. Simular el entrenamiento de una prótesis adaptada a un usuario específico.
2. Demostrar que los patrones musculares son únicos por persona, lo que refuerza la necesidad de modelos individualizados en aplicaciones reales de prótesis.

Dado que en el contexto biomédico cada paciente presenta una estructura anatómica, fuerza y activación muscular diferente, se vuelve muy complejo (y poco efectivo) diseñar un sistema de control único para todos. Por ello, la personalización a través del entrenamiento con datos individuales permite mejorar la precisión y utilidad de las prótesis mioeléctricas, haciendo que los movimientos sean más naturales y adaptados a cada usuario.

**Como se realizaría**

**Elaboración del Data Set usando el BIOPAC**

1. Movimientos a registrar:
   1. Pinza
   2. Puño cerrado
   3. Palma extendida
2. Para cada movimiento:
   1. Repeticiones: 150
   2. Duración de cada repetición: 5 segundos en contracción (movimiento activo) + 5 segundos de relajación
   3. Se configura el BIOPAC para que la captación de datos se haga en ventanas de 5 segundos exactas y facilite el procesamiento más adelante.

1500 segundos, 25 minutos.

1. Frecuencia de muestreo recomendada para EMG
   1. Óptima: 1000 Hz
   2. Mínima aceptable: 500 Hz
2. Filtros recomendados
   1. Filtro pasa banda (band-pass):
      1. Rango: 20 Hz – 450 Hz
   2. Filtro notch:
      1. Frecuencia: 60 Hz
   3. Filtro pasa alto:
      1. Corte: ≥10 Hz (para eliminar artefactos de movimiento)
3. Registro y etiquetado
   1. Durante la adquisición, se llevará un registro digital del orden y tipo de movimiento ejecutado. Cada segmento de señal estará claramente etiquetado con su clase correspondiente (pinza, puño, palma).
   2. Se guardará la señal continua y se exportará a:
   3. Archivo .mpara su procesamiento en MATLAB. (Archivo .xlsx o csv como respaldo.)

Para registrar adecuadamente las señales EMG del antebrazo durante movimientos de cierre de puño, apertura de palma y pinza digital, se recomienda:

**Configuración de frecuencia de muestreo**

* **Rango óptimo**: 1,000 a 2,000 Hz  
  La señal EMG típica contiene componentes de frecuencia entre 20-500 Hz[3](https://openbci.com/forum/index.php?p=%2Fdiscussion%2F1532%2Frequired-sampling-rate-for-emg)[4](https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/4806). Según el teorema de Nyquist, la frecuencia de muestreo debe ser al menos el doble del componente máximo (500 Hz × 2 = 1,000 Hz)[2](https://blog.biopac.com/data-acquisition-basics-using-frequency-to-determine-the-correct-sample-rate/)[3](https://openbci.com/forum/index.php?p=%2Fdiscussion%2F1532%2Frequired-sampling-rate-for-emg). BIOPAC Student Lab configura por defecto 2,000 Hz[2](https://blog.biopac.com/data-acquisition-basics-using-frequency-to-determine-the-correct-sample-rate/), lo que garantiza una captura precisa incluso en los límites superiores del espectro EMG.

**Filtros digitales recomendados**

**Cadena de procesamiento sugerida:**

1. **Filtro pasa-altas**: 20 Hz  
   Elimina artefactos de movimiento y deriva basal[4](https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/4806)[6](https://blog.biopac.com/data-acquisition-basics-filtering/)
2. **Filtro pasa-bajas**: 450-500 Hz  
   Atenúa ruido electromagnético de alta frecuencia[3](https://openbci.com/forum/index.php?p=%2Fdiscussion%2F1532%2Frequired-sampling-rate-for-emg)[5](https://www.biopac.com/wp-content/uploads/h20.pdf)
3. **Filtro notch opcional**: 50/60 Hz  
   Para interferencia de red eléctrica[5](https://www.biopac.com/wp-content/uploads/h20.pdf)[6](https://blog.biopac.com/data-acquisition-basics-filtering/)

**Características técnicas:**

matlab

*Ejemplo de parámetros en software BIOPAC*

Fs = *2000 Hz*  *Frecuencia de muestreo*

HPF\_cutoff = 20 *Hz*

LPF\_cutoff = 450 *Hz*

Notch = 50 *Hz (ajustar según región)*

**Consideraciones para los movimientos específicos**

* **Cierre de puño**: Mayor amplitud de señal (50-200 μV) con componentes frecuenciales predominantes en 50-150 Hz[3](https://openbci.com/forum/index.php?p=%2Fdiscussion%2F1532%2Frequired-sampling-rate-for-emg)
* **Pinza digital**: Requiere mayor resolución temporal debido a la rápida activación muscular (priorizar ≥1,000 Hz)[3](https://openbci.com/forum/index.php?p=%2Fdiscussion%2F1532%2Frequired-sampling-rate-for-emg)
* **Apertura de palma**: Señales más estables con menor contenido de alta frecuencia (20-100 Hz)[4](https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/4806)

Los filtros IIR (respuesta infinita al impulso) son recomendados para procesamiento en tiempo real por su eficiencia computacional[5](https://www.biopac.com/wp-content/uploads/h20.pdf). Para análisis post-adquisición, los filtros FIR preservan mejor la forma de onda original[5](https://www.biopac.com/wp-content/uploads/h20.pdf)[6](https://blog.biopac.com/data-acquisition-basics-filtering/).

**Citations:**

1. <https://www.biopac.com/bsl_l01dr_es-pdf/>
2. <https://blog.biopac.com/data-acquisition-basics-using-frequency-to-determine-the-correct-sample-rate/>
3. <https://openbci.com/forum/index.php?p=%2Fdiscussion%2F1532%2Frequired-sampling-rate-for-emg>
4. <https://revistas.ufps.edu.co/index.php/respuestas/article/view/4806>
5. <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/h20.pdf>
6. <https://blog.biopac.com/data-acquisition-basics-filtering/>
7. <https://www.unipamplona.edu.co/unipamplona/portalIG/home_40/recursos/05_v31_35/revista_31/documentos_revistas/22062018/8-30.pdf>
8. <https://pdfs.semanticscholar.org/90dd/c1af0034556c707b6e63f3fd5e6e6129585d.pdf>
9. <https://journals.scholarpublishing.org/index.php/JBEMi/article/download/3528/2168/9387>
10. <http://ri.uaemex.mx/bitstream/handle/20.500.11799/112646/Tesis%20final%20Ricardof.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
11. <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/EMG100C.pdf>
12. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/17636/1/UPS-CT008386.pdf>
13. <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/bsl-4-tutorial-es.pdf>
14. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5711/1/UPS-CT002800.pdf>
15. <https://biblus.us.es/bibing/proyectos/use/abreproy/11805/fichero/PFC+M%C2%AA+Amparo+Callej%C3%B3n+%252F3.++Resultados.pdf>
16. <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/L01v370ru.pdf>
17. <https://www.biopac.com/eda-faq-data/>
18. <https://www.ehu.eus/ccwintco/uploads/6/69/Tesis_doctoral_suberbiola_v10.pdf>
19. <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/EMG-Guide.pdf>
20. <https://www.biopac.com/application/emg-electromyography/>
21. <https://www.biopac.com/application-note/fmri-recording-emg-electromyogram-data/app241x/>
22. <https://www.biopac.com/application/emg-electromyography/advanced-feature/integrated-rms-emg/>
23. <https://www.biopac.com/wp-content/uploads/EMG-Product-Resource-Sheet.pdf>
24. <https://www.biopac.com/knowledge-base/ecg-artifact-in-emg-signal/>
25. <https://www.biopac.com/?app-advanced-feature=emg-force>
26. <https://www.biopac.com/?app-advanced-feature=filtering>
27. <https://www.biopac.com/?app-advanced-feature=surface-emg>
28. <https://www.biopac.com/application-note/emg-electromyogram-signal-analysis/>
29. <https://repositorio.utn.edu.ec/bitstream/123456789/9169/1/04%20MEC%20252%20TRABAJO%20DE%20GRADO.pdf>
30. <https://www.biopac.com/curriculum/h40-emg-robotic-arm-grip/>
31. <https://www.biopac.com/knowledge-base/low-pass-filters/>
32. <https://www.biopac.com/product/electromyogram-amplifier/>
33. <https://www.biopac.com/product/bionomadix-2ch-wireless-emg-transmitter/>
34. <https://www.biopac.com/video_category/bsl-robotics/>
35. <https://www.biopac.com/product/bionomadix-2ch-wireless-emg-amplifier/>
36. <https://www.mayoclinic.org/es/diseases-conditions/trigger-finger/symptoms-causes/syc-20365100>
37. <https://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/19513/1/UPS-CT008888.pdf>
38. <https://riull.ull.es/xmlui/bitstream/handle/915/20633/Mano%20bionica%20a%20partir%20de%20impulsos%20musculares.pdf?sequence=1>
39. <https://dspace.uazuay.edu.ec/bitstream/datos/5734/1/12054.pdf>
40. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4273320/>
41. <https://medlineplus.gov/spanish/ency/patientinstructions/000537.htm>
42. <https://www.nature.com/articles/s41597-023-02223-x>
43. <https://www.physio-pedia.com/Pinch_Grip_Test>
44. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0957417422014208>
45. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4501427/>
46. <https://www.nature.com/articles/s41597-023-02723-w>
47. <https://www.frontiersin.org/journals/neurorobotics/articles/10.3389/fnbot.2017.00017/full>
48. <https://fisiologia.facmed.unam.mx/wp-content/uploads/2020/11/electromiograf%C3%ADa.pdf>
49. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/25401/TFG-P-666.pdf?sequence=1>
50. <https://dilab.human.cornell.edu/docs/Psychophysiology%20training.pdf>
51. <https://www.biopac.com/knowledge-base/amplifier-filter-settings/>
52. <https://www.biopac.com/product/emg-analysis-software-module/>
53. <https://uvadoc.uva.es/bitstream/handle/10324/50040/TFG-G5217.pdf?sequence=1>
54. <https://revistamedicojuridica.com/blog/2022/01/22/patologia-de-muneca-y-mano-en-el-ambito-laboral/>
55. <https://pmc.ncbi.nlm.nih.gov/articles/PMC4188712/>
56. <https://www.worldresearchlibrary.org/up_proc/pdf/1134-151151520140-45.pdf>
57. <https://journals.physiology.org/doi/10.1152/jn.01011.2011>

Respuesta de Perplexity: [pplx.ai/share](https://www.perplexity.ai/search/pplx.ai/share)

**Procesamiento y extracción de características (en MATLAB)**

1. Segmentación en ventanas
2. Extracción de features por ventana.
   1. Ideas de features útiles en este tipo de aplicaciones:

En dominio de **tiempo**

* + 1. MAV - Mean Absolute Value
    2. RMS - Root Mean Square
    3. V – Varianza
    4. WL - Waveform Length
    5. SSC - Slope Sign Changes
    6. IEMG - Integral de EMG
    7. LOGVAR - Log-varianza (varianza logarítmica)

En dominio de **frecuencia** – Con Fourier

* + 1. Mean Frequency (MNF)
    2. Peak Frequency
    3. Total Power (TP)
    4. Spectral Entropy
    5. Frequency Ratio (FR)
    6. Bandwidth
    7. Power Spectral Density (PSD)

1. Etiquetado automático por tipo de movimiento (cada archivo contiene solo un tipo → se asigna clase constante).
2. Unificación de features:
   1. Se combinan las matrices de cada movimiento en un solo archivo.
   2. Se genera un único archivo .csv con todos los vectores de features y su clase correspondiente.
3. Dataset final en formato .csv, listo para ser usado en entrenamiento y validación de modelos de clasificación.

Para problemas de **Clasificación** ideal uso de:

**KNN, SVM, Naive Bayes o árboles de decisión**.

**Validación del Modelo**

1. Métricas de desempeño:
   1. Accuracy (Precisión global)
   2. Precision (por clase)
   3. Recall (por clase)
   4. F1-Score (por clase)
   5. Matriz de Confusión (Confusion Matrix)
2. Técnicas de evaluación:
   1. K-Fold Cross-Validation: Fundamental para demostrar que tu modelo generaliza bien.

**Descripción de Solución**

El laboratorio se realiza en tres secciones principales, la primera es

**Herramientas Aplicadas**

El laboratorio se realiza en tres secciones principales, la primera es

**Resultados**

El laboratorio se realiza en tres secciones principales, la primera es

**Conclusión**

El laboratorio se realiza en tres secciones principales, la primera es

**Referencias**

El laboratorio se realiza en tres secciones principales, la primera es