

# Estudio de mercado de operacionales integrados para el diseño de un canal de EMG

Damian Gerona<sup>1</sup>, Valentina. Agostini<sup>2</sup>,  
Natalia Garay<sup>3</sup> and Franco Simini<sup>3</sup>

<sup>1</sup>Estudiante del XXXIII Seminario de Ingeniería Biomédica 2024.

<sup>2</sup>Conferencista del Seminario del día 15/05/24 Valentina Agostini de título “Motion analysis with EMG sensors”, Politecnico di Torino, Torino, Italia.

<sup>3</sup>Docentes del XXXIII Seminario de Ingeniería Biomédica 2024.

---

**Abstract**— In the quest to understand the complex functioning of the human body, electromyography (EMG) plays a fundamental role. This is because, through the study of electromyographic signals, it is possible to understand muscle activity, given that there is a direct relationship between them and the force exerted by the muscles. The first block between the physiological signal and its subsequent analysis is the acquisition system, specifically the EMG channels, which must be reliable to allow for precise study. This work aims to conduct a state-of-the-art review in the design of EMG channels, focusing on integrated operational amplifiers. Subsequently, a market study will be carried out to identify the best available options of operational amplifiers, in order to optimize the design of an EMG channel.

---

**Resumen**— En la búsqueda de entender el complejo funcionamiento del cuerpo humano, la electromiografía (EMG) cumple un papel fundamental. Esto se debe a que, mediante el estudio de las señales electromiográficas, es posible comprender la actividad muscular, dado que existe una relación directa entre ellas y la fuerza que ejercen los músculos. El primer bloque entre la señal fisiológica y su posterior análisis es el sistema de adquisición, específicamente los canales EMG, los cuales deben ser confiables para permitir un estudio preciso. Este trabajo tiene como objetivo realizar una búsqueda del estado del arte en el diseño de canales EMG, enfocándose en los amplificadores operacionales integrados. Posteriormente, se llevará a cabo un estudio de mercado para identificar las mejores opciones de amplificadores operacionales disponibles, con el fin de optimizar el diseño de un canal de EMG.

---

## INTRODUCCIÓN

La electromiografía es un procedimiento en el cual se mide la actividad eléctrica en respuesta a una estimulación de los músculos esqueléticos. Es una técnica esencial para detectar anomalías neuromusculares ya que proporciona información importante sobre la comunicación entre el sistema nervioso central, los nervios y los músculos. Cada movimiento del cuerpo implica una compleja comunicación entre el sistema nervioso central y los músculos, donde los nervios motores envían señales eléctricas a los músculos para producir movimientos.

Para la realización del ensayo se insertan uno o más electrodos a través de la piel hasta llegar al músculo. Durante el mismo, mediante los distintos canales EMG se mide la actividad eléctrica del músculo en reposo, cuando se contrae levemente y cuando se contrae fuertemente.

Los canales EMG son fundamentales en todo el proceso de la electromiografía porque son los encargados de procesar la señal analógica obtenida por los electrodos y entregar una versión digitalizada de la misma a una computadora. Los canales EMG tienen distintas etapas que lo conforman. En primer lugar están los electrodos, que son los sensores de la actividad eléctrica del músculo. Lo que se busca en esta etapa es poder medir la señal minimizando el ruido ambiente y la tensión continua que tiene la señal de por sí. Para lograr esto hay que tener en cuenta ciertas características como la forma, el tamaño, el material utilizado y la distancia entre ellos. En segundo lugar se tiene una etapa de preamplificación de la señal, que es la encargada de amplificar por primera vez la señal teniendo en cuenta el ruido y modo común introducido por los electrodos. En tercer lugar se tiene una etapa de filtrado, para acotar la señal a la banda de frecuencia que interesa, atenuando frecuencias bajas e interferencias por la red eléctrica. Luego se tiene otra etapa de amplificación donde se busca otorgar más ganancia a la señal. Y por último se tiene una etapa de conversión analógica a digital mediante el uso de un ADC, para seguir con un procesamiento digital de la señal.

La etapa en la que se va a centrar este artículo es la de preamplificación, ya que es donde se suelen utilizar varios amplificadores operacionales aprovechando las ventajas que ofrecen las distintas configuraciones.

## I. FUNDAMENTO TEÓRICO

La etapa de preamplificación de las más importantes de un canal EMG. Esto se debe a que es la encargada de amplificar señales que van desde los microvoltios hasta algunas decenas de milivoltios (dependiendo del músculo), teniendo en cuenta que a estos niveles de tensión el ruido y el modo común de las señales no son nada despreciables. Lo que se busca a la salida de esta etapa es obtener una señal donde predomine la componente de la señal original a medir y no ruidos o interferencias. Para esto lo que se hace es utilizar un amplificador de instrumentación diferencial. Esto se debe a que la amplificación diferencial, que lo que hace es realizar la resta de las dos entradas, es altamente inmune al modo común y estos amplificadores están diseñados para ser utilizados en el ámbito médico.

Los amplificadores de instrumentación son amplificadores que tienen una entrada diferencial y una salida single-ended referenciada a un terminal del amplificador. Lo que se busca en estos amplificadores es que tengan una alta impedancia de entrada, una corriente de polarización baja al igual que la impedancia de salida y en especial que tengan un gran rechazo al modo común (CMRR). Esto va a permitir ignorar el riesgo de saturación del operacional por el nivel de continua a la salida y entregar una alta ganancia diferencial, la cual es configurada con una resistencia externa.

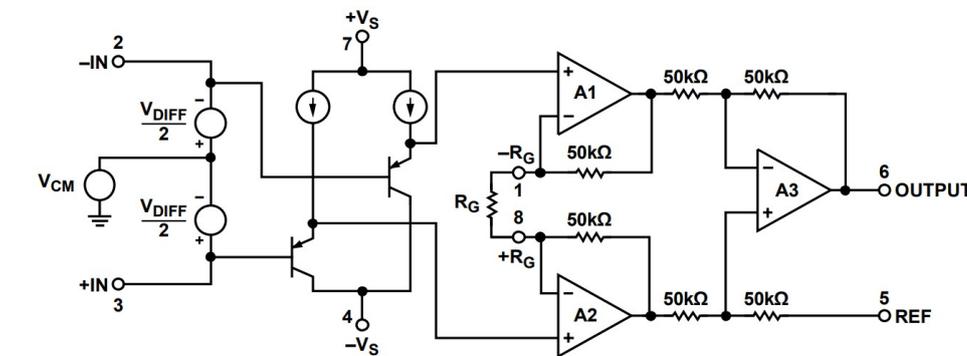


Fig. 1: Esquemático de un amplificador de instrumentación “Tomado de hoja de datos del AD623”

Además del amplificador de instrumentación en la etapa de preamplificación muchas veces se suele utilizar un amplificador operacional en configuración integrador realimentando la salida del amplificador de instrumentación por el terminal de referencia de este amplificador. Esto puede observarse en la Figura 2.

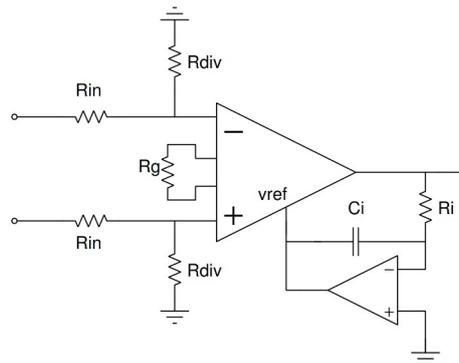


Figura 2: Amplificador integrador para eliminar offset. “Tomado de [4]”

El objetivo de este amplificador operacional es eliminar el offset a la salida del amplificador de instrumentación. De esta forma se obtiene una salida diferencial con un nivel de continua a la salida muy cercano a cero, pudiendo posteriormente amplificarla por el factor de ganancia necesario para aprovechar al máximo el rango de operación del circuito, sin estar condicionado por la amplificación de una tensión de continua indeseada.

## II. ANÁLISIS

Para garantizar un buen desempeño de la etapa de preamplificación, es muy importante seleccionar amplificadores de instrumentación adecuados. Estos amplificadores deben cumplir con ciertas especificaciones, algunas ya fueron mencionadas como una alta impedancia de entrada, baja corriente de polarización, baja impedancia de salida, alto rechazo al modo común (CMRR) y otras como un voltaje de offset a la entrada chico al igual que el ruido equivalente a la entrada. Estas características son fundamentales para asegurar una señal de salida clara y precisa.

En esta sección, se presenta un análisis comparativo de diversos amplificadores de instrumentación disponibles en el mercado, evaluando sus características más importantes para determinar cuál es el más adecuado para el diseño de un canal de EMG.

TABLA I  
COMPARACIÓN ENTRE AMPLIFICADORES DE INSTRUMENTACIÓN

Amplificador	Ganancia	Impedancia de entrada	Offset a la entrada	CMRR	Ruido a la entrada
AD620	1-10000	10GΩ	125uV	130dB	13nV/√Hz
AD623	1-1000	2GΩ	500uV	110dB	35nV/√Hz
AD8263	5-200	440GΩ	3.5mV	110dB	76nV/√Hz
INA106	10	10 kΩ	200uV	100dB	30nV/√Hz
INA114	1-1000	100GΩ	200uV	120dB	15nV/√Hz
INA333	1-10000	100GΩ	100uV	115dB	50nV/√Hz

La ganancia de la mayoría de las opciones estudiadas son muy buenas y a pesar de las diferencias de rango, no suele ser algo determinante. Esto se debe a que en esta etapa de preamplificación no se le va a dar toda la ganancia deseada a la señal, sino que se ve a complementar con la segunda etapa de amplificación. Comparando ambas etapas, es justamente en la segunda donde se suele otorgar más ganancia ya que la señal que llega a ese bloque es más limpia y no está el riesgo de estar amplificando ruido e interferencias, el cual sí existe en la etapa de preamplificación. El amplificador que si tiene una ganancia demasiado baja es el INA106, el cual además tiene una ganancia fija. Esto no es muy recomendable porque a pesar de que las señales EMG de los mismos músculos van a tener amplitudes similares, cada una dependerá del músculo de la persona en particular, por lo que es una buena práctica tener una ganancia variable para poder ajustar el sistema de adquisición lo mejor posible para la persona a la cual se le realiza la medición.

Nuevamente cuando se evalúa la impedancia de entrada es el INA106 el que posee el valor más bajo. El resto de los amplificadores tienen valores de impedancia extremadamente altos. Esto es lo deseado debido a que un circuito con alta impedancia de entrada no va a generar una carga sobre la fuente de la señal, es decir los electrodos. Teniendo en cuenta que la señal que miden los electrodos es muy débil, hay que evitar cualquier interferencia externa que le pueda generar el canal.

Los valores de offset a la entrada son la mayoría muy aceptables, teniendo en cuenta que el mayor es el del AD8263 pero por su ganancia no tan alta hace que no sea un problema. Lo que hay que tener en cuenta con el voltaje de offset a la entrada es que, en caso de no tener el amplificador integrador que se mencionó anteriormente, la salida tendrá la componente de señal amplificada más el offset también amplificado. Esto lo que genera es que la señal no esté centrada en la mitad del rango de operación, limitando la posible excursión de salida. Teniendo en cuenta que lo que se quiere como salida de todo el canal EMG es una señal que tenga la mayor excursión posible, para que la digitalización sea más precisa, hay que tener cuidado con estas tensiones y la ganancia que se entrega a la señal original.

El CMRR de todos los amplificadores seleccionados es muy bueno como era de esperar, ya que es una característica esencial en este tipo de componente. Esto es debido a que la señal de interés es muy pequeña y va a estar acompañada de mucho ruido y modo común, por lo que un CMRR alto significa que el amplificador va a rechazar ese modo común, manteniendo la señal diferencial. Algo a tener en cuenta es que el CMRR depende de la frecuencia a la que se encuentra la señal. La mayoría de hojas de datos de los fabricantes dan este valor para frecuencias cercanas a los 50Hz o 60Hz, ya que es la frecuencia de la red eléctrica. Este dato es muy útil porque muchas de las señales EMG se encuentran en ese rango de frecuencias.

Por último, el ruido a la entrada es otra característica fundamental, ya que un alto nivel de ruido puede degradar significativamente la señal. Un bajo ruido a la entrada es crucial para mantener la integridad de la señal medida. El AD620 y el INA114 presentan valores de ruido a la entrada muy bajos, lo cual es ideal para aplicaciones de alta precisión como la electromiografía. Por otro lado, el AD8263 y el INA333 tienen valores de ruido más altos, lo que podría introducir interferencias no deseadas en la señal, reduciendo la relación señal/ruido (SNR) y afectando la calidad de la medición. En la etapa de preamplificación, donde la señal aún no ha sido amplificada considerablemente, es muy importante minimizar el ruido a la entrada para evitar que se amplifiquen también las interferencias.

### III. CONCLUSIONES

A través de este estudio sobre amplificadores operacionales integrados para el diseño de un canal de EMG, se han evaluado diversas opciones disponibles en el mercado, analizando características esenciales como la ganancia, la impedancia de entrada, el voltaje de offset a la entrada, el CMRR y el ruido a la entrada. Estos parámetros son fundamentales para asegurar que la etapa de preamplificación de un canal EMG funcione de manera óptima, garantizando la integridad y precisión de las señales electromiográficas.

En primer lugar, entre las opciones evaluadas, el AD620 se destaca como una opción robusta debido a su amplio rango de ganancia, alta impedancia de entrada, bajo offset a la entrada, excelente CMRR y muy bajo ruido a la entrada. Estas características lo hacen especialmente adecuado para la preamplificación de señales EMG, que requieren alta sensibilidad y rechazo al ruido. El AD620 es capaz de manejar eficazmente las señales EMG débiles y minimizar las interferencias, lo que lo convierte en una elección preferida para esta aplicación.

El INA114 y el INA333 también presentan muy buenas características, con el INA114 ofreciendo un excelente compromiso entre bajo offset, alto CMRR y bajo ruido, mientras que el INA333 se destaca por su offset más bajo y amplio rango de ganancia. Ambos amplificadores son sólidos contendientes en términos de desempeño, proporcionando una buena alternativa al AD620.

El AD623 y el INA106, aunque son alternativas aceptables, presentan mayores limitaciones en términos de rango de ganancia y ruido a la entrada. El AD623, con un mayor ruido a la entrada, podría no ser tan ideal para aplicaciones que requieran alta precisión y sensibilidad. El INA106, por otro lado, tiene una ganancia fija y una impedancia de entrada significativamente más baja, lo cual podría generar cargas sobre los electrodos y afectar la calidad de la señal medida.

Por último, el AD8263 es la opción menos ideal debido a su alto offset y mayor ruido a la entrada. Aunque presenta una alta impedancia de entrada, su desempeño en términos de ruido y offset lo hace menos adecuado para aplicaciones de EMG donde se requiere una alta fidelidad de la señal.

En términos generales, este estudio subraya la importancia de seleccionar cuidadosamente los amplificadores operacionales integrados en el diseño de un canal de EMG. La elección del amplificador adecuado puede marcar una gran diferencia en la calidad y precisión de la señal electromiográfica, lo cual es crucial para aplicaciones médicas y de investigación.

#### IV. REFERENCIAS

- [1] Bhandarkar, A. (2013). Design Considerations for a Robust EMG Amplifier. *International Journal of Science and Research*, 5, 2319–7064. [www.ijsr.net](http://www.ijsr.net)
- [2] Marcello, R. :, Sebastián, C., & López, A. (2012). *DESIGN AND CONSTRUCTION OF AN EMG MULTICHANNEL ACQUISITION SYSTEM PROTOTYPE*.
- [3] Wang, J., Tang, L., & Bronlund, J. E. (2013). Surface EMG Signal Amplification and Filtering. *International Journal of Computer Applications*, 82, 975–8887.
- [4] Fierro, G. (2020.). Wearable estimation of central aortic blood pressure. Tesis de doctorado. Universidad de la República (Uruguay). Facultad de Ingeniería
- [5] Ghislieri, M.; Agostini, V.; Rizzi, L.; Knaflitz, M.; Lanotte, M. Atypical Gait Cycles in Parkinson’s Disease. *Sensors* 2021, 21, 5079.