

Comparación de estrategias para la reducción de ruidos en señales de voltamperometría

Skrauba Axel Alfredo ^{a*}, Krujoski Matías Gabriel ^{a,b}, Kolodziej Javier Ernesto ^{a,b}

^a *GID-IE, FI-UNaM, Oberá, Misiones, Argentina.*

^b *IMAM, UNaM-CONICET, Posadas, Misiones, Argentina.*

e-mail: axelskrauba@gmail.com.ar, matiaskrujoski@gmail.com, koloj@fio.unam.edu.ar

Resumen

En los procesos industriales regionales, gran cantidad de la materia prima y productos elaborados no presentan un control en cuanto a su composición final. Esto es, presencia de elementos ajenos o extraños respecto del producto elaborado, incluyendo aquellos que pueden resultar perjudiciales para la salud. El presente escrito abarca la continuación del desarrollo de un dispositivo electrónico bajo el marco de un proyecto de investigación, que tiene como finalidad la utilización de biosensores para la detección y clasificación de contaminantes fenólicos provenientes de agrotóxicos. El objetivo del proyecto en su conjunto, es la conformación de un sistema que permita la detección de estos compuestos de manera fiable, precisa y económica. El alcance del artículo, se limita al proceso de análisis y filtrado de señales, siendo esta etapa el nexo entre el hardware de medición y el software encargado de interpretar la información contenida en ellas.

Palabras Clave – *Filtro Adaptativo, Reducción de Ruido, Voltamperometría.*

1. Introducción

La voltamperometría es una categoría de los métodos electroanalíticos usados en química analítica y varios procesos industriales. En voltamperometría, la información sobre un analito se obtiene midiendo la corriente cuando se modifica el potencial [1]. Los datos medidos deben ser procesados a fines de obtener información. La señal de corriente a medir es de bajo valor y está superpuesta con una señal base de alto valor y ruidosa; razón por la cual deben interconectarse a un sistema electrónico para su adecuación, adquisición y posterior tratamiento digital. En el presente artículo se abordarán algunas técnicas de filtrado para el tratamiento de las señales relevadas.

1.1. Trabajos Previos

Se ha desarrollado una placa analógica para el acondicionamiento y control de señales de biosensores, así como la construcción de un primer prototipo del módulo adquisidor de las mismas [2]. Los biosensores representan una herramienta útil para el análisis *in situ* de contaminantes ambientales [3] y de alimentos [4], proporcionando una detección rápida, sensible, selectiva y de bajo costo en contraste con los métodos de análisis tradicionales. Estas herramientas no son utilizadas en las industrias de Misiones, Argentina [5]; dando esto lugar a una oportunidad para el desarrollo de este tipo de tecnologías, su aplicación en los productos regionales y la consecuente incidencia en el cuidado de la salud de los consumidores.

1.2. Trabajo Actual

Aparte de la etapa física construida a fines de minimizar los efectos de los ruidos, se necesita un tratamiento digital de las señales. En el presente artículo se identificarán los tipos de ruidos presentes en señales reales obtenidas en ensayos del prototipo ya abordado. El análisis consistirá en el uso de un espectrograma para la identificación de frecuencias puntuales o ruido aleatorio, además de un histograma para confirmar este último caso.

Cómo técnicas de filtrado se implementará un filtro de media móvil y uno adaptativo del tipo Wiener. Cómo métrica para las comparaciones entre estos filtros y la señal original, se empleará el coeficiente *Signal Noise Reduction* (SNR), además de las múltiples gráficas que permitirán una comparación cualitativa.

2. Propuesta

Al necesitar procesar una señal analógica digitalizada para su utilización en una determinada tarea, por lo general se recurre a emplear un filtro sencillo y comprobar si el mismo es suficiente o si es necesario proceder al desarrollo de uno específico, más complejo. El tipo de filtro depende de lo que se busca eliminar o filtrar, y en el caso concreto de señales relevadas de un proceso físico, lo que se busca eliminar es la existencia de ruidos que están sumados a la señal de interés. Por lo tanto, es necesario identificar el tipo de ruido presente, su composición y/o naturaleza, y con ello determinar las características propias del filtro.

Una práctica común es visualizar los resultados que se obtienen mediante la aplicación de un filtro de media móvil (fmm), y en muchos casos es suficiente. La viabilidad de este tipo de filtrado, depende tanto de la naturaleza de la señal de interés como la del ruido en cuestión. Esta técnica consiste en tomar un determinado número de muestras y promediarlas, obteniendo un valor que represente al número de muestras establecido. De esta forma, se consiguen valores que no fluctúan en base al error de medición del sensor y el ruido blanco, a costas de reducir el número de muestras de la señal filtrada.

En la técnica de voltamperometría utilizada, la señal de interés es de baja frecuencia y amplitud, menor a 1 Hz y en el orden de los μA . Por lo tanto, la misma es susceptible a ruidos de todo tipo, variando de acuerdo al entorno de medición, condiciones atmosféricas, equipos en funcionamiento en la red cercana, entre otros. La mejor forma de identificar el tipo y magnitud del ruido, es mediante el análisis de estas señales.

En la Fig. 1 se presenta la excitación y señal relevada en función del tiempo, correspondiente a un ensayo real de voltamperometría (ensayo 1 a fines de referenciarlo). En la misma se distingue un período inicial, en el cual idealmente no debería existir un valor para la señal relevada, ya que la excitación es nula. Entonces, esta porción puede considerarse para evaluar la naturaleza del ruido presente.

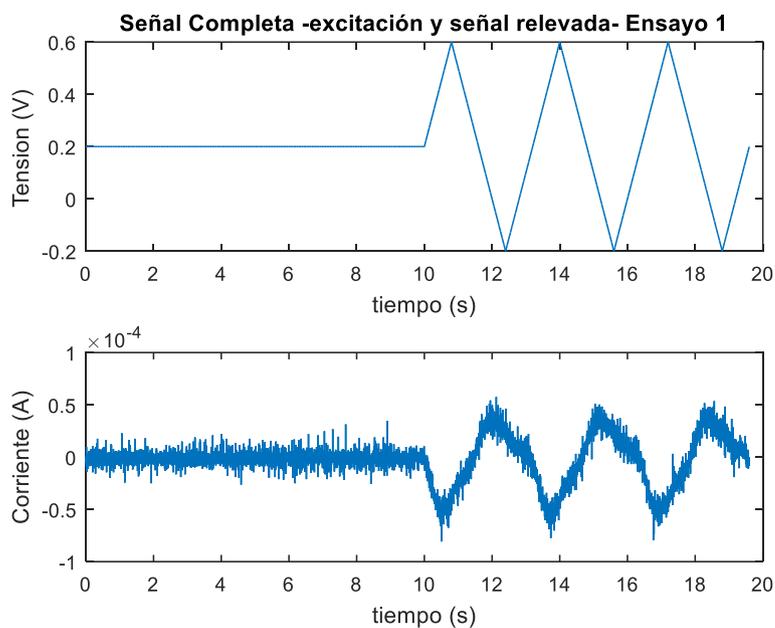


Fig. 1. Señales del ensayo 1.

Así mismo, teniendo en cuenta lo mencionado sobre la variabilidad del ruido medido según las condiciones presentes, en la Fig. 2 se puede apreciar el ensayo 2, similar al de la Fig. 1 con la diferencia del cambio en la concentración del soluto a ser medido. En forma visual, se distingue un patrón de ruido que pareciera ser totalmente diferente al anterior.

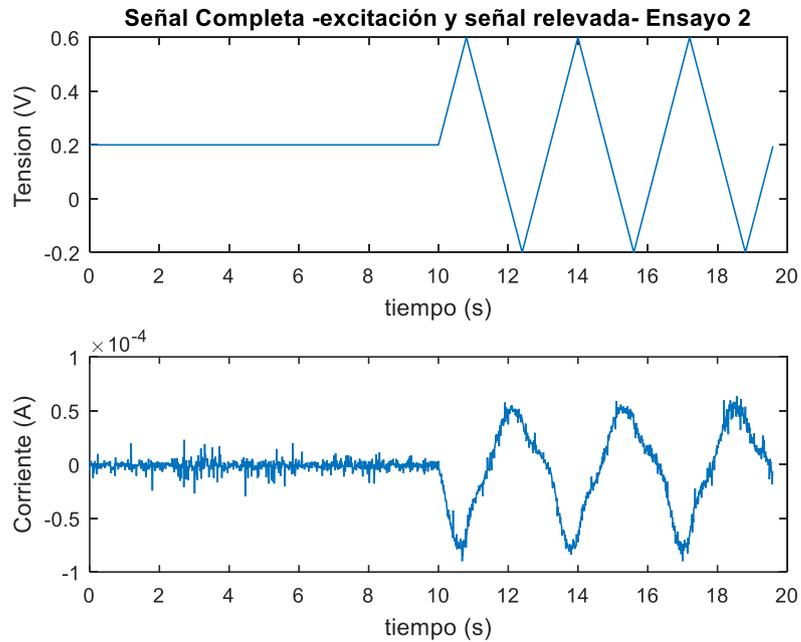


Fig. 2. Señales del ensayo 2.

Ambos ensayos se muestrearon a una frecuencia de 1 kHz , por lo tanto, se tienen 1000 muestras por segundo. Considerando este aspecto fundamental, se puede aplicar el filtro de media móvil mencionado con un factor tal que permita conservar la información de la señal relevada. Con un factor de 40, común a ambos ensayos, las señales relevadas y filtradas con fmm se aprecian en la Fig. 3. De forma cualitativa, se aprecia que el mismo filtrado entrega resultados diferentes, visualizando por ejemplo mayores rizados en la señal de interés del ensayo 1, siendo esto completamente normal ya que la naturaleza del ruido varía de un ensayo al otro y la estrategia de filtrado es la misma.

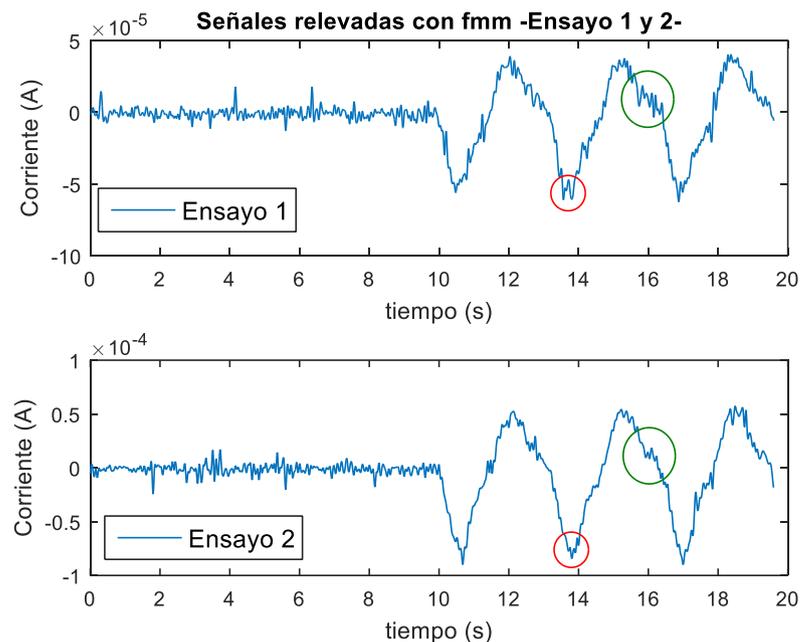


Fig. 3. Señales filtradas con media móvil.

Al analizar la composición espectral del fragmento considerado como ruido puro, se puede determinar cómo se distribuye su potencia. De esta forma puede determinarse si hay frecuencias particulares, una distribución específica o aleatoria. En la Fig. 4, se tiene un espectrograma de la señal correspondiente al ruido del ensayo 1, en la misma resaltan dos particularidades. En primer lugar, se aprecia una componente constante en frecuencia con una potencia ligeramente superior, y en segundo, potencia distribuida sin algún patrón en particular. Del primer caso puede intuirse que el responsable de introducir una frecuencia de 300 Hz en la medición, es la fuente de algún equipo cercano, trabajando con un rectificador de onda completa (3° armónico de 100 Hz), y del segundo caso, que el ruido restante corresponde a ruido blanco, el cual podría comprobarse.

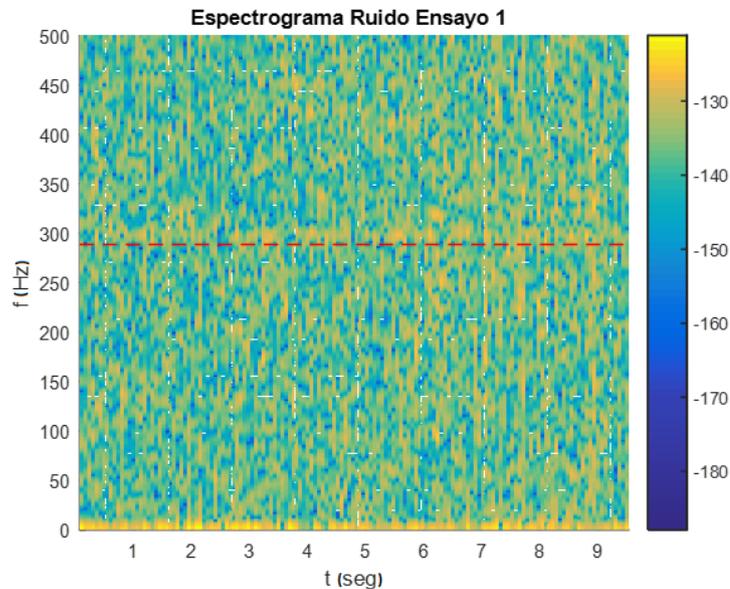


Fig. 4. Espectrograma del ruido del ensayo 1.

El ruido blanco se caracteriza por presentar una distribución normal, dicha distribución puede obtenerse mediante la construcción de un histograma a partir de los datos disponibles. En la Fig. 5, se presenta el histograma del ruido del ensayo 1, pudiendo aproximar la distribución obtenida a una Gaussiana.

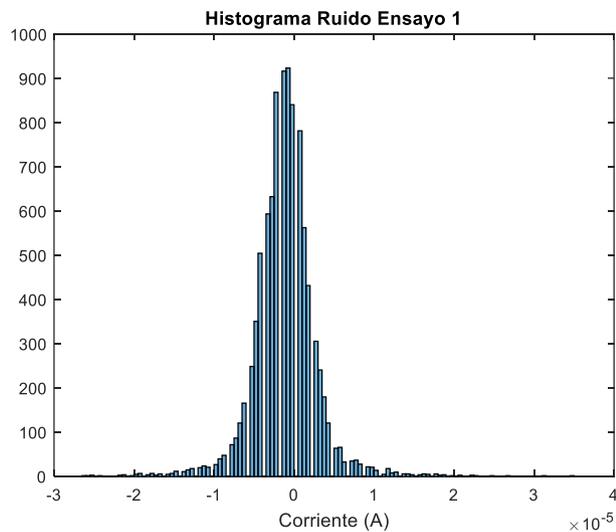


Fig. 5. Histograma del ruido del ensayo 1.

En síntesis, se identifican varios tipos de ruidos en las mediciones, de los cuales su intensidad varía según las condiciones dadas en la etapa de medición. Por lo tanto, es necesario considerar estos factores a la hora de muestrear y procesar estas señales para su posterior utilización. Al disponer de un fragmento de la naturaleza del ruido en el momento de efectuar las mediciones, es posible diseñar un filtro que se adapte al mismo, y, con ello, extraer su contribución de la señal de interés. Esta idea puede visualizarse en el diagrama de bloques de la Fig. 6, en dónde la señal medida se representa con $y(n)$, y, la misma está dada por la adición entre la señal pura $s(n)$ y el ruido $b(n)$. Luego del filtro, se obtiene una aproximación de la señal pura.

En la vida cotidiana, filtros similares se aplican para reducir los ruidos de fondo en las llamadas celulares, aprovechando los períodos de silencio del emisor con el mismo objetivo, caracterizar la naturaleza del ruido ambiental [6].

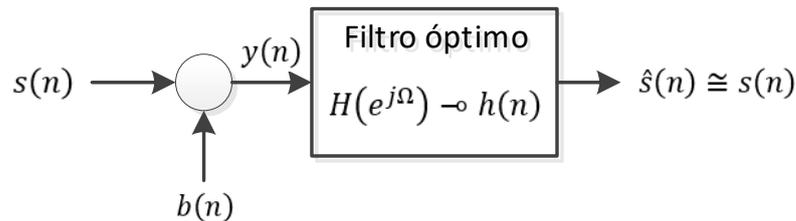


Fig. 6. Estructura básica de un filtro Wiener.

Los filtros Wiener, son un tipo de filtro adaptativo que se desarrollan en base al esquema presentado en la Fig. 6. Para ello, se adopta como estrategia de construcción del filtro el margen correspondiente únicamente al ruido, el cuál idealmente debe ser nulo. El vector de coeficientes de este filtro se determina según la cantidad de elementos definidos para el mismo, y la señal de entrada respecto a la de salida deseada.

La definición de la cantidad de coeficientes para el filtro determina el costo computacional requerido para la aplicación de dicho filtro. Lo que se busca, es un filtro con la menor cantidad de coeficientes y un buen resultado de filtrado. Para cuantificar la calidad del filtrado, se emplea el coeficiente *Signal Noise Reduction* (SNR), que expresa en forma numérica la relación entre la magnitud de la señal y la del ruido.

Para calcular el SNR se parte de la misma estrategia que para los filtros. Teniendo una porción de señal que represente la naturaleza del ruido, y otra que contenga la señal con ruido. Mediante el valor cuadrático esperado de ambas se logra la relación buscada. Para emplear este estimador, el ruido debe ser independiente de la señal, esto se verifica con la distribución que presenta en el histograma de la Fig. 5. El estimador utilizado responde a (1) [7].

$$\sigma_x^2 = \frac{1}{N-1} \sum_{n=0}^{N-1} [X(n) - \bar{x}]^2 \quad (1)$$

Con estas consideraciones, es propicio evaluar los resultados obtenidos al comparar la señal filtrada mediante una técnica de media móvil vs filtro adaptativo. Además, de relacionar el orden del filtro con la mejora en la SNR y el consecuente costo computacional.

3. Pruebas y Resultados

Tomando como base al ensayo 1, y calculando el SNR tanto para la señal sin filtrar cómo para la filtrada con fmm, se tiene que los cocientes responden a:

- Señal relevada natural = 52,54
- Señal relevada fmm = 69,50.

Con este indicador se confirma la mejoría apreciada cualitativamente en la Fig. 3 respecto a las Fig. 2 y Fig. 1. Modificando el factor empleado para el promediado por media móvil, el SNR varía ligeramente. Este factor puede aumentarse teniendo cómo límite el punto en dónde la señal filtrada pierde la información de interés, al abordar el filtro adaptativo se ejemplificará este caso.

De acuerdo a las pautas previamente enunciadas, para la realización del filtro Wiener se toma cómo patrón una porción de ruido puro, el cuál es utilizado para la obtención de los coeficientes deseados. La cantidad de coeficientes deseados conforma el orden de este filtro.

Tomando como base al ensayo 1, y estableciendo un filtro de orden 100, se obtienen los resultados de la Fig. 7. A modo de comparación, se adopta la porción de la señal de interés del mismo ensayo con el método fmm, separando la sección de ruido cómo herramienta para el cálculo del filtro.

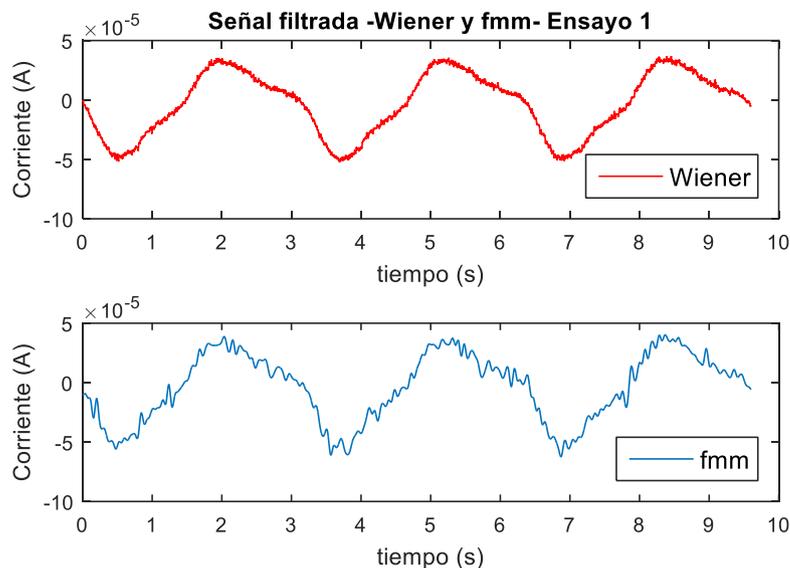


Fig. 7. Comparación entre señales filtradas mediante Wiener y fmm.

De forma cualitativa, contrastando las señales filtradas de la Fig. 7, se determina que el resultado mediante Wiener no presenta los rizados característicos por el método fmm. En forma cuantitativa, se tiene que con Wiener el SNR es igual a 161,36; es decir, en contraste a la señal natural, se mejora en tres veces la relación señal ruido.

Si se aplica el filtrado adaptativo a ambos ensayos, se obtiene el resultado de la Fig. 8. En este caso, se aprecia un resultado más uniforme que en los de la Fig. 3, que corresponden al filtrado por fmm. Con Wiener, se obtienen resultados con un SNR superior y estos resultados presentan menos fluctuaciones, rizados o discrepancias debido a diferentes condiciones de ruido.

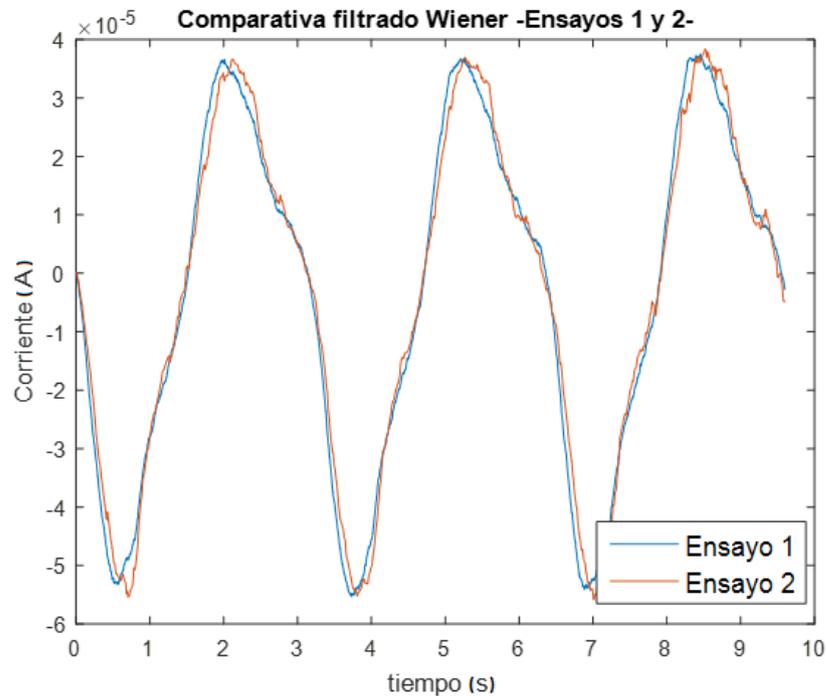


Fig. 8. Señales filtradas con Wiener de orden 100.

El orden de estos filtros determina la capacidad de cómputo requerida, por lo tanto, es lógico buscar el menor orden frente al mayor SNR. Este aspecto podrá determinarse frente a las necesidades de filtrado. Como punto a resaltar, órdenes elevados o bajos producen deformaciones en la señal, o lo que es equivalente, pérdida de la información contenida en la misma. Ejemplificando este aspecto, en la Fig. 9 se presenta la comparación de la señal filtrada con Wiener de orden 400 y la señal original, queda en evidencia la deformación enunciada.

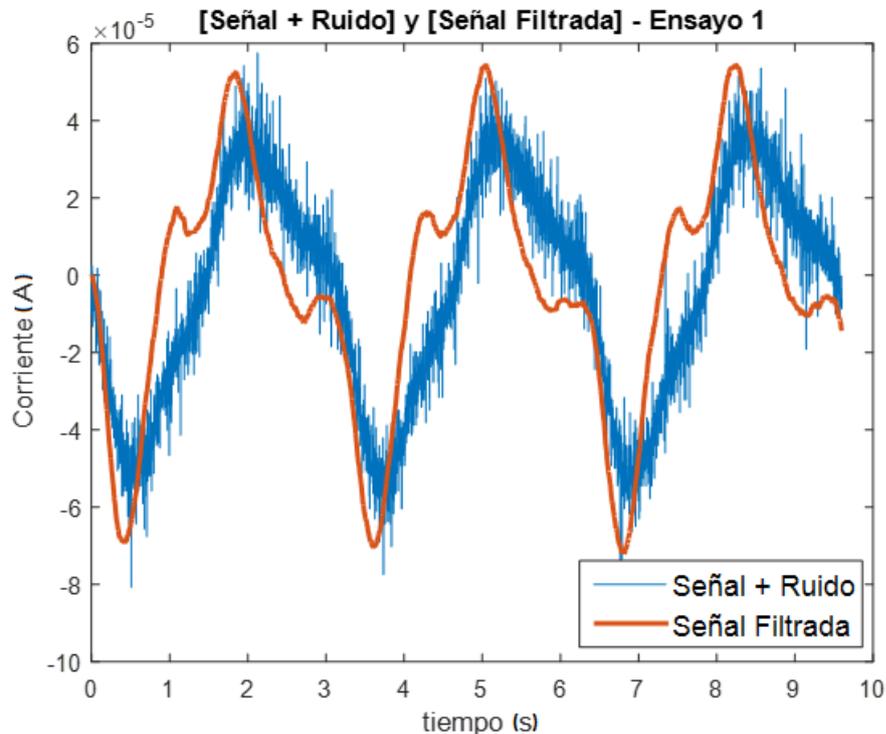


Fig. 9. Señal filtrada deformada con Wiener de orden 400.

Sin embargo, no es necesario trabajar con órdenes tan elevados para obtener resultados de los cuáles son posibles obtener interesantes conclusiones. En la Fig. 10 se presenta la analogía a la Fig. 7, en este caso el orden de Wiener es de 10 y se obtiene un SNR de 132,95. Es decir, inclusive para órdenes bajos de Wiener, la mejoría en cuánto al SNR es del doble a la obtenida por fmm.

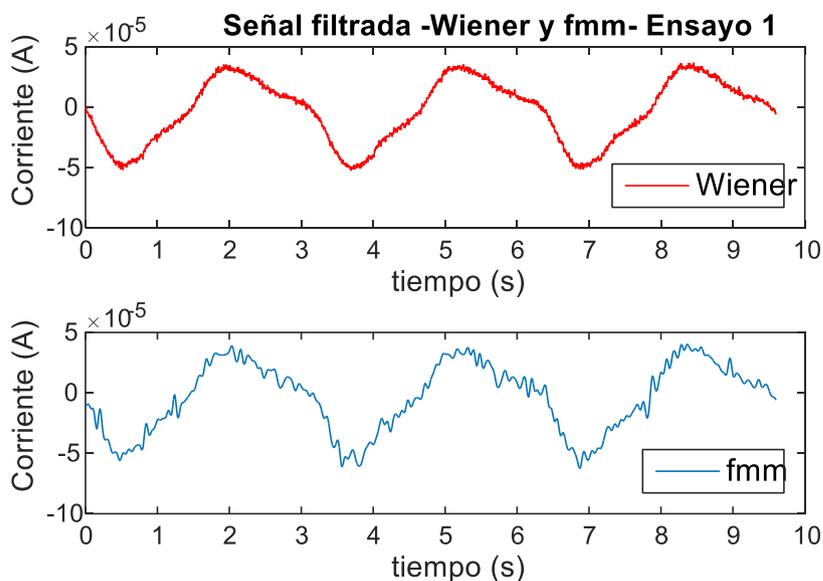


Fig. 10. Comparación entre señales filtradas mediante Wiener y fmm.

La utilización de este tipo de filtros, además del resultado respecto al SNR, permite recuperar la misma información a partir de datos obtenidos para un mismo ensayo en condiciones o entornos de ruido diferentes. Esto contribuye a garantizar el factor de repetibilidad en la obtención de resultados, tarea que se lograría con menor eficiencia mediante filtros de media móvil.

4. Conclusiones

En el marco del presente escrito se han plasmado diferentes estrategias de filtrado para señales medidas de bajo valor, en entornos ruidosos. Se ha efectuado un análisis cuantitativo y cualitativo del tipo de ruido presente en los ensayos realizados, así como el afecto de su discrepancia en los resultados obtenidos mediante técnicas clásicas de filtrado digital. Además, se ha fundamentado las ventajas de introducir un filtro del tipo adaptativo, presentando los resultados obtenidos y contrastándolos con un filtrado de media móvil clásico.

Se concluye que es factible la implementación de un filtro adaptativo de muy bajo orden para el tipo de señales utilizadas en voltamperometría, logrando mejoras de al menos dos veces en la relación señal a ruido respecto a uno de media móvil.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido llevado a cabo gracias al marco de la Beca de Estímulo de Ciencia y Tecnología de la Universidad Nacional de Misiones. El autor agradece al Doctor Kolodziej Javier Ernesto en su carácter de director de la beca en cuestión, así como al Ingeniero Krujoski Matías Gabriel por la colaboración prestada en las diversas etapas del proyecto en curso. A su vez, se agradece a la Facultad de Ingeniería de Oberá.

Referencias

- [1] P. Kissinger y W. R. Heineman, *Laboratory Techniques in Electroanalytical Chemistry Second Edition, Revised and Expanded.*, New York: MARCEL DEKKER INC., 1996.
- [2] A. Skrauba, M. Krujoski y J. Kolodziej, "Desarrollo de un módulo adquisidor electrónico para el acondicionamiento, medición y control de señales de biosensores", *JIDeTEV Vol1-Año 2019-ISSN 2591-4219*.
- [3] Rodríguez-Delgado, M. M., Alemán-Nava, G. S., Rodríguez-Delgado, J. M., Dieck-Assad, G., Martínez-Chapa, S. O., Barceló, D., & Parra, R. Trends in Analytical Chemistry Laccase-based biosensors for detection of phenolic compounds. *Trends Analytical Chemistry*, 21-45. 2015.
- [4] Montekali, M. R., Della Seta, L., Vastarella, W., & Pilloton, R. A disposable Laccase – Tyrosinase based biosensor for amperometric detection of phenolic compounds in must and wine. *Journal Molecular Catalysis B: Enzymatic*, 189-194. 2010.
- [5] Á. Fediuk, "Agroquímicos: "Ni siquiera se mide lo que se tira en la chacra"", *El Territorio*, 2011.
- [6] E. Hänsler y G. Schmidt, "Topics in acoustic echo and noise control," de *Selected methods for the cancellation of acoustical echoes, the reduction of background noise, and speech processing*, New York, Springer Berlin Heidelberg, 2006, pp. 327-339.
- [7] K. Shin y J. Hammond, "Fundamentals of signal processing for sound and vibration engineers," John Wiley & Sons Ltd, 2008, pp. 6-29,229-231.