



ESCUELA TÉCNICA SUPERIOR DE INGENIEROS
INDUSTRIALES Y DE TELECOMUNICACIÓN

MASTER UNIVERSITARIO EN INGENIERÍA BIOMÉDICA
UNIVERSIDAD PÚBLICA DE NAVARRA

**“Estudio comparativo de métodos de promediado en la
técnica de 'spike-triggered averaging' para señales EMG de
superficie.”**

DOCUMENTO

Nombre y apellido alumno:

Ioxune Urabayen Cerviño

Nombre y apellido del tutor:

Armando Malanda Trigueros

Pamplona, 29 de Julio de 2014

Resumen

En el presente trabajo se implementan diferentes métodos de promediado de señales EMG (Electromiograficas) de superficie en la técnica de “spike-triggered averaging”, con el fin de realizar un estudio comparativo de parámetros, utilizando la herramienta computacional Matlab.

Se estudian seis métodos de promediado: media, mediana, promedio ordenado, promedio de los cinco potenciales más próximos, promedio ponderado y promedio robusto. Estos métodos se aplican a diferentes trenes de potenciales de acción de unidad motora (PAUMs), de 8 sujetos. Los potenciales analizados son señales EMG de superficie, registradas en el bíceps braquial, de 62 ms de duración, definidos y agrupados en trenes de potenciales mediante la técnica de “spike-triggered averaging”, partiendo de señales EMG intramusculares captadas simultáneamente que las señales EMG de superficie, para cada sujeto se han estudiado entre 3 y 5 trenes de potenciales.

Se utilizan tres parámetros para analizar los métodos de promediado, la relación señal ruido (SNR), el error del voltaje pico a pico relativo (EVPPR) y el error del tiempo de subida (ETS). Al no tener un promedio patrón con el que comparar los diferentes métodos, se han promediado los potenciales de diferentes secciones de 25, 50, 75 y 100 PAUMs cada una y el promedio patrón se ha definido como el promedio con todos los potenciales de la colección para cada método. Se han promediado los resultados de todas las secciones y después de todas las colecciones de PAUMs y para cada uno de los sujetos se han analizado por separado.

Finalmente se han promediado los resultados de todos los sujetos en un único resultado para cada parámetro, cada método y cada número de potenciales por sección.

Los resultados de cada sujeto presentan coherencia, siguiendo más o menos la misma trayectoria en todos los casos y obteniendo mejor resultado conforme mayor es el número de potenciales de las secciones. El parámetro ETS no da información significativa debido a la gran dispersión de sus resultados, pero en cuanto al resto de parámetros el método de la media es el que mejores resultados ha obtenido con un valor medio de SNR de unos 20 dB y desviación ± 6 y un valor medio de EVPP relativo de 0,05 y desviación $\pm 0,05$. El método del promedio ordenado sigue muy de cerca los resultados del método de la media con un valor medio de SNR de unos 18 dB y desviación ± 6 y un valor medio de EVPP igual que el método de la media. Por tanto, estos dos métodos son los más adecuados para el promedio de señales EMG de superficie en la técnica de “Spike-triggered averaging”, según el presente estudio.

Índice

1. Introducción

1.1	Señal EMG de superficie	7
1.2	Señal EMG intramuscular	10
1.3	Técnica de “Spike-triggered averaging”	12
1.4	Objetivos	13

2. Señales, métodos y parámetros de estudio

2.1 Señales

2.1.1	Metodología de registro de las señales analizadas	14
	a) Registro de la señal EMG de superficie	14
	b) Registro de la señal EMG intramuscular	14
	c) Análisis de la señal	15
2.1.2	Señales analizadas	17

2.2 Métodos

2.2.1	Media (Mean)	24
2.2.2	Mediana (Median)	24
2.2.3	Promedio ordenado (Sorted Averaging)	25
2.2.4	Promedio de los 5 mejores (five_best averaging)	25
2.2.5	Promedio ponderado (Weighted averaging)	25
2.2.6	Promediado robusto (Robust averaging)	26

2.3 Parámetros de estudio

2.3.1	Relación señal-ruido (SNR)	27
2.3.2	Error Valor pico a pico relativo (Evpp)	27
2.3.3	Error según tiempo de subida (ETS)	28

3. Resultados

3.1	Promediado de las secciones de Npaums	31
3.2	Promediado de las diferentes colecciones del mismo sujeto	32
3.3	Análisis	33

3.3.1	Análisis de resultados de cada sujeto por separado	33
a)	Relación señal ruido (SNR)	33
b)	Error del voltaje pico a pico relativo (EVPPR)	43
c)	Error del tiempo de subida (ETS)	52
3.3.2	Análisis del promedio total para cada parámetro	61
4.	<u>Discusión</u>	64
5.	<u>Conclusiones y líneas futuras</u>	66
6.	<u>Referencias</u>	68

Anexos

Anexo 1: Código

1. Introducción

La electromiografía (EMG) es una técnica para evaluar y registrar la actividad eléctrica producida en el músculo esquelético. El músculo está formado por células excitables (fibras musculares) cuya membrana se encuentra polarizada, siendo el interior de la célula negativo con respecto al exterior. En la célula muscular, con un electrodo situado en el interior de la fibra y otro en el exterior se puede detectar una diferencia de potencial de reposo de unos 90 mV, este potencial se debe a diferencias en la concentración de diversos iones (Na^+ , K^+ , Ca^{++} , Cl , etc.). La fibra muscular, obedeciendo a señales procedentes de otras células, puede sufrir despolarizaciones transitorias (potenciales de acción) que determinan la actividad contráctil de la fibra. En el músculo podemos distinguir dos tipos de unidades, anatómicas y funcionales, la unidad anatómica es la fibra muscular y la unidad funcional es la unidad motora. Una unidad motora se define como una neurona motora y todas las fibras musculares que inerva [Fig. 1].

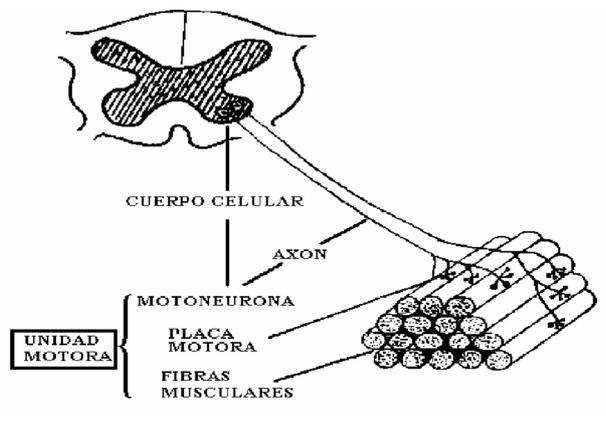


Figura 1: Esquema de la unidad motora.

Cuando una unidad motora se activa, el impulso llamado potencial de acción se dirige de la neurona motora, a través de su axón y las terminaciones de este llega a las fibras inervadas. El área donde el nervio hace contacto con el músculo se llama unión neuromuscular o zona de inervación, después de transmitirse el potencial de acción, a través de la unión neuromuscular, se dispara un potencial, casi síncrono, en todas las fibras musculares inervadas por la unidad motora particular. La suma de todos los potenciales eléctricos producidos por las fibras que constituyen la unidad motora, se conoce como potencial de acción de la unidad motora (PAUM)[Fig. 2] y se registra mediante electrodos.

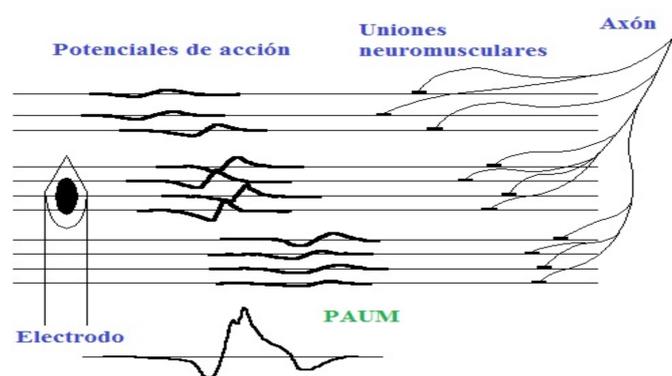


Figura 2: Esquema de la composición del potencial de acción de la unidad motora.

En el electromiograma (EMG) se registra la actividad del músculo, que es la suma de la actividad de las unidades motoras que se encuentran activas en dicho músculo, es decir, el sumatorio de los trenes de PAUMs detectados en el registro [Fig. 3].

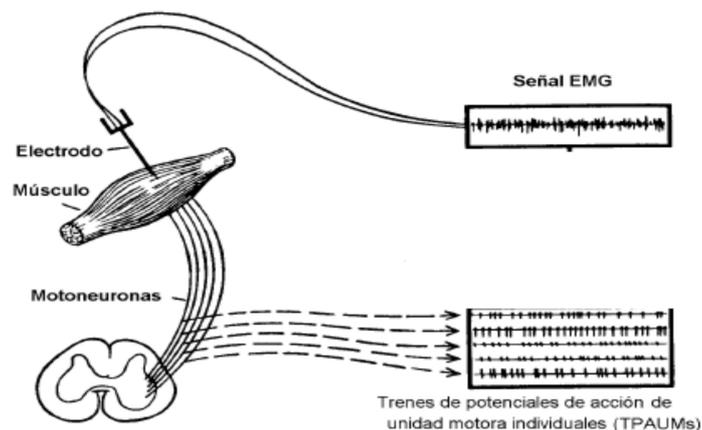


Figura 3: Esquema de la composición de la señal EMG.

En el registro de las señales EMG, los potenciales se ven afectados por el número de fibras musculares por unidad motora y el tipo metabólico de las fibras musculares. A partir de este registro se puede obtener la actividad de las unidades motoras individualmente, haciendo uso de métodos de descomposición. Con ello es posible evaluar las variaciones características de estas activaciones y las relaciones de unas unidades motoras con otras.

Para registrar esta actividad se pueden utilizar dos métodos diferentes: registro EMG de superficie, no invasivo, o registro EMG intramuscular, invasivo. En la técnica de “spike-triggered averaging” se utilizan ambos de manera simultánea. La señal EMG intramuscular se utilizó para detectar los tiempos de descarga de las unidades motoras individuales y la señal EMG de superficie para registrar los potenciales de acción. En los apartados siguientes se describen los dos tipos de registros EMG.

1.1. Señal EMG de superficie

Las señales EMG de superficie tienen la principal ventaja de que su obtención no es invasiva, pero esta ventaja supone otros inconvenientes como el ruido añadido por la distancia al punto de acción, la necesidad de un proceso complicado de descomposición y gran amplificación de la señal, además de la difícil interpretación de las señales obtenidas (Fig.4). El principal objeto de estudio de este trabajo son estas señales y determinar la mejor forma de promediar los resultados para obtener una señal interpretable y con la mejor calidad posible sin gran pérdida de información, para obtener las señales utilizadas en el estudio ha sido necesario un proceso de descomposición .

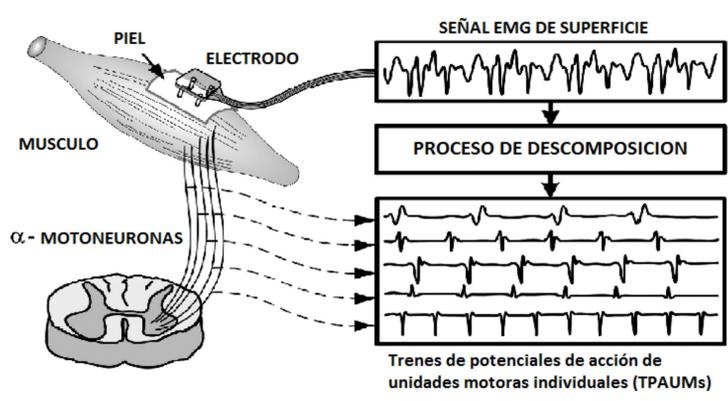


Figura 4: Esquema del registro EMG de superficie.

El registro EMG de superficie es el registro eléctrico sobre la superficie de la piel, de la actividad eléctrica muscular. Se utilizan electrodos de mayor superficie que los intramusculares y están involucradas gran cantidad de unidades motoras, por lo que la señal tiene un aspecto ruidoso que no deja apreciar diferencias entre una unidad motora y otra [Fig. 5].



Figura 5: Señal de EMG de superficie.

Al registrar la señal EMG de superficie, hay dos parámetros de interés que influyen en la calidad de la señal, el primero es la relación señal a ruido, es decir, la relación de la energía en la señal EMG y la energía en la señal de ruido. En general, el ruido se define como señales eléctricas que no son parte de la señal de EMG deseada. El otro es la distorsión de la señal, en el sentido de que la contribución relativa de cualquier componente de frecuencia en la señal EMG no debe ser alterada.

La amplitud de la señal de EMG es de naturaleza estocástica (aleatoria) y se puede representar razonablemente por una función de distribución gaussiana, esta puede variar de 0 a 10 mV (pico a pico) o de 0 a 1,5 mV (RMS) y la energía útil de la señal está limitada a la gama de frecuencia de 0 a 500 Hz, con la energía dominante en el intervalo de 50-150 Hz. A la hora de registrar señales EMG de superficie es deseable obtener una señal con la máxima cantidad de información de la señal EMG y el mínimo ruido eléctrico. Para maximizar la relación señal-ruido se debe tener una distorsión mínima de la señal EMG, por lo tanto, es importante que cualquier dispositivo utilizado detecte y registre la señal linealmente. No es recomendable realizar filtrado notch para eliminar la contaminación de la línea de alimentación (50 o 60 Hz), ya que, la energía dominante de la señal de EMG se encuentra entre 50 y 100 Hz y se podría eliminar gran parte de la información de la señal EMG[1]. [Fig.6]

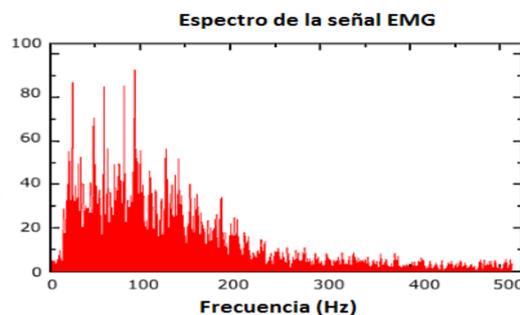


Figura 6: Espectro de frecuencia de la señal de EMG detectado desde el músculo tibial anterior durante una contracción isométrica de fuerza constante [1].

El registro se realiza mediante electrodos superficiales, los cuales deben tener la mínima distorsión y la mayor relación señal ruido posible, ya que, de ello depende todo el proceso que le sucede.

El uso de un amplificador diferencial permite eliminar parte del ruido y mejorar la relación señal-ruido (Fig. 7), consiste en detectar la señal en dos puntos, la circuitería electrónica resta las dos señales y amplifica la diferencia, eliminando cualquier "común" a ambos puntos de detección y amplificando el diferencial de las señales que no son "comunes". Cualquier señal que se origina lejos de los dos puntos de detección aparecerá como una señal común, mientras que las señales obtenidas en la proximidad inmediata de las superficies de detección serán diferentes y, en consecuencia se amplificarán, por lo tanto, las señales de ruido de líneas de potencia relativamente lejanas serán eliminadas y señales relativamente cercanas, señal EMG, se amplificarán.

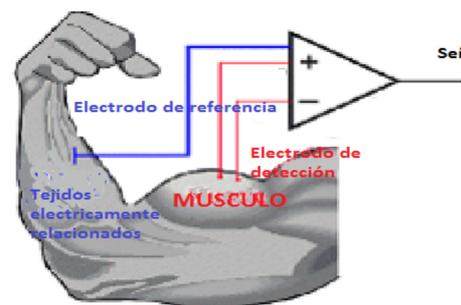


Figura 7. Esquema de la configuración de un amplificador diferencial. "m" = señal EMG, "n" = ruido.

Otro aspecto a optimizar es la impedancia de entrada, con el fin de evitar la atenuación y distorsión de la señal detectada debido a los efectos de la carga de entrada, la impedancia de entrada del amplificador diferencial debe ser tan grande como sea posible, sin causar complicaciones para el funcionamiento del amplificador diferencial, el requisito de una alta impedancia de entrada introduce un problema, el acoplamiento de capacitancia en la entrada del amplificador diferencial, una pequeña capacitancia entre los conductores en la entrada del amplificador diferencial y la línea de alimentación introducirán una señal de ruido en la línea de alimentación del amplificador, para solucionar esta complicación se coloca el amplificador diferencial lo más cerca posible a las superficies de detección del electrodo "electrodo activo". Otra ventaja de esta configuración es que la impedancia de salida del amplificador diferencial puede ser muy baja, del orden de 10 ohmios, por lo tanto, cualquier movimiento del cable desde la salida del electrodo no generará señales significativas o incluso notables de ruido en el cable que alimenta el amplificador posterior.

También, son consideraciones importantes para el acondicionamiento de la señal, un filtrado para eliminar algunos restos de ruido que aún pueden quedar. Se realiza generalmente en la etapa del amplificador, situado fuera del electrodo activo y la estabilidad del electrodo, cuando un electrodo se coloca sobre la piel, las superficies de detección entran en contacto con los electrolitos en la piel, se produce una reacción química que requiere un tiempo para estabilizarse, en el orden de unos pocos segundos si el electrodo está diseñado correctamente, es importante que esta reacción química permanezca estable durante el registro.

Mediante el registro de señales EMG de superficie se obtiene información sobre las propiedades estructurales y fisiológicas de las unidades motoras detectadas, como la ubicación de la zona de inervación, la longitud de las fibras, la velocidad de conducción de las mismas y la resistencia a la fatiga, útiles en aplicaciones de Kinesiología, (estudio del movimiento en el cuerpo humano y de su control), estudios deportivos, de rehabilitación, de ergonomía y para el control de prótesis funcionales.

1.2 Señal EMG intramuscular

La actividad de una unidad motora (UM) puede ser investigada mediante el uso de registros de señales intramusculares. Este registro da información muy útil desde el punto de vista clínico y fisiológico, ya que, la forma y dimensiones de los PAUMs son sensibles al tamaño, estructura y funcionamiento fisiológico de las UMs.

El registro de señales EMG intramusculares permite la descomposición en los trenes de potenciales de acción constituyentes de manera fiable, mediante las llamadas técnicas de descomposición [6].

Para llevar a cabo un registro EMG intramuscular, se usan agujas hipodérmicas, con electrodos en su interior, que se inserta a través de la piel hasta que entran en el tejido muscular para obtener los trenes de potenciales de acción de las unidades motoras [Fig.8] la señal resultante es la suma de diferentes trenes de PAUMs registrados mediante electrodos de aguja.

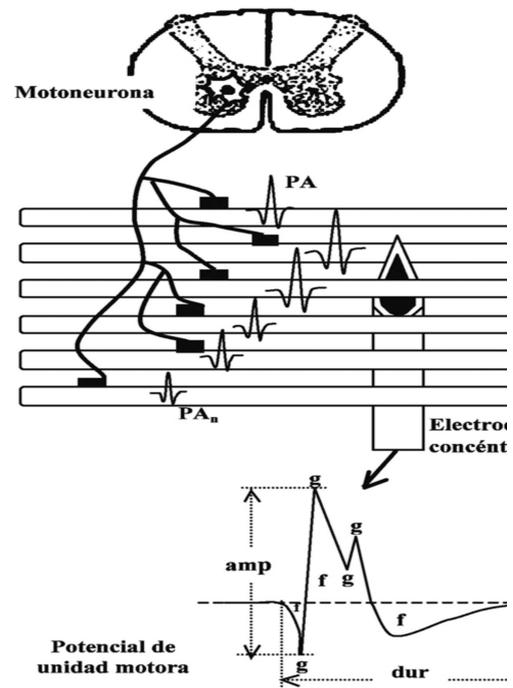


Figura 8: Esquema del registro de señales EMG intramusculares y obtención del PAUM.

En el registro EMG intramuscular, los electrodos de aguja se insertan a través de la piel hasta que entran en el tejido muscular, una vez se a estabilizado la señal, se procede al registro en tres estados funcionales [2]:

- En reposo: Con el músculo completamente relajado no debe registrar ninguna actividad, la presencia de actividad espontánea, es algo anormal y puede significar daños en el nervio o en el músculo.
- Durante contracción débil: Para registrar PAUMs, se debe realizar una contracción débil mantenida, con ello se activan pocas unidades motoras y se pueden detectar las descargas de los PAUMs correspondientes a ellas. Si el grado de contracción es excesivo se activan demasiadas unidades motoras y las curvas de las descargas se superponen distorsionando las respectivas formas de onda, como en el registro EMG superficial.
- Durante una contracción voluntaria máxima: La actividad EMG que se alcanza con este tipo de contracción nos proporciona información sobre la población de unidades motoras en funcionamiento.

Al realizar la extracción de los PAUMs correspondientes a las diferentes unidades motoras se llevan a cabo varios procesos:

- Cancellación de ruido y artefactos: La señal obtenida contiene la información de las descargas sucesivas de PAUMs junto con ruido procedente del propio equipo, de la corriente alterna, interferencias electromagnéticas del entorno, señales biológicas (electrocardiograma, actividad de unidades motoras lejanas), movimientos de la aguja, etc. Para eliminar todas estas componentes unidas pueden utilizarse para ello varios procedimientos, como el filtrado, que elimina parte del ruido pero es insuficiente, o procedimientos como el análisis de componentes independientes (ICA) y transformadas wavelet (TW), que muestra buenos resultados frente al ruido gaussiano de alta frecuencia.
- Tratamiento de la línea base: Teóricamente la señal EMG se considera como una línea base de valor cero, sobre la que se disponen las descargas de los PAUMs de las diferentes unidades motoras. Pero en el registro real de estas señales la línea base siempre muestra fluctuaciones producidas por unidades motoras lejanas y movimientos del electrodo. Para eliminar estas fluctuaciones se puede utilizar un filtro paso alto, que no elimina las fluctuaciones lentas, por tanto, se puede mejorar mediante métodos de transformadas wavelet.
- Descomposición en potenciales de acción de unidades motoras individuales: Una vez se ha adecuado la señal, para analizar la forma de onda de los PAUMs de cada unidad motora, primero se deben identificar las descargas, mediante procesos manuales o semiautomáticos, que consumen mucho tiempo. Existen sistemas de descomposición de la señal EMG y sistemas multipotenciales (multi-MUP) para automatizar la extracción de las descargas. Estos sistemas generan plantillas con las formas de onda de descargas aisladas, las comparan entre sí mediante diversas funciones y las clasifican en conjunto según su grado de similitud, correspondiendo cada conjunto a las descargas a una misma unidad motora. En la actualidad se están estudiando métodos basados en estadísticos de alto orden (HOS), en transformadas wavelet, en redes neuronales y otras técnicas de inteligencia artificial.
- Promediado de los potenciales de acción para la obtención de la forma de onda: Una vez identificadas y aisladas las descargas de una unidad motora, sus curvas se superponen, tomando un punto de referencia, normalmente el pico máximo, y se obtiene la forma de onda del PAUM mediante un promediado de las curvas, como en el caso de la señal EMG de superficie, el objetivo es conseguir una forma de onda que represente fielmente los cambios fisiológicos ocurridos en la unidad motora.

Las señales EMG intramusculares tienen la ventaja de que al detectar la actividad de las unidades motoras a menor distancia que en el caso de las señales EMG de superficie, tiene menor distorsión, y la descomposición es fiable, pero es una técnica demasiado invasiva, y no da información general del músculo, debido a que la zona registrada es muy pequeña, por ello para el presente trabajo, este registro se utiliza para determinar el punto de disparo del PAUM de cada unidad motora, y así determinar el momento de dicha actividad en la señal EMG de superficie. Esto es, en esencia la técnica de spike-triggered averaging.

1.3 Técnica de “Spike-triggered averaging”[3, 4].

Las señales EMG intramusculares proporcionan información sobre la velocidad de disparo de una única unidad motora. Sin embargo, otras propiedades estructurales y fisiológicas de las unidades motoras detectadas como la ubicación de la zona de inervación, la longitud de las fibras, la velocidad de conducción y la resistencia a la fatiga, no pueden ser evaluadas directamente por EMG intramuscular, ya que, la zona de detección es muy reducida. Las técnicas no invasivas como el registro de señales EMG de superficie todavía tienen aplicaciones limitadas como hemos comentado en apartados anteriores, es difícil descifrar donde se produce el potencial de acción debido a la contaminación de la señal por diversas causas, como la distancia, la superposición de otras unidades motoras, etc. Para extraer PAUMs correspondientes a una única unidad motora a partir de los registros de superficie, se puede utilizar el momento de disparo del potencial de acción de una unidad motora registrado por EMG intramuscular, siendo esta la esencia de la técnica “Spike-triggered averaging”.

En primer lugar, es necesario la descomposición de las señales EMG intramusculares en los trenes de descarga de unidades motoras constituyentes utilizando técnicas de descomposición, como los sistemas multipotenciales explicados en el apartado anterior, una vez se han determinado los patrones de descarga de la señal EMG intramuscular, se utilizan como disparadores de los PAUMs detectados mediante el registro EMG de superficie, permitiendo analizar la señal EMG superficial de UM individuales [Fig. 9].

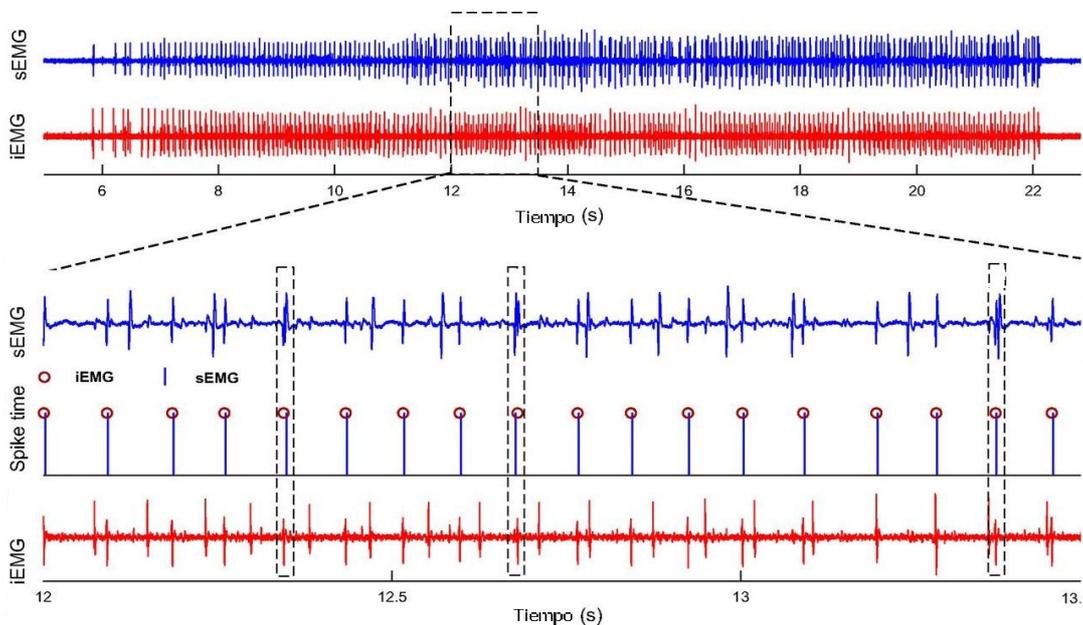


Figura 9: Ejemplo de la técnica de "spike triggered averaging" en señales electromiográficas.

1.4 Objetivos

- Comparar los diferentes métodos de promediado propuestos para la técnica de “Spike-triggered averaging”.
- Concretar y poner en práctica un método de tratamiento de datos y criterios de reducción de datos, para el análisis y comparación de los métodos de promediado.

2. Señales analizadas, métodos y parámetros de estudio.

2.1. Señales

En este trabajo se han utilizado señales obtenidas por un equipo de investigación para el estudio “Registro simultaneo de potenciales intramusculares y superficiales”, desarrollado en el centro “Center for Sensory-Motor Interaction” de la universidad de Aalborg, Dinamarca y tutorizado por Darío Farina.

Las señales corresponden a ocho sujetos sanos, ninguno de los cuales informaron de síntomas de trastornos neuromusculares o problemas con los ligamentos. El estudio se realizó de conformidad con la Declaración de Helsinki, aprobada por el Comité de Ética Local, y el consentimiento informado por escrito se obtuvo de todos los participantes antes de la inclusión.

El registro de las señales EMG se realizó en el biceps braquial derecho.

2.1.1. Metodología de registro de las señales analizadas

a) REGISTRO DE LA SEÑAL EMG DE SUPERFICIE

Para el registro superficial se utilizó una matriz adhesiva bidimensional (2D) SPES Medica , Salerno, Italia, de 13 x 5 electrodos igualmente espaciados (1 mm de diámetro , 8 mm de distancia entre los electrodos en ambas direcciones) con un electrodo que falta en la parte superior esquina derecha [Fig. 10] (a). Para obtener una colocación óptima de la matriz 2D , las señales EMG se registran en una contracción voluntaria preliminar corta durante la cual una matriz no adhesiva lineal se mueve sobre la piel para detectar la ubicación de la zona de inervación y regiones del tendón. A continuación, la matriz 2D se encuentra entre los extremos proximal y tendones distales del bíceps braquial, con las columnas de electrodos (formado por 13 electrodos) orientadas a lo largo de la dirección de las fibras musculares. Las filas de la matriz se numeran desde el extremo proximal al distal del tendón, mientras que las columnas se numeran desde el lateral a la parte medial del bíceps braquial [Fig. 9]. La matriz 2D se coloca de manera que su séptima fila aproximadamente corresponde con la zona de inervación. Una parte de la matriz, que corresponde al tamaño de 3 electrodos se retira de la sexta fila para realizar una abertura para la inserción de las agujas intramusculares.

Para asegurar el correcto contacto del electrodo a la piel es necesario pulir ligeramente la región de piel donde se encuentra la matriz con pasta abrasiva (Meditec-Every, Parma, Italia). También se inserta con un dispensador de gel (modelo AG-Multipette plus, Eppendorf, Hamburgo, Alemania) gel conductor (20-30 μ l) en las cavidades de la matriz de electrodos adhesivos. Las Señales EMG de superficie se detectan monopolarmente y amplifican (amplificador EMG, EMG-USB, OT Bioelettronica, Torino; ancho de banda de 10-500 Hz), se muestrean a 2048 Hz, y almacenan por una conversión de analógico a digital de 12 bits.

b) REGISTRO DE LA SEÑAL EMG INTRAMUSCULAR

En el caso de las señales utilizadas en este estudio las señales EMG intramusculares se utilizan en la evaluación del efecto de la profundidad de la unidad motora en las características PAUM de superficie y para localizar los potenciales de la misma unidad motora en dicha señal.

Se usan dos agujas de calibre 23 de diferentes longitudes (15 mm y 25 mm). Las dos agujas son completamente insertadas a aproximadamente 8 mm de la zona de inervación determinada previamente mediante el método explicado en el apartado anterior, sólo dentro del espacio libre eliminado en la sexta fila de la matriz-2D [fig. 4].

En concreto, las agujas cortas y largas se insertan en la intersección de la sexta fila con las columnas tercera y cuarta de la matriz 2D, respectivamente. El ángulo de inserción de las agujas es aproximadamente 70° de manera que los cables de ambas agujas detectan preferiblemente unidades motoras cuyos territorios estaban más cerca de la segunda columna de la matriz 2D. Con tal disposición, las puntas de las agujas cortas y largas están en una profundidad estimada de 10 y 20 mm, respectivamente, con respecto a la superficie de la piel.

En el interior de cada aguja están montados tres electrodos de alambre de acero inoxidable recubierto de teflón (AM Systems, Carlsborg, WA). Aproximadamente 1-2 mm de los cables están sin aislar en la punta para detectar señales EMG intramuscular. Las agujas se retiraron y el haz de cables permanecieron alojados en el interior del músculo. Para cada aguja, son elegidos dos pares como la entrada diferencial al amplificador. Las señales EMG intramusculares son amplificadas (Contrapunto EMG, DANTEC Médico, Skovlunde, Dinamarca), filtradas paso banda (500 Hz-4 kHz), muestreadas a 10.240 Hz, y almacenadas después por conversión analógico-digital de 12 bits.

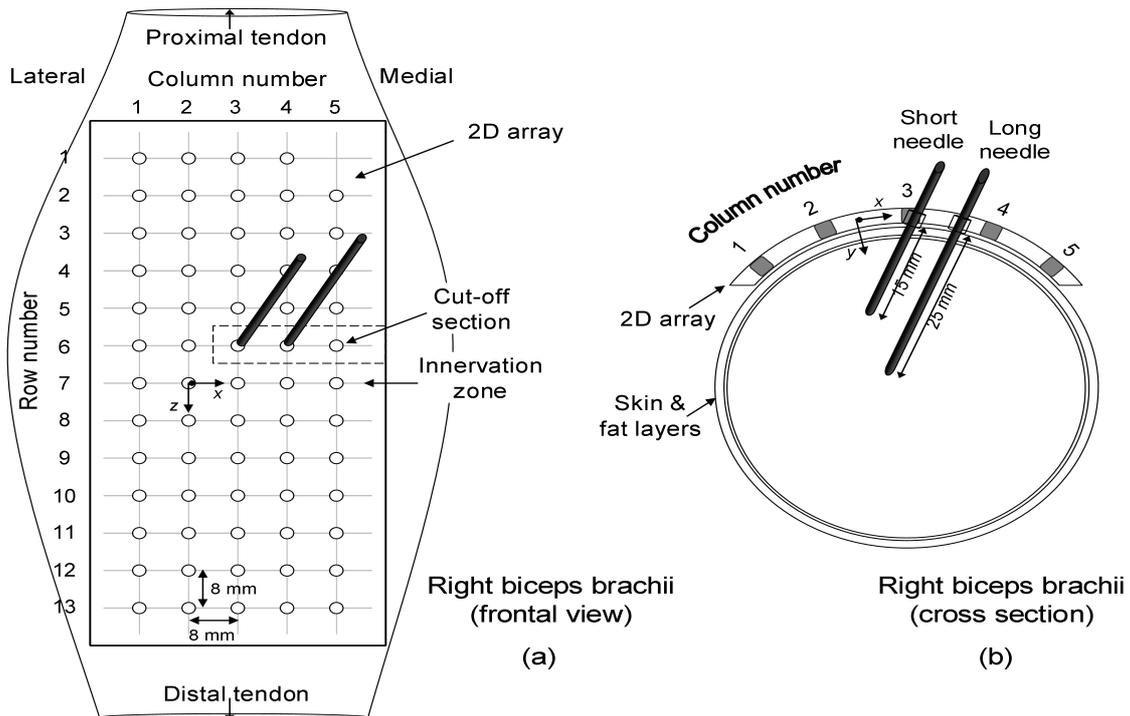


Figura 10: Representación esquemática de la matriz 2D adhesiva(a) y la sección transversal (b).

c) ANÁLISIS DE LA SEÑAL

Las señales EMG intramusculares se descomponen en los trenes de descarga de unidades motoras constituyentes utilizando la técnica de descomposición EMGLAB [5].

Esta técnica utiliza la coincidencia de plantilla, una plantilla de la actualización, las probabilidades de despido y la resolución de superposición, para determinar los tiempos de acción individuales de las unidades motoras. Se utilizan los tiempos de aparición de los potenciales de acción por vía intramuscular como factores desencadenantes de un promedio de los diferentes canales de las señales EMG de superficie monopolares.

Se asegura la estabilidad de los cables, la eliminación de componentes comunes y la clasificación de potenciales para cada unidad motora.

Para asegurar que los cables no fueron desplazados durante la grabación, el patrón de descarga de cada unidad de motor se dividió en 3 porciones consecutivas de 20 s. Se calculó la media de los potenciales de acción intramusculares detectadas en cada porción. Los tres potenciales intramusculares promediados se compararon mediante el cálculo del máximo de su función de correlación cruzada. Sólo las unidades motoras que mostraron potenciales intramusculares en los tres intervalos con un máximo de la función de correlación cruzada más alto de 0,85 se aceptaron para el análisis adicional.

Para cada unidad motora, el cálculo de los potenciales de “spike-triggered averaged” para cada electrodo de la matriz de 5x13 proporciona la distribución

superficial espacio-temporal monopolar del potencial de la unidad motora. Para cada distribución se determinaron, la columna que coincide con la ubicación de la UM (la columna que exhibe mayores amplitudes) y la fila correspondiente a la zona de inervación, identificada mediante la derivación diferencial individual (en la dirección longitudinal). La columna y la fila determinadas como se ha explicado anteriormente se conocen como la columna de destino y fila de destino, respectivamente.

Los potenciales bipolares se obtuvieron de los potenciales de unidad motora monopolar restando sucesivas potenciales monopolar en la dirección de la fibra muscular (restando los potenciales de dos electrodos adyacentes de las filas parejas). Un electrodo de la primera fila, junto con tres electrodos más de la sexta fila, se retiraron para introducir los electrodos intramusculares, por tanto, se calcula un total de 12, 12, 10, 10, y 9 señales bipolares en las primera, segunda, tercera, cuarta, y quinta filas, respectivamente. Estos potenciales formaron la distribución superficial espacio-temporal bipolar del potencial de unidad motora. Para una distribución bipolar, la columna de destino era la misma que en la distribución monopolar correspondiente, y la fila de destino era la más cercana a la zona de inervación comprendida por 5 potenciales.

Mediante el estudio anterior se determinaron las señales EMG de superficie correspondientes a cada colección de PAUMs de cada unidad motora registrada. Estas señales son las que utilizamos en el presente estudio para la comparación de los diferentes métodos de promediado propuestos.

2.1.2. Señales analizadas

Las señales analizadas corresponden a las señales EMG obtenidas a partir del proceso explicado anteriormente, pertenecen a ocho sujetos (S1, S2, S3, S4, S5, S6, S7 y S8), de cada sujeto se recogieron varias colecciones de PAUMs, es decir, varios conjuntos de potenciales de acción correspondientes a unidades motoras individuales.

Cada colección de PAUMs es un conjunto de varios potenciales de acción superpuestos y contaminados, correspondientes a una unidad motora, nuestro objetivo es utilizar los distintos métodos de promediado para tener un único potencial de acción promedio, y comparar dichos potenciales para determinar el método de promediado más adecuado.

- **Señales de S1:** Son cinco colecciones de PAUMs [Fig. 11], cada una con distinto número de PAUMs (235, 352, 270, 323 y 391), de la misma duración 61'5ms (126 muestras / 2'048 Khz).

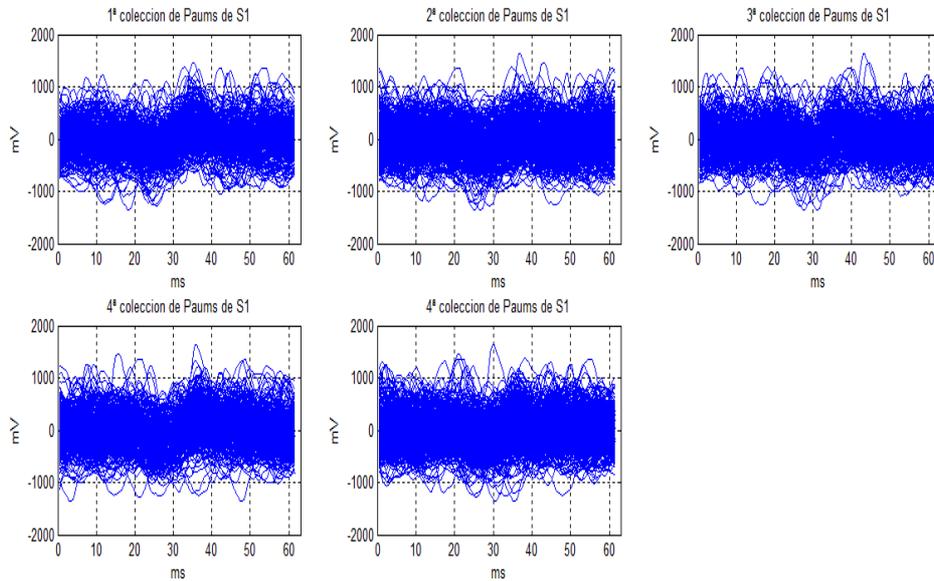


Figura 11: Colecciones de potenciales de acción de una unidad motora detectados por EMG superficial para S1.

- **Señales de S2:** En este caso solo tenemos tres colecciones de PAUMs [Fig. 12], con menor número de ellos también variable para cada colección (302, 108 y 255) y con la misma duración que en los casos anteriores, 61'5 ms.

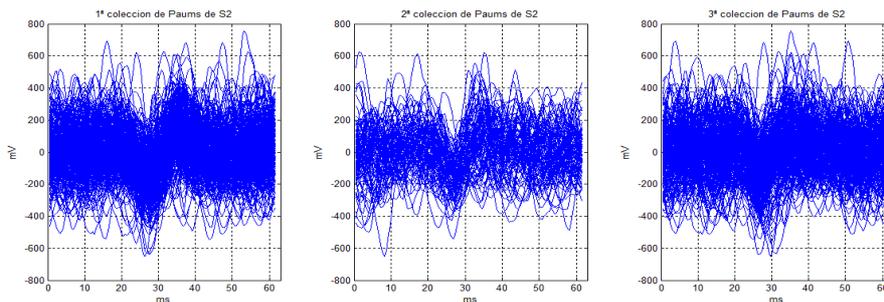


Figura 12: Colecciones de potenciales de acción de una unidad motora detectados por EMG superficial para S2.

- **Señales de S3:** También para S3 son cinco colecciones de PAUMs [Fig. 13] con distinto número de PAUMs (215, 231, 216, 231 y 219) para cada una pero siempre con la duración de 61'5ms.

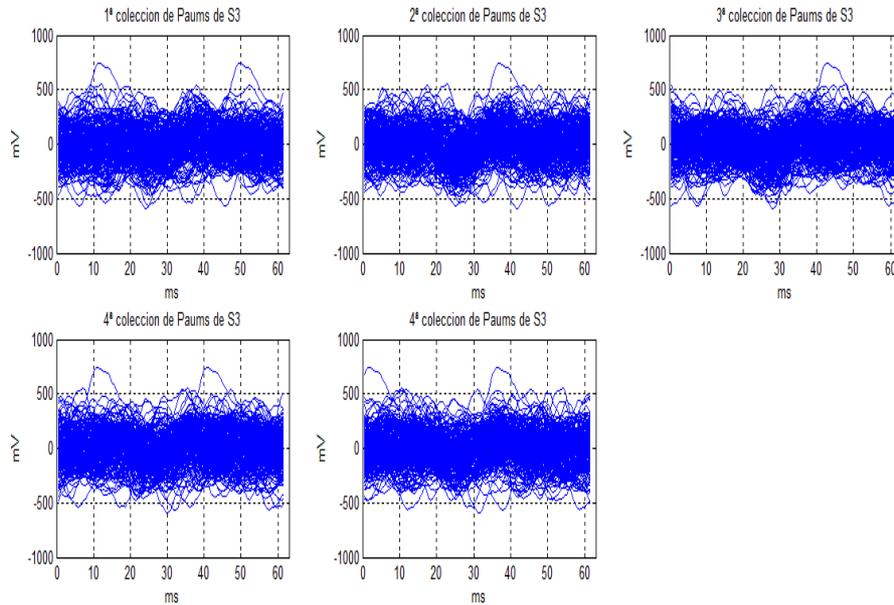


Figura 13: Colecciones de potenciales de acción de una unidad motora detectados por EMG superficial para S3.

- **Señales de S4:** Volvemos a tener para S4 cinco colecciones de PAUMs [Fig. 14], esta vez con mayor numero de ellos también variable para cada colección (678, 683, 580, 693 y 465), pero siempre de la misma duración 61'5ms.

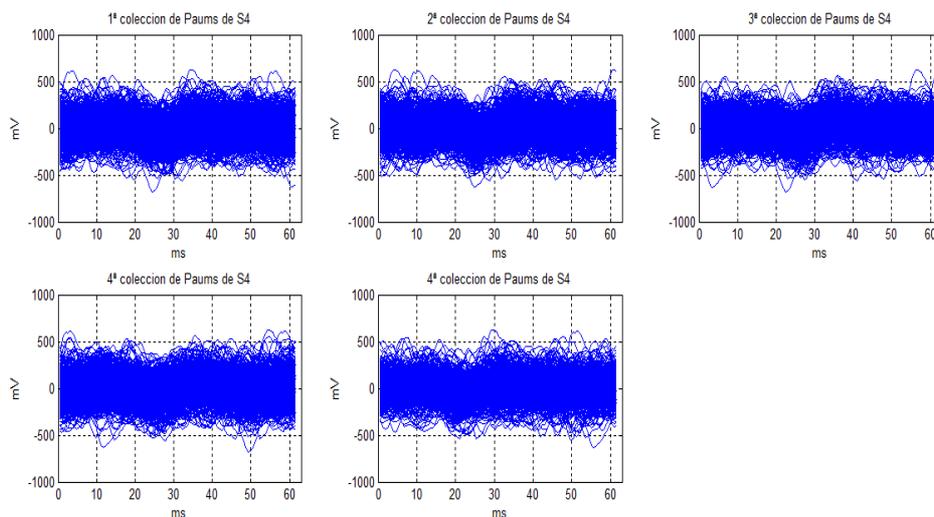


Figura 14: Colecciones de potenciales de acción de una unidad motora detectados por EMG superficial para S4.

- **Señales de S5:** En este caso para S5 tenemos cuatro colecciones de PAUMs [Fig. 15], esta vez con mayor número de ellos también variable para cada colección (312, 326, 212 y 175), pero siempre de la misma duración 61'5ms.

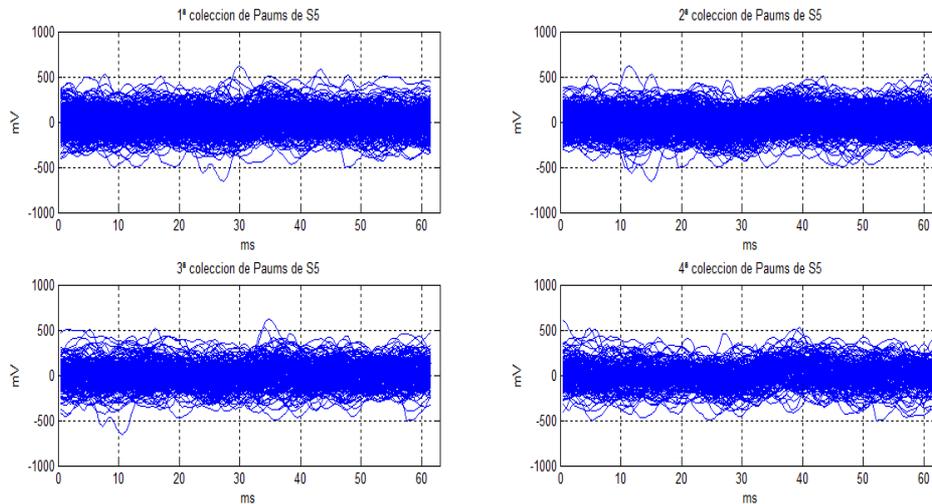


Figura 15: Colecciones de potenciales de acción de cada unidad motora individual detectados por EMG superficial para S5.

- **Señales de S6:** En este caso para S6 tenemos también cuatro colecciones de PAUMs [Fig. 16], con diferente número de PAUMs por colección (611, 442, 413 y 337), de la misma duración 61'5ms.

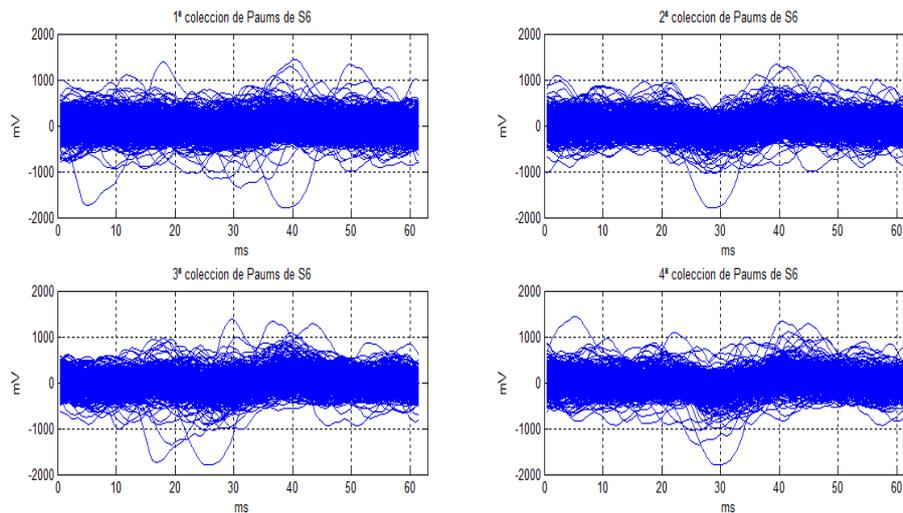


Figura 16: Colecciones de potenciales de acción de cada unidad motora individual detectados por EMG superficial para S6.

- **Señales de S7:** En este caso para S7 contamos con cuatro colecciones de PAUMs [Fig. 17], con diferente número de PAUMs por colección (443, 251, 336 y 287), de la misma duración 61'5ms.

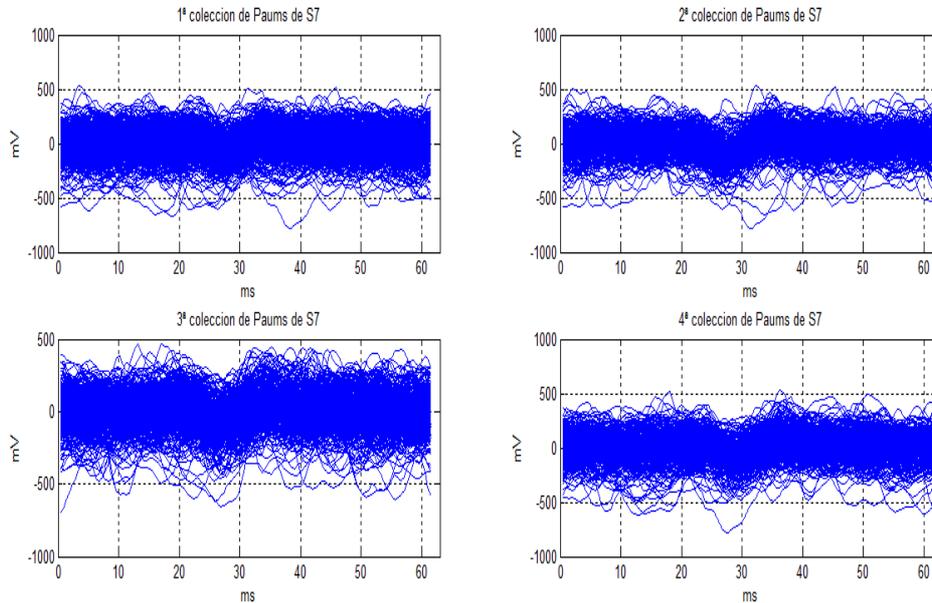


Figura 17: Colecciones de potenciales de acción de cada unidad motora individual detectados por EMG superficial para S7.

- **Señales de S8:** En este caso para S8 contamos con cuatro colecciones de PAUMs [Fig. 18], con diferente número de PAUMs por colección (395, 335, 502 y 494), de la misma duración 61'5ms.

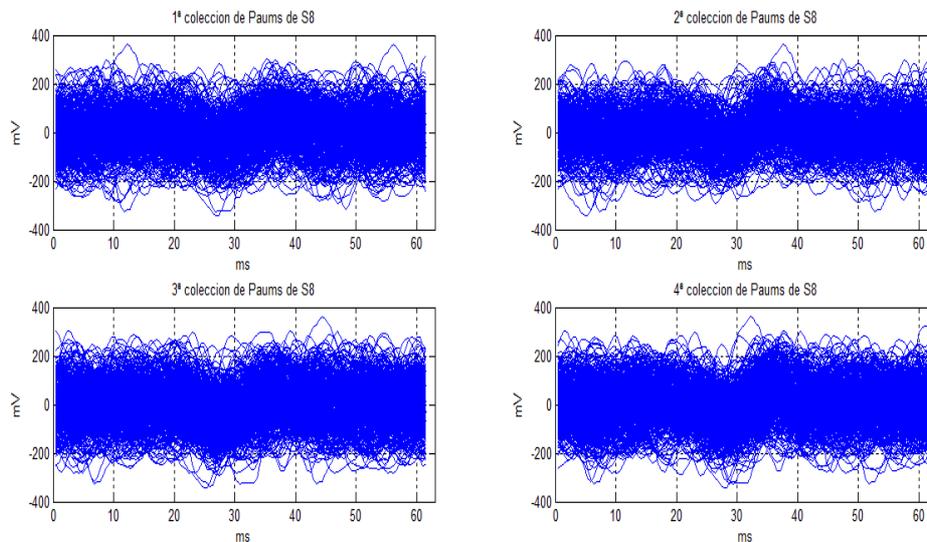


Figura 18: Colecciones de potenciales de acción de cada unidad motora individual detectados por EMG superficial para S8.

Como vemos cada colección de cada sujeto, tiene distinto número de PAUMs, para hacer el estudio más homogéneo se ha decidido coger un máximo de 300 PAUMs por colección, por tanto, para las colecciones con mayor número de PAUMs solo se analizarán los 300 primeros. Aun así la cantidad de señales a analizar es lo suficientemente alta como para realizar el presente estudio.

En las figuras anteriores se puede observar que las colecciones de PAUMs tienen un aspecto ruidoso, no tienen un patrón claro y la superposición entre ellos hace muy difícil cualquier interpretación, de ahí la necesidad de hacer un promedio con todas ellas para poder tener una única señal representativa e interpretable.

Para poder hacer un análisis con todas estas señales y comprobar la validez del mismo, ya que, no tenemos ningún patrón de la señal final con el que comparar cada método, se ha decidido analizarlas en secciones de distinto número de PAUMs, 25, 50, 75 y 100, con respecto al total de PAUMs de cada colección (300 PAUMs en caso de ser mayor el número de estos). Este último promedio es nuestro promedio patrón o gold standard. Para ello se recorre la colección tomando secciones del tamaño determinado en cada caso. Si cada colección está formada por N PAUMs y en cada sección vamos a seleccionar X PAUMs, pudiendo ser X igual a 25, 50, 75 ó 100, se recorre toda la colección agrupando X PAUMs en cada i-ésima sección.

- “i” = (1,..., (N/X)).

$$\text{Sección } i\text{-ésima} = [\text{PAUM} (((i-1) * X) + 1), \dots, \text{PAUM} (i * X)] \quad (1)$$

En cada colección de PAUMs se calcula el promedio con cada método para cada sección, por ejemplo para secciones con X = 25 PAUMs, del PAUM 1 hasta el 25, del 26 hasta el 50 y así sucesivamente, hasta llegar al mayor número de PAUMs múltiplo de 25 posible, y se comparan dichas secciones con el promedio patrón del mismo método [Fig.19], sacando así los parámetros relación señal-ruido (SNR), error del valor pico a pico relativo (EVPPR) y el error del tiempo de subida (ETS) que se explican en el apartado 2.3. “Parámetro de estudio” y determinarán el método que presente mejores resultados.

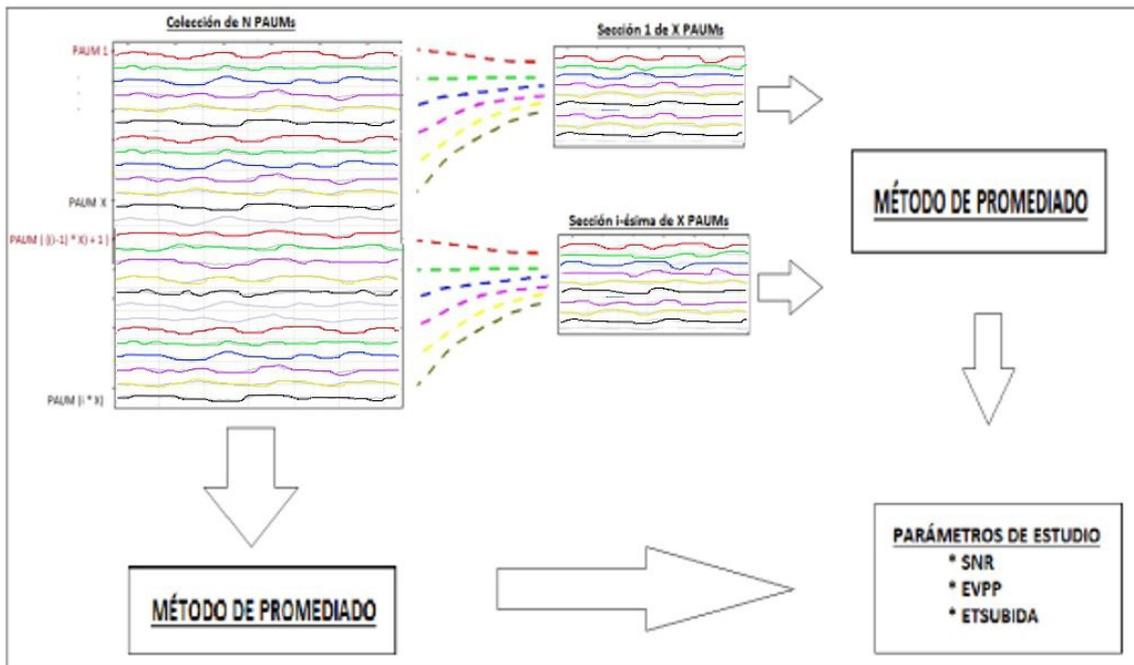


Figura 19: Esquema de la formación de las secciones de X PAUMs, a partir de las colecciones de N PAUMs, y del proceso de obtención de los parámetros de estudio.

En resumen, cada colección de N PAUMs de cada sujeto se divide en las distintas secciones de X PAUMs, se calculan, el promedio de la colección total o promedio patrón y el promedio de cada una de las secciones obtenidas, después se compara cada uno de los promedios de las distintas secciones con el promedio patrón, mediante los parámetros de estudio. Este proceso se lleva a cabo para todos los métodos de promediado definidos a continuación.

2.2 Métodos de promediado analizados

Los métodos de promediado estudiados son seis, implementados en Matlab y descritos a continuación.

2.2.1 Media (Mean)

La media o promediado convencional de las señales consiste en el sumatorio de todas las señales entre el número de señales [Expresión 2]:

$$\bar{x} = \frac{\sum_{i=1}^n x_i}{n} = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n x_i \quad (2)$$

2.2.2 Mediana (Median)

La mediana es una medida de posición central que, ordena PAUMs según su amplitud, quedándose con el potencial que ocupa el lugar central en caso de ser potenciales impares y con la media de los dos potenciales centrales en caso de ser pares. [Fig. 20]:

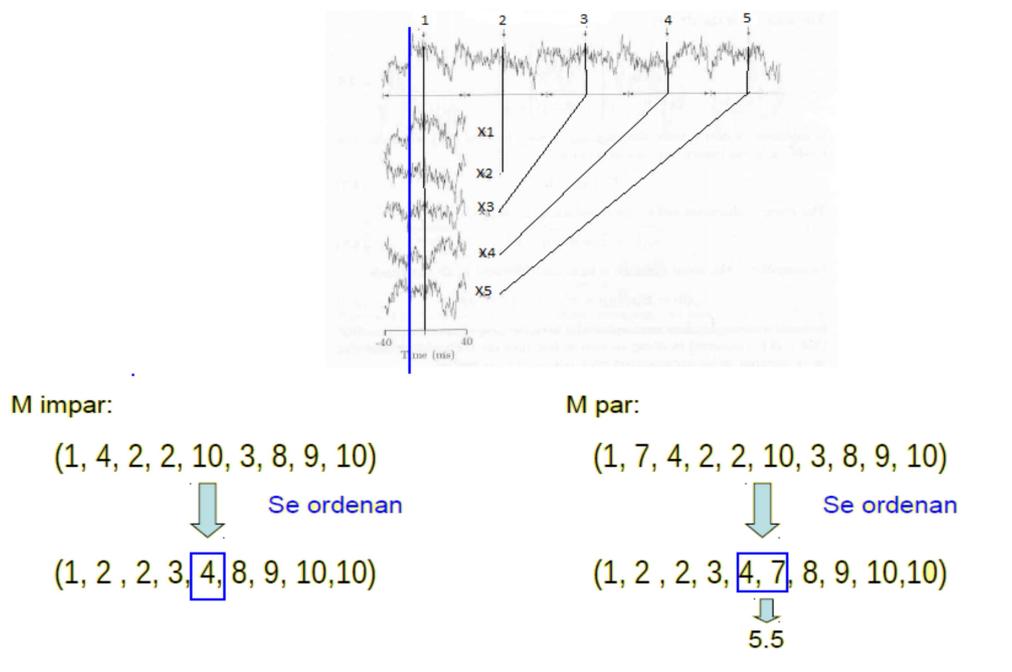


Figura 20: Esquema del cálculo promedio mediante el método de la mediana.

2.2.3 Promediado ordenado (Sorted averaging) [7, 8]

El promediado ordenado o “Sorted averaging”, consiste en un promedio algo más sofisticado por el cual se ordenan los PAUMs según unos criterios de similitud definidos y se eligen los PAUMS que resultan más próximos entre sí para eliminar los que sólo aportan ruido o contaminantes.

Este método obtiene un potencial representante a partir de un conjunto de potenciales. Para ello se ordenan de forma iterativa las descargas según una métrica de similitud, atendiendo a la distancia euclídea de cada descarga, a la señal promedio. Se define el índice de perturbación (ip), como la media temporal de las desviaciones estándar de las distintas descargas en cada muestra, y el índice de perturbación normalizado (ipm) como el índice anterior dividido por la raíz cuadrada del número de descargas. Para calcular el ipm se toman las i primeras descargas de la lista de descargas ordenadas. Tendremos que ipm es función del número de descargas elegidas $ipm=ipm(i)$.

Se busca entonces el valor de i que hace mínimo el índice de perturbación normalizado (ipm). Así se elige el número de potenciales más próximos y de ellos se extrae el potencial promedio.

2.2.4 Promediado de los 5 potenciales más próximos (five-best averaging)

El promedio de los cinco mejores o “five-best averaging”, lleva a cabo el mismo proceso que el método explicado en el apartado anterior, promedio ordenado o “sorted averaging”, pero en este caso se eligen las cinco descargas más próximas.

2.2.5 Promediado ponderado (Weighted averaging) [9]

El promedio ponderado o “weighted averaging”, es idóneo para promediar distintas señales ($x_k(n)$) que tienen cada una un distinto nivel de ruido (σ_k), ya que, consiste en hacer una ponderación diferenciada para las distintas señales $x_k(n)$, de manera que contribuyen más aquellas que tienen menor nivel de ruido. Para ello la ponderación se realiza mediante el cálculo de la varianza promedio del ruido [Expresión 3] que se toma de las L1 muestras iniciales y L2 muestras finales.

El número de muestras de estos intervalos, tiene que recoger los tramos de las distintas señales, en nuestro caso, de los distintos PAUMs de cada sección, o de la colección entera si se calcula el promedio patrón, donde no haya contribución de los potenciales, es decir, donde solo exista contribución ruidosa a la señal, en nuestro caso se ha determinado esta parte como el 10% de las muestras de cada PAUM tanto para el intervalo L1 como para L2, si las muestras totales de los todos los PAUMs son 126, se redondea la décima parte y el intervalo L1 cogerá las 12 primeras muestras de cada PAUM y L2 las 12 últimas, con ellas se calcula la varianza promedio del ruido de cada

PAUM. El uso de esta ponderación maximiza la relación señal ruido de la señal obtenida en este proceso.

$$w_p = \frac{\frac{1}{\sigma_p^2}}{\sum_{k=1}^N \frac{1}{\sigma_k^2}} \quad (3)$$

$$\hat{x}(n) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N w_k \cdot x_k(n) = x(n) \quad (4)$$

2.2.6 Promediado robusto (Robust averaging) [10]

Una de las mayores desventajas del método de promediado ponderado de la señal, explicado en el apartado anterior, es su sensibilidad a la presencia de ruido y los valores atípicos en los datos y la necesidad de estimar la varianza del ruido en todos los ciclos de la señal.

El método de promedio robusto o “Robust averaging”, basado en la función de pérdida del parámetro de insensibilidad, es libre de estas desventajas. Este método es insensible a los valores atípicos pero para ello es necesario indicar un parámetro de insensibilidad, además de tener una alta carga de cálculo, por lo que, en el presente trabajo se ha utilizado una mejora del algoritmo de este método en el que el ajuste del parámetro de insensibilidad se introduce automáticamente y se reduce la carga de cálculo, mediante procesos matemáticos complejos.

2.3 Parámetros de estudio

Los parámetros de estudio para comparar los diferentes métodos de promediado son tres: la relación señal ruido (SNR), el error del voltaje pico a pico relativo (EVPPR) y el error del tiempo de subida (ETS). Los valores de estos parámetros obtenidos para cada método de promediado de cada sección son guardados en una matriz, por colección de PAUMs, formando para cada sujeto, un número de matrices igual al número de unidades motoras detectadas por el registro EMG de superficie para cada sujeto y por cada parámetro.

2.3.1 Relación señal-ruido (SNR)

Uno de los parámetros más utilizados para analizar la calidad de señales es la relación señal ruido (SNR), cociente de la potencia de la señal, entre la potencia del ruido [Expresión 4]. Cuanto mayor sea este valor mejor calidad de señal, lo ideal para la obtención de este parámetro habría sido disponer de una señal patrón para determinar la potencia de la señal, pero al no tener dicho patrón como ya se ha explicado en apartados anteriores, la señal estándar que utilizamos para este fin, es el promediado con cada método de todos los PAUMs de la colección, ó 300 en caso de que superen dicho número. La potencia del ruido, por tanto, la obtenemos del promedio con cada método de cada una de las secciones, dividiendo estas potencias obtenemos la relación señal ruido del promedio de cada método para cada una de las secciones, con respecto al promedio de cada método del total de PAUMs de la colección (promedio patrón o “gold-standard”).

$$SNR (db) = \frac{P_{señal}}{P_{ruido}} = 10 * \log \frac{[x(n)]^2}{[\hat{r}(n)]^2} \quad (4)$$

2.3.2 Error Valor pico a pico relativo (EVPPR)

El segundo parámetro que se ha utilizado para determinar el método más acertado para el promedio de señales EMG de superficie, es el error del voltaje pico a pico (EVPPR), por el cual se compara las amplitudes del promedio estándar o patrón con las amplitudes de cada sección. El voltaje pico a pico (Vpp), se define como la suma del valor absoluto mínimo más el valor máximo. [Fig. 21].

El cálculo de este parámetro se define como la diferencia entre el Vpp del promedio de sección, menos el Vpp del promedio estándar o patrón, todo ello dividido entre este último valor para obtener el valor relativo de dicho error. [Expresión 5].

$$EVpp = \frac{(\text{Maxsec} - \text{Minsec}) - (\text{Maxstd} - \text{Minstd})}{(\text{Maxstd} - \text{Minstd})} \quad (5)$$

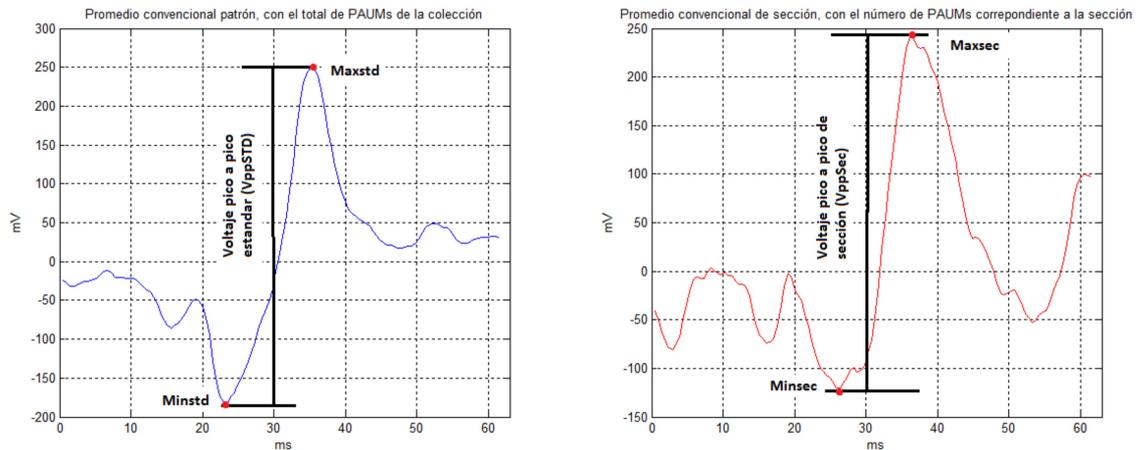


Figura 21: Derecha: Promediado de todos PAUMs de la colección y la representación del su Vpp. Derecha: Promediado de los PAUMs de una de las secciones y la representación del su Vpp.

El parámetro EVPPR calculado de este modo nos da información sobre la variabilidad de la amplitud del PAUM promedio de cada sección con respecto al PAUM promedio global, para cada método.

2.3.3 Error según tiempo de subida (ETS)

Por último, el tercer parámetro que hemos utilizado, es el error del tiempo de subida (ETS), este parámetro expresa la diferencia temporal entre el promedio estándar y el de sección para cada método. El valor tiempo de subida (TS) de cada promedio es el tiempo que transcurre desde el punto mínimo hasta el punto máximo de la señal. [fig. 22].

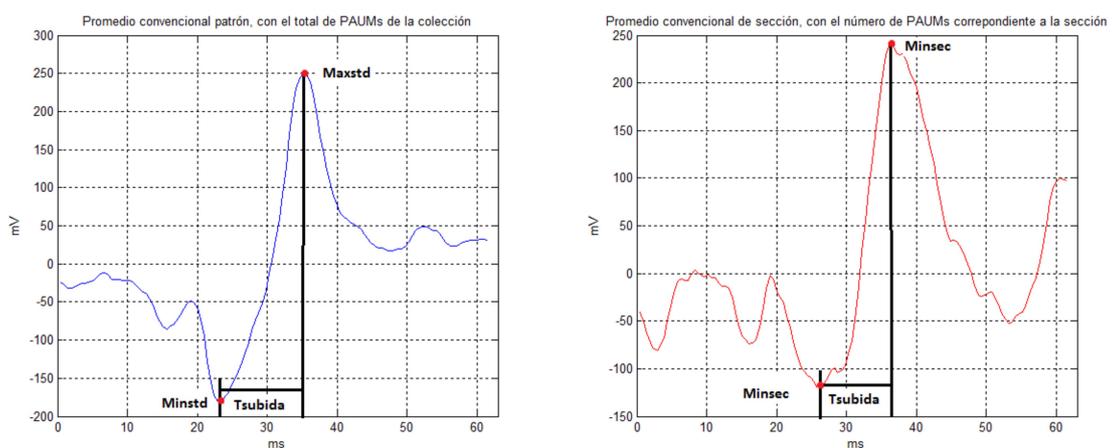


Figura 22: Derecha: Promediado de todos PAUMs de la colección y la representación del su Tsubida. Derecha: Promediado de los PAUMs de una de las secciones y la representación del su Tsubida.

Cada promedio consta de 126 muestras (aprox.61,5 ms), para calcular tiempo de subida se toma el valor de las muestras desde la posición del mínimo del promedio hasta el máximo.

El cálculo del error del tiempo de subida (ETS), entre el promedio patrón y el promedio de cada sección, es la diferencia del Tsubida del promedio de la sección menos el Tsubida del promedio patrón, este valor se divide entre la frecuencia de muestreo de la señal (2.048 Khz) para obtener el valor en milisegundos.[Expresión 6].

$$ETSubida (ms) = \frac{(PosMaxsec - PosMinsec) - (PosMaxStd - PosMinStd)}{Fmuestreo} \quad (6)$$

Con el cálculo de este parámetro obtenemos información sobre la variabilidad del tiempo que tarda en darse el pico máximo de la señal promedio de la sección con respecto a la señal promedio estándar.

3. Resultados

Los datos de cada sujeto y cada una de sus colecciones de PAUMs, se han tratado en tres fases:

1. Obtención de los datos para cada sección, para los cuatro tamaños de sección indicados en los apartados anteriores (25, 50, 75 y 100).
2. Promedio de estas secciones para tener los datos promedio de cada parámetro para cada tamaño de sección (3.1. Promediado por Npaums).
3. Cálculo del promedio y la desviación típica de las colecciones de cada sujeto para tener el dato promedio de cada parámetro por sujeto y tamaño de sección (3.2. Promediado por diferentes colecciones del mismo sujeto).

Una vez realizados estos procesos obtenemos 6 matrices, 3 para los promedios y 3 para las desviaciones típicas, correspondientes a cada uno de los parámetros de estudio, para cada sujeto. Esta matrices se componen de 4 filas correspondientes a los distintos tamaños de sección y 6 columnas correspondientes a cada método de promediado.

Para llevar a cabo el análisis (3.3. Análisis) se representan los resultados para cada sujeto en distintas gráficas, es decir en seis gráficas para cada sujeto y se analizan individualmente.

Por último y con el fin de obtener una representación global de los resultados para cada parámetro, se promedian los resultados de todos los sujetos y se obtiene su desviación estándar, representando estos resultados en 3 gráficas, una para cada parámetro.

3.1. Promediado de las secciones de Npaums

Una vez obtenido el promedio con cada método y los parámetros de estudio para cada sección definidos en el apartado “2.3. Parámetros de estudio”, necesitamos obtener un promedio de todas las secciones del mismo número de PAUMs para disminuir las variables que intervienen en el estudio.

Como se ha explicado en apartados anteriores los resultados de cada parámetro de estudio de cada sección se agrupan en una matriz, en la que cada fila agrupa los resultados de cada sección y cada columna corresponde a un método de promediado. Si para cada uno de los 8 sujetos se han registrado, entre 3 y 5 colecciones de PAUMs, y se calculan 3 parámetros para cada sección de X PAUMs, siendo 4 los diferentes valores de X (25, 50, 75 y 100), tenemos aproximadamente 384 matrices que interpretar, por tanto, decidimos reducir este volumen de datos calculando el valor promedio de todas las secciones para cada método y cada colección, y agrupando los vectores resultantes en una nueva matriz, en la que, cada fila recoge el valor promedio del parámetro para la colección correspondiente en base al número de PAUMs por sección y las columnas corresponden a cada método. [Fig. 23].

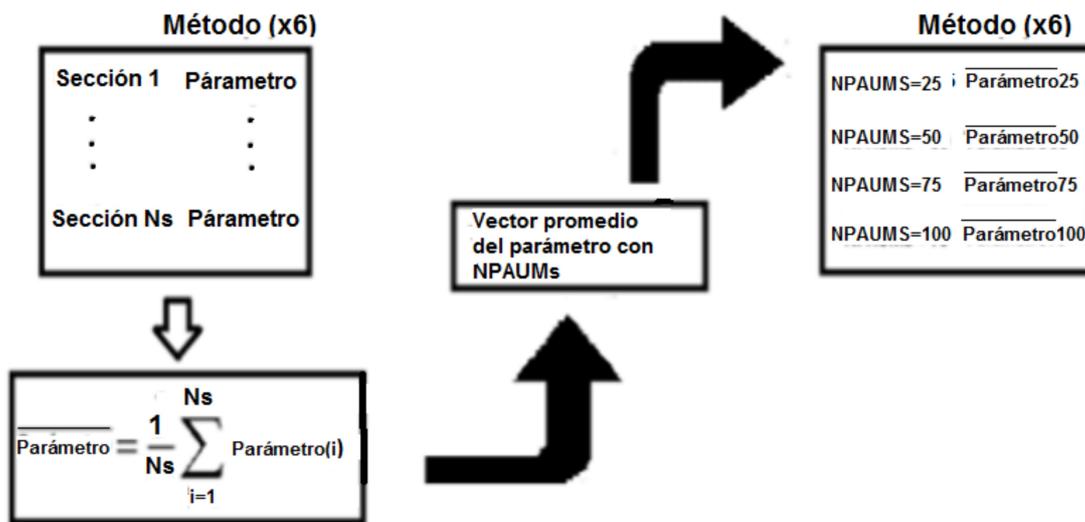


Figura 23: Esquema de la primera fase para la reducción de variables. Este proceso se realiza para cada una de las matrices obtenidas en el proceso del cálculo de los parámetros de análisis. Siendo $i =$ sección ($1:N_s$) y $N_s = n^\circ$ total de secciones por colección de PAUMs.

Tras esta primera fase se han reducido el número de matrices a analizar a la cuarta parte, obteniendo aproximadamente 12 matrices por sujeto.

3.2. Promediado de las diferentes colecciones del mismo sujeto

En este punto, tenemos 3 matrices por cada colección detectada, una media de 4 para cada uno de los 8 sujetos analizados, por tanto, un total de 96 matrices a analizar. Se ha reducido una vez más las variables para obtener un número menor de resultados que analizar, mediante el mismo proceso que en el apartado anterior, promediando los resultados de cada parámetro de estudio, solo que en este caso además del promedio se calcula también la desviación estándar y valores promediamos, en este caso, corresponden a cada una de las distintas colecciones detectadas, en base al número de PAUMs utilizados en cada promedio y para cada método.

Para realizar este proceso, primero se han combinado las matrices obtenidas en el apartado anterior para cada colección, de manera que se forman cuatro matrices, una para cada número de PAUMs empleados (25, 50, 75 y 100), cuyas filas recogen los resultados de cada colección y las columnas corresponden a los métodos de promediado estudiados.

Una vez combinadas, las matrices se realiza calcula la media y desviación estándar de los datos de todas las colecciones, para cada parámetro y cada método, formando dos vector basados en el número de PAUMs utilizado, cada uno de ellos se agrupara en una matriz.[Fig. 24]

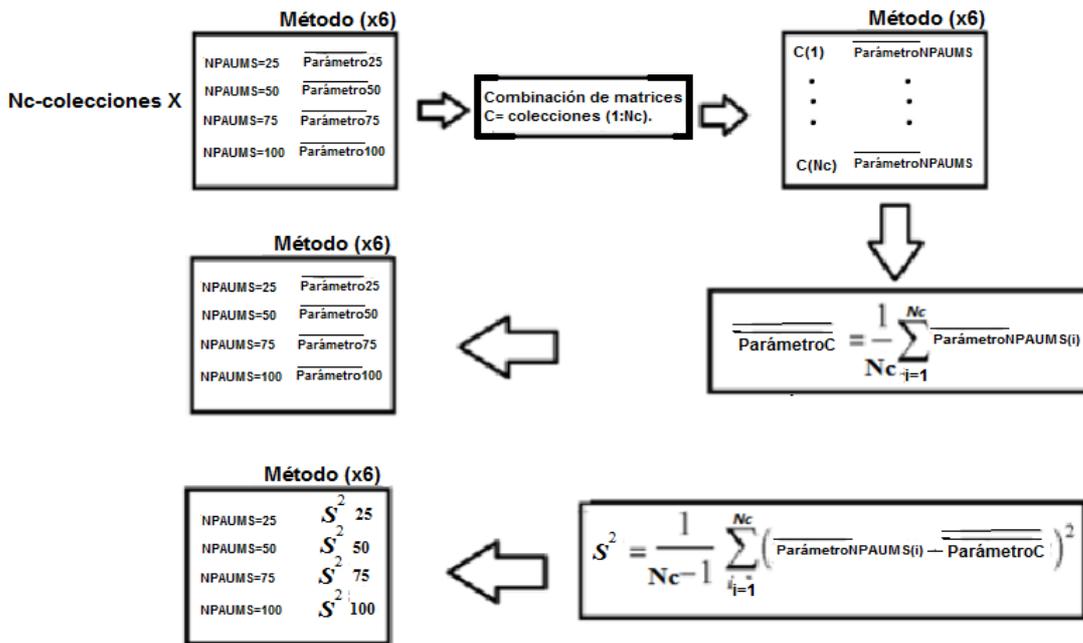


Fig. 24: Esquema del segunda fase para la reducción de variables. Este proceso se realiza para cada una de las matrices obtenidas en la primera fase. Siendo $i =$ colección(1:Nc) y $N_c = n^\circ$ total de colecciones de PAUMs por sujeto.

Una vez finalizado este proceso, se han vuelto a reducir una cuarta parte los resultados, por tanto tenemos 6 matrices para cada sujeto, dos para cada parámetro de estudio una nos da los resultados del valor medio del parámetro y la otra la variabilidad de los resultados.

3.3. Análisis

Una vez obtenidas las matrices con los resultados para los ocho sujetos, se analizan una a una para ver en cada caso que método es el que mejor resultado obtiene. Para analizar y comparar los resultados la desviación típica no es el mejor parámetro por ello se calcula el coeficiente de variación (CV), el cual es el resultado de dividir el valor absoluto de la desviación típica entre el valor absoluto de la media, expresado en tanto por uno; cuanto más cercano a 0 sea este valor mejor calidad del promedio [Expresión 7].

$$CV = \frac{|\sigma|}{|\bar{x}|} \quad (7)$$

Para un análisis más completo se representan los resultados en dos gráficas para cada parámetro y para cada uno de los ocho sujetos, una correspondiente a los resultados del valor medio y otra para el coeficiente de variación. Después de analizar los resultados de cada sujeto individualmente, se calcula un último promedio junto con su desviación típica, utilizando los resultados de cada sujeto para cada método y según el número de PAUMs utilizados. De este modo, englobamos los resultados con su variación en tres únicas gráficas, una para cada parámetro de estudio.

3.3.1. Análisis de resultados para cada sujeto por separado.

Para realizar este análisis se ha utilizado las gráficas tanto del valor medio de cada parámetro, para cada número de PAUMs utilizado y para cada método, como de su coeficiente de variación y se han analizado los parámetros de estudio para cada uno de los sujetos por separado, para poder examinar la coherencia de los resultados para cada método en todos los casos.

a) Relación señal ruido (SNR).

Sujeto 1 (S1):

En este caso, se detectaron cinco unidades motoras durante el registro EMG superficial, por lo tanto, disponemos del valor medio del parámetro de las cinco colecciones de potenciales de acción correspondientes. Cada colección consta de un número distinto de señales, como hemos comentado en el apartado 2.1.2. “Señales analizadas”, cuando el número de PAUMs es mayor de 300 se aplica cada método de promediado únicamente a las señales hasta este valor, excluyendo las señales restantes, entonces, para S1 se han promediado 235, 300, 270, 300 y 300 PAUMs para obtener el promedio patrón de cada una de las colecciones.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	7,7	5,6	6,4	-1,6	5,9	5,3
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	12,2	9,7	11,0	-0,1	8,9	9,0
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	17,6	14,2	16,2	0,8	12,2	14,0
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	20,7	17,8	19,0	-0,8	13,7	17,4

Tabla 1: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 1 (S1).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,39	0,37	0,38	1,12	0,46	0,36
CVSNR 50 PAUMs	0,25	0,31	0,28	42,48	0,41	0,31
CV SNR 75 PAUMs	0,19	0,20	0,12	4,95	0,31	0,21
CV SNR 100 PAUMs	0,19	0,36	0,14	1,67	0,35	0,40

Tabla 2: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 1 (S1).

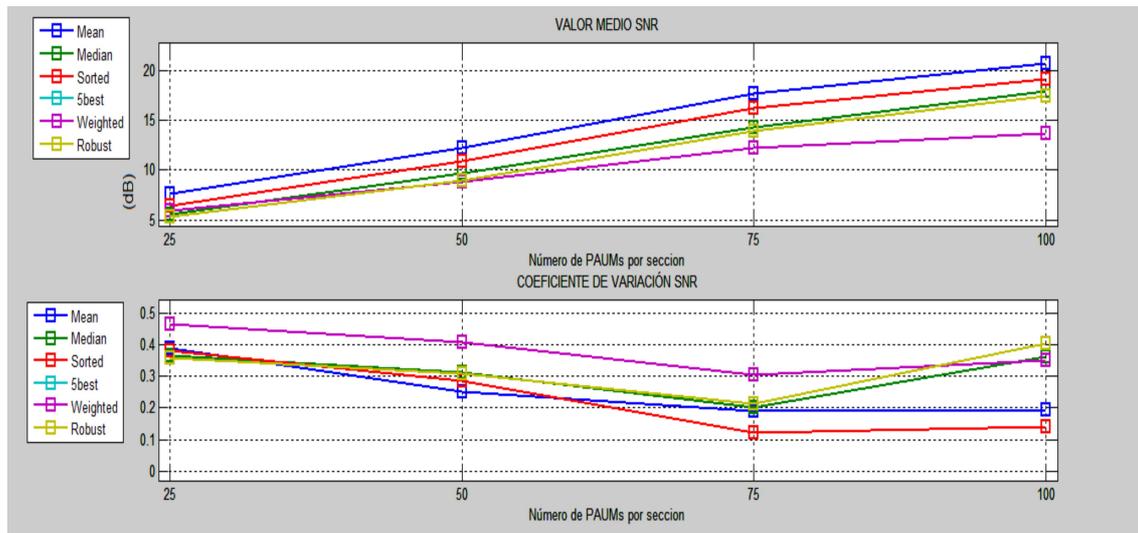


Figura 25: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 1 (S1). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 2 (S2):

Para S2 se detectaron tres unidades motoras durante el registro EMG superficial y el promedio patrón de sus correspondientes colecciones de potenciales, se calculo con, 300, 108 y 255 PAUMs respectivamente.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	13,0	10,5	10,8	-1,8	9,6	10,0
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	19,2	17,3	18,1	-1,9	15,4	15,9
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	24,3	21,4	20,8	Inf	17,9	20,2
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	34,0	31,4	30,2	Inf	34,5	30,8

Tabla 3: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 2 (S2).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,23	0,27	0,25	1,04	0,23	0,25
CVSNR 50 PAUMs	0,26	0,30	0,24	0,87	0,29	0,22
CV SNR 75 PAUMs	0,30	0,31	0,33	NaN	0,27	0,23
CV SNR 100 PAUMs	0,51	0,60	0,46	NaN	0,56	0,55

Tabla 4: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 2 (S2).

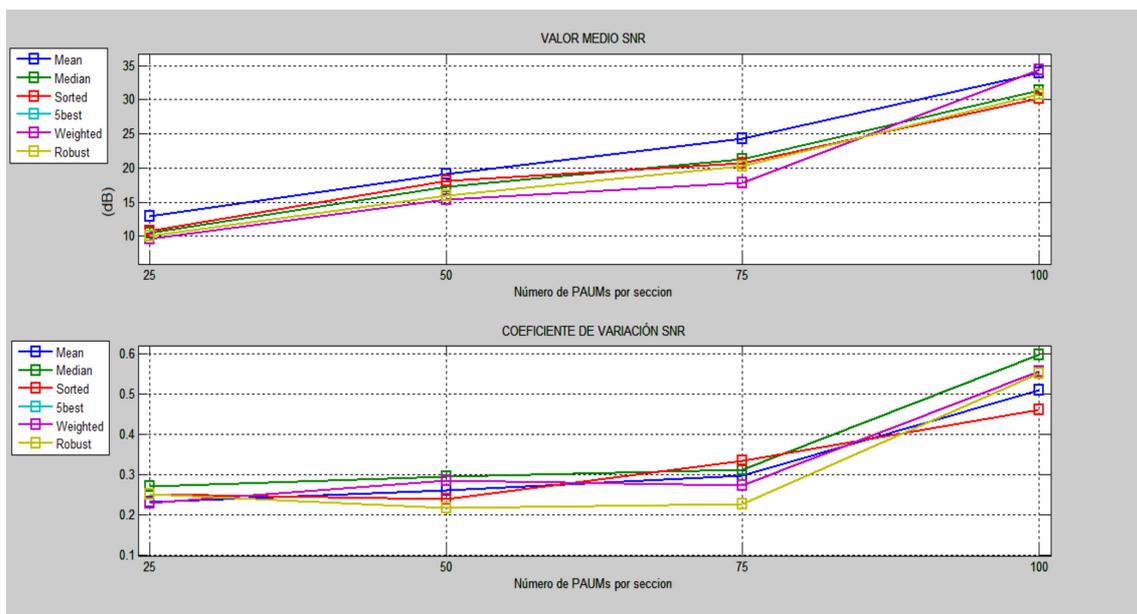


Figura 26: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 2 (S2). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 3 (S3):

En el caso de S3, se detectaron cinco unidades motoras durante el registro EMG superficial y el promedio patrón de sus correspondientes colecciones de potenciales, se calculo con, 215, 231, 216, 231 y 219 PAUMs respectivamente.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	7,6	5,2	5,8	-3,9	4,6	4,9
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	14,1	10,2	13,2	-0,9	9,4	10,1
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	20,1	15,1	18,2	-4,5	14,2	14,8
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	22,6	17,3	20,4	6,2	15,4	16,1

Tabla 5: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR v el sujeto 3 (S3).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,24	0,30	0,26	0,44	0,32	0,35
CVSNR 50 PAUMs	0,17	0,20	0,13	5,50	0,16	0,23
CV SNR 75 PAUMs	0,15	0,22	0,22	0,85	0,30	0,24
CV SNR 100 PAUMs	0,36	0,33	0,26	1,56	0,30	0,32

Tabla 6: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 3 (S3).

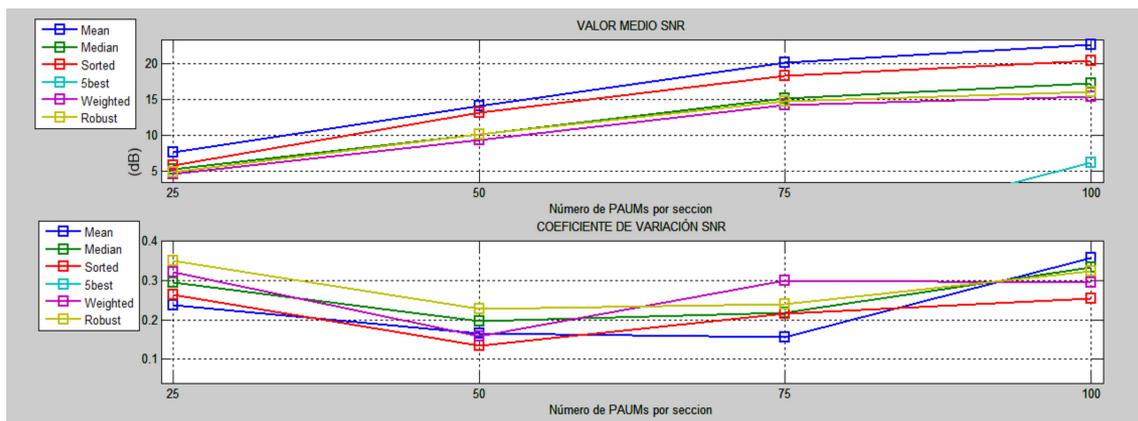


Figura 27: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 3 (S3). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 4 (S4):

En el registro de EMG superficial de S4 se detectaron cinco unidades motoras, el promedio patrón de sus correspondientes colecciones de potenciales, se calculo con, 300 PAUMs para las cinco, ya que, todas contaban con un número superior de PAUMs.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	8,2	9,8	-4,2	8,7	7,6	4,9
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	11,1	13,4	-5,2	10,8	10,6	10,1
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	13,2	14,6	-1,3	13,0	12,5	14,8
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	22,6	17,3	20,4	6,2	15,4	16,1

Tabla 7: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 4 (S4).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,27	0,29	0,24	0,72	0,39	0,29
CVSNR 50 PAUMs	0,25	0,26	0,27	0,74	0,32	0,28
CV SNR 75 PAUMs	0,25	0,29	0,27	1,08	0,47	0,33
CV SNR 100 PAUMs	0,29	0,30	0,30	1,78	0,34	0,33

Tabla 8: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 4 (S4).

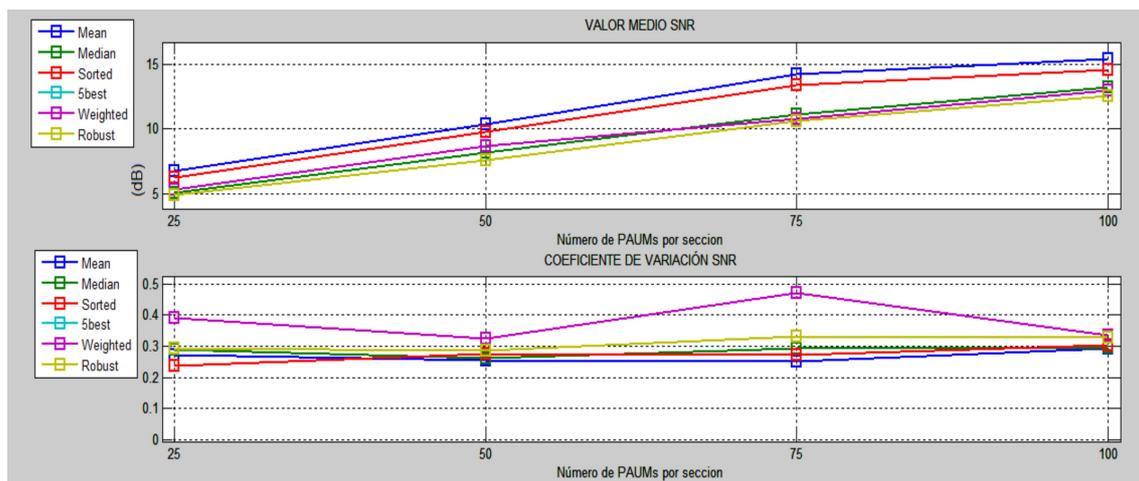


Figura 28: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 4 (S4). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 5 (S5):

En el caso de S5 se han registrado cuatro unidades motoras con sus correspondientes cuatro colecciones de potenciales, el promedio patrón en cada una de ellas se ha calculado con 300, 300, 212 y 175 PAUMs respectivamente.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	4,9	4,1	4,9	-1,6	3,9	4,0
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	9,2	7,9	9,3	-0,8	8,2	8,0
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	13,4	11,7	12,1	1,1	12,4	11,5
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	16,8	14,5	16,8	2,4	14,9	13,8

Tabla 9: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 5 (S5).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,41	0,37	0,43	0,97	0,23	0,36
CVSNR 50 PAUMs	0,35	0,39	0,37	2,35	0,13	0,37
CV SNR 75 PAUMs	0,46	0,33	0,35	4,24	0,17	0,29
CV SNR 100 PAUMs	0,23	0,28	0,17	1,26	0,25	0,27

Tabla 10: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 5 (S5).

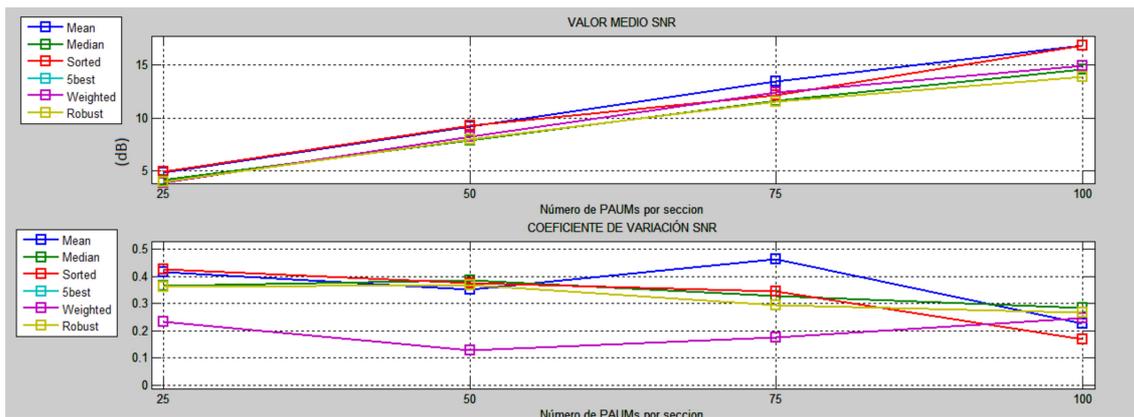


Figura 29: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 5 (S5). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 6 (S6):

En el caso de S6 se detectaron cuatro unidades motoras durante el registro EMG superficial y el promedio patrón de sus correspondientes colecciones de potenciales, se calculo con 300 PAUMs en los cuatro casos, ya que, todas las colecciones superaban este número de señales.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	5,7	4,8	5,2	Inf	3,0	4,8
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	10,1	8,5	9,7	Inf	6,2	8,1
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	11,6	10,1	9,9	Inf	7,7	9,8
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	16,7	13,3	13,4	Inf	10,0	12,4

Tabla 11: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 6 (S6).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,47	0,54	0,48	NaN	0,55	0,44
CVSNR 50 PAUMs	0,49	0,47	0,44	NaN	0,48	0,44
CV SNR 75 PAUMs	0,31	0,37	0,56	NaN	0,32	0,40
CV SNR 100 PAUMs	0,44	0,43	0,41	NaN	0,49	0,43

Tabla 12: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 6 (S6).

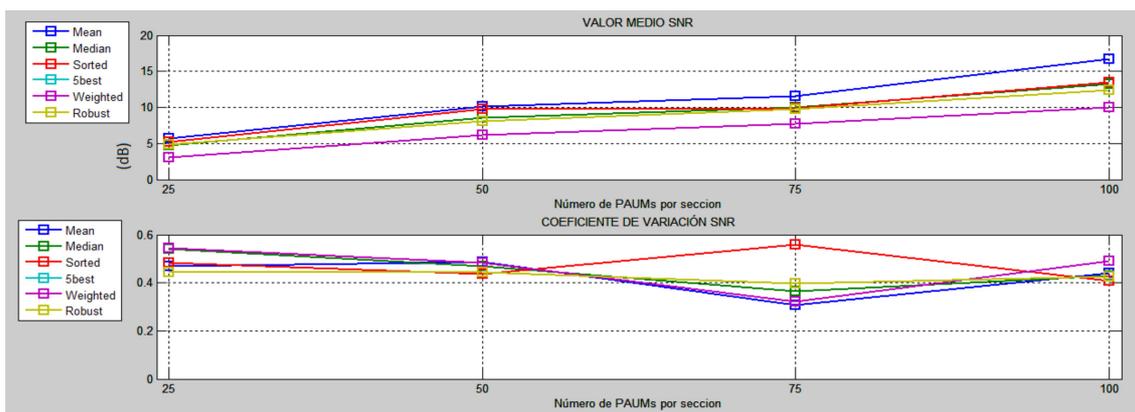


Figura 30: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 6 (S6). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 7 (S7):

En el caso de S7, se detectaron cuatro unidades motoras durante el registro EMG superficial y el promedio patrón de sus correspondientes colecciones de potenciales, se calculo con, 300, 251, 300 y 287 PAUMs respectivamente.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	7,7	6,2	7,0	-4,1	3,9	5,9
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	13,4	10,9	13,5	-1,8	8,1	10,5
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	14,4	13,0	14,6	-1,5	8,8	12,5
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	20,8	17,9	22,0	Inf	13,3	17,4

Tabla 13: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 7 (S7).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,34	0,33	0,38	0,21	0,36	0,33
CVSNR 50 PAUMs	0,34	0,31	0,23	2,32	0,42	0,30
CV SNR 75 PAUMs	0,36	0,26	0,27	2,30	0,34	0,26
CV SNR 100 PAUMs	0,33	0,27	0,31	NaN	0,44	0,23

Tabla 14: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 7 (S7).

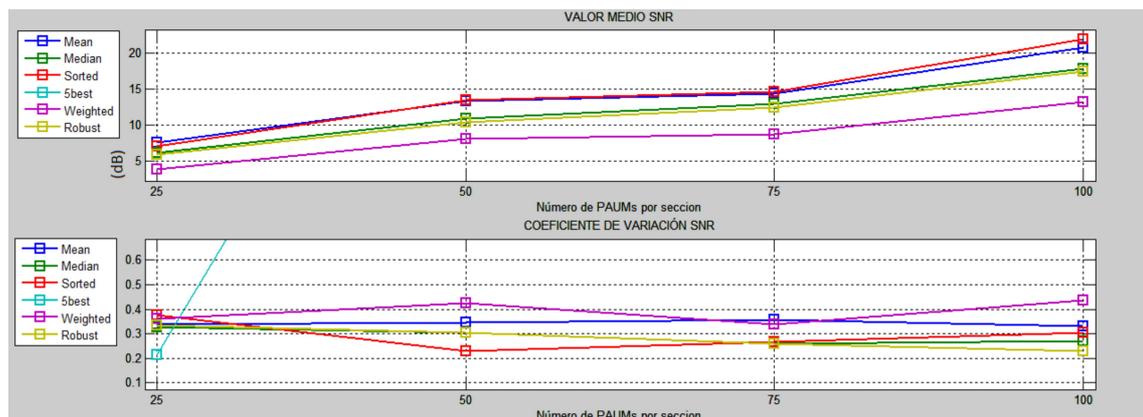


Figura 31: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 7 (S7). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 8 (S8):

Por último, para S8 se detectaron cuatro unidades motoras durante el registro EMG superficial y el promedio patrón de sus correspondientes colecciones de potenciales, se calculo con 300 PAUMs en los cuatro casos, ya que todas las colecciones detectadas superaban este número de potenciales.

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO SNR 25 PAUMs	6,4	4,6	5,7	-3,5	6,1	4,3
VALOR MEDIO SNR 50 PAUMs	9,5	7,5	9,0	-4,0	9,1	7,3
VALOR MEDIO SNR 75 PAUMs	12,0	9,6	12,7	-0,5	11,4	9,4
VALOR MEDIO SNR 100 PAUMs	13,1	11,0	13,5	-0,6	11,8	11,1

Tabla 15: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 8 (S8).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV SNR 25 PAUMs	0,27	0,30	0,19	0,54	0,36	0,35
CVSNR 50 PAUMs	0,22	0,29	0,13	0,74	0,30	0,29
CV SNR 75 PAUMs	0,33	0,33	0,31	7,96	0,26	0,32
CV SNR 100 PAUMs	0,24	0,27	0,27	7,83	0,33	0,26

Tabla 16: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro SNR y el sujeto 8 (S8).

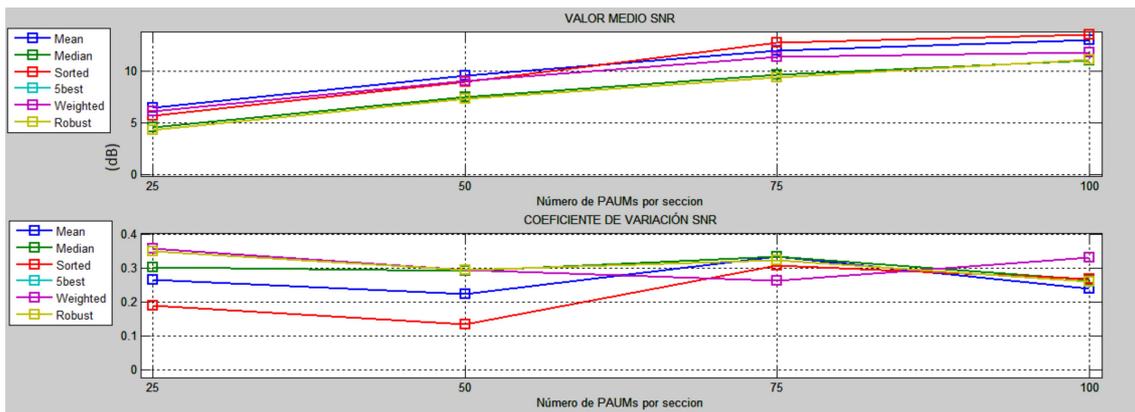


Figura 32: Representación gráfica de los resultados para el parámetro SNR y el sujeto 8 (S8). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

En los resultados de las tablas anteriores como en las gráficas se ven representados los datos obtenidos para cada sujeto, tanto del valor medio de SNR como de su coeficiente de variación. Estos datos muestran coherencia, ya que, a medida que aumenta el número de PAUMs de las secciones mayor SNR se obtiene.

En primer lugar, vemos que el promedio de los cinco potenciales más próximos da un pésimo resultado en varios de los casos. Debido a la aleatoriedad de las señales, el promedio ordenado escoge casi la totalidad de PAUMS incluidos en el proceso, si como en el método de los cinco potenciales más próximos, solo nos quedamos con cinco PAUMS para realizar el promedio los resultados obtenidos no pueden ser fiables. Con los resultados del coeficiente de variación (CV), se ve la gran variación de los resultados para este método. En los resultados de tres sujetos, este método obtiene los mejores resultados a simple vista, ya que, el resultado es infinito, sin embargo, debemos tener en cuenta, que el promedio de los cinco potenciales más próximos escoge solo los cinco PAUMs más próximos para realizar los promedios y es muy probable que estos coincidan para el promedio patrón y el promedio de alguna de las secciones dando un resultado infinito y al promediar todas las secciones este valor persiste hasta el valor medio de SNR presentado en estas tablas y gráficas. Este promedio no siempre da buenos resultados, por tanto, no se le puede dar validez a este resultado.

Observando las tablas y gráficas para los resultados del valor medio de SNR y su correspondiente CV vemos que en la mayoría de los casos los mejores resultados validos con un CV de 0,5 los obtienen el método de la media y el promedio ordenado con valores entre 13 y 34 dB. Únicamente para S2 el método del promedio ponderado obtiene el mejor resultado con un valor SNR de 34'5 dB y un CV menor de 0,5.

b) Error del voltaje pico a pico relativo (EVPPR)

Sujeto 1 (S1):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,22	0,42	0,24	0,24	0,45	0,42
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,10	0,22	0,13	0,24	0,22	0,24
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	0,04	0,13	0,06	0,15	0,14	0,12
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	0,05	0,13	0,08	0,12	0,12	0,15

Tabla 17: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 1 (S1).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,60	0,40	0,48	1,04	0,63	0,41
CV EVPP 50 PAUMs	0,79	0,39	0,60	0,56	0,87	0,51
CV EVPP 75 PAUMs	1,12	0,47	1,29	1,60	0,83	0,60
CV EVPP 100 PAUMs	1,59	0,74	1,37	1,82	1,09	0,90

Tabla 18: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 1 (S1).

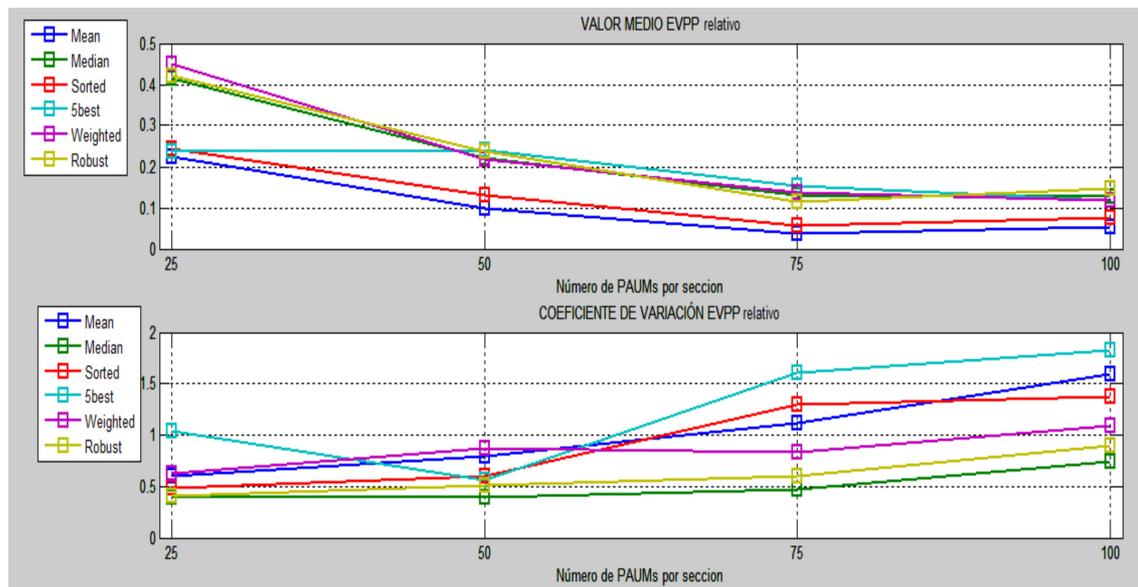


Figura 33: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 1 (S1). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 2 (S2):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,05	0,13	0,08	0,46	0,10	0,12
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,03	0,04	0,02	0,44	0,03	0,06
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	-0,01	0,02	0,00	0,22	0,03	0,02
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	0,01	0,02	0,01	0,24	0,03	0,03

Tabla 19: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 2 (S2).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,53	0,38	0,12	0,16	0,63	0,57
CV EVPP 50 PAUMs	0,52	0,79	0,53	0,38	0,68	0,95
CV EVPP 75 PAUMs	3,05	0,62	6,49	1,05	0,66	1,01
CV EVPP 100 PAUMs	1,04	0,92	1,72	0,91	0,96	0,88

Tabla 20: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 2 (S2).

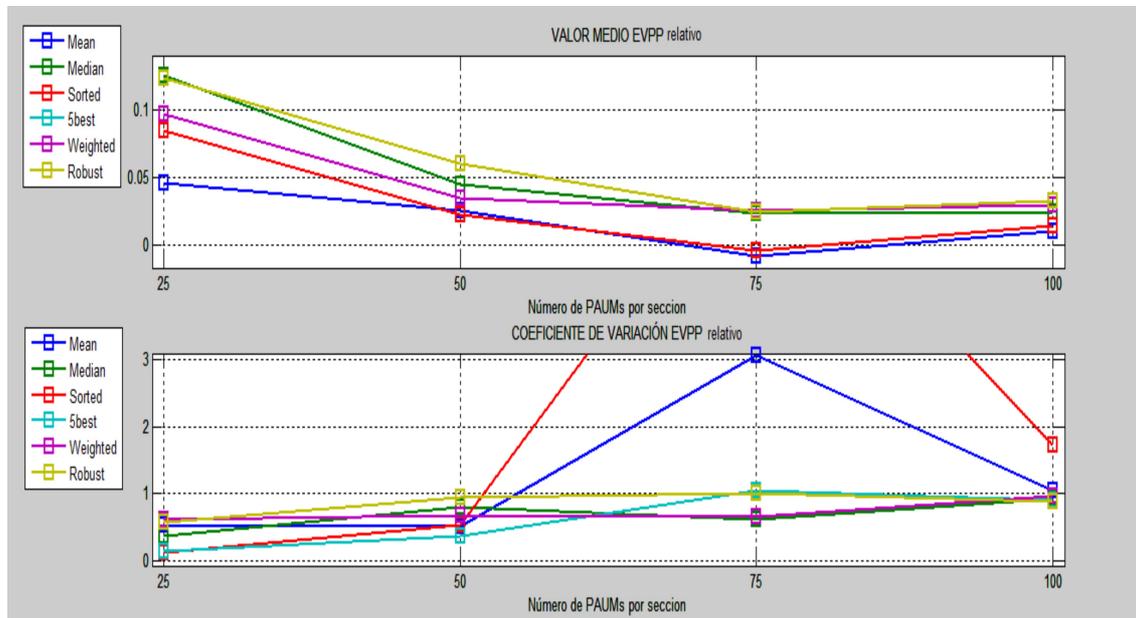


Figura 34: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 2 (S2). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 3 (S3):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,26	0,50	0,56	0,09	0,53	0,57
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,08	0,22	0,11	0,18	0,19	0,27
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	0,05	0,19	0,06	0,10	0,16	0,18
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	0,02	0,12	0,04	0,23	0,08	0,13

Tabla 21: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 3 (S3).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,29	0,30	0,58	2,07	0,25	0,30
CV EVPP 50 PAUMs	0,40	0,41	0,59	1,38	0,50	0,23
CV EVPP 75 PAUMs	1,94	0,62	1,80	2,47	1,35	0,58
CV EVPP 100 PAUMs	2,14	0,73	1,56	0,99	0,74	0,49

Tabla 22: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 3 (S3).

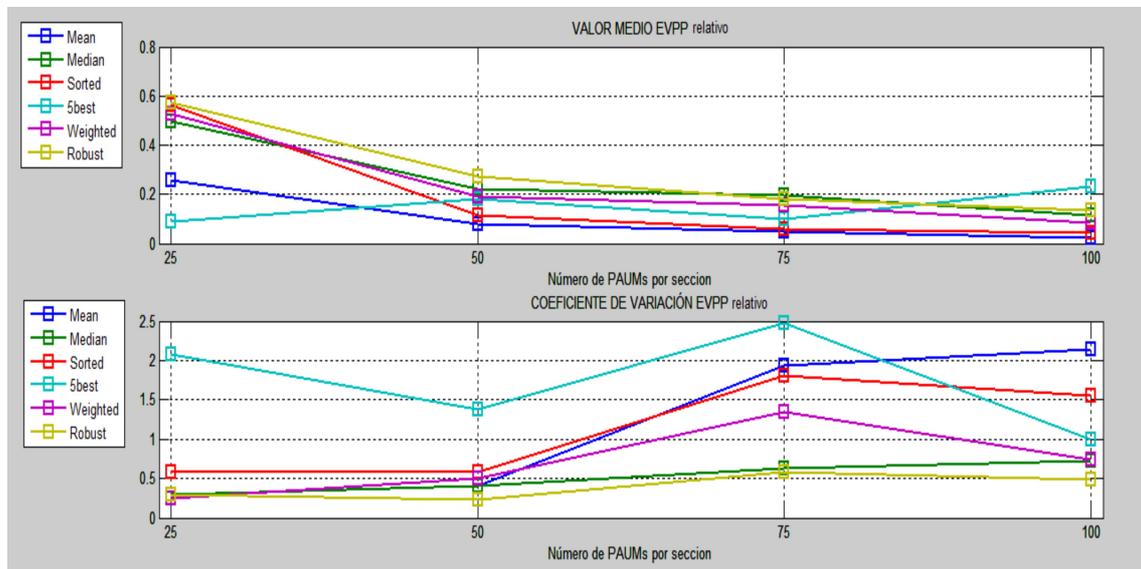


Figura 35: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 3 (S3). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 4 (S4):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,28	0,51	0,35	0,11	0,58	0,57
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,16	0,26	0,21	0,05	0,40	0,30
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	0,09	0,18	0,12	-0,02	0,29	0,20
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	0,08	0,14	0,10	0,06	0,25	0,13

Tabla 23: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 4 (S4).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,08	0,06	0,10	0,46	0,16	0,10
CV EVPP 50 PAUMs	0,07	0,06	0,09	0,36	0,10	0,07
CV EVPP 75 PAUMs	0,06	0,03	0,05	0,36	0,09	0,05
CV EVPP 100 PAUMs	0,06	0,07	0,06	0,38	0,03	0,07

Tabla 22: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 4 (S4).

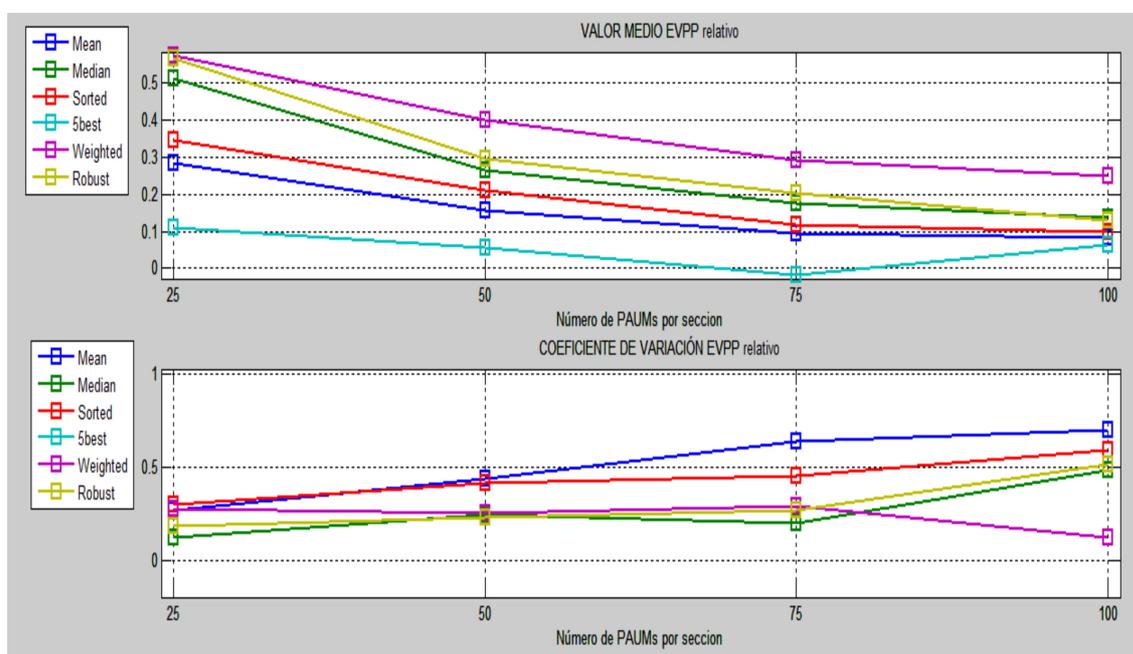


Figura 36: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 4 (S4). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 5 (S5):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,38	0,58	0,51	0,23	0,65	0,57
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,19	0,28	0,24	0,17	0,23	0,32
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	0,06	0,18	0,09	0,06	0,15	0,17
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	0,10	0,13	0,11	0,04	0,11	0,12

Tabla 23: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 5 (S5).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,41	0,52	0,42	1,01	0,27	0,49
CV EVPP 50 PAUMs	0,39	0,72	0,21	1,59	0,47	0,56
CV EVPP 75 PAUMs	0,72	0,65	0,31	4,56	0,63	0,55
CV EVPP 100 PAUMs	0,79	0,86	0,80	8,51	0,81	1,00

Tabla 24: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 5 (S5).

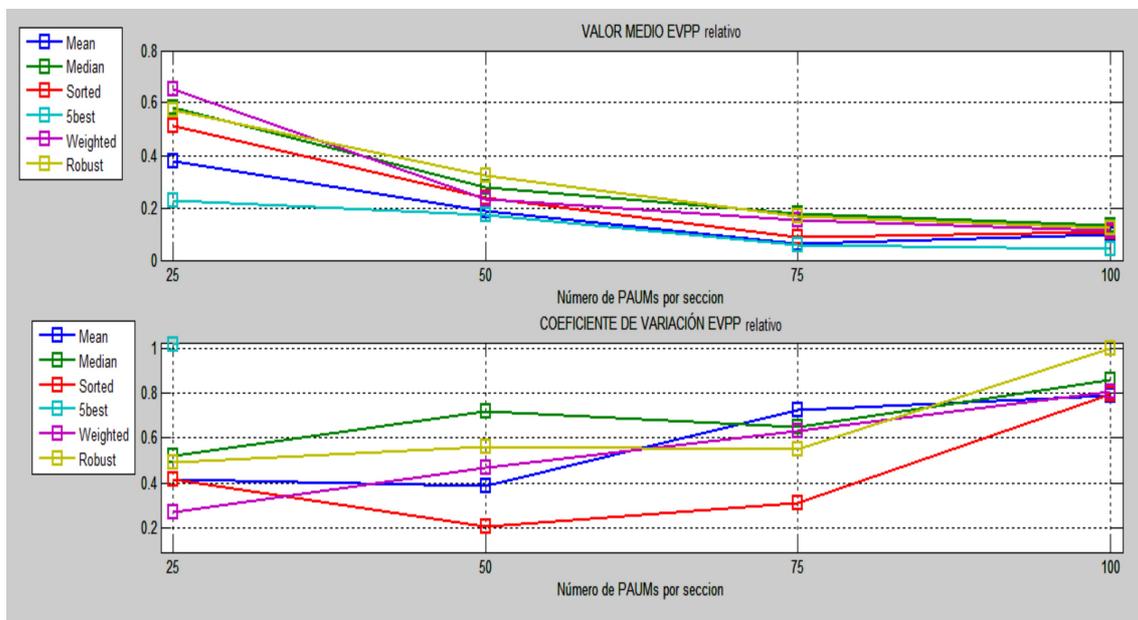


Figura 37: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 5 (S5). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 6 (S6):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,17	0,44	0,35	0,74	0,43	0,58
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,04	0,18	0,12	0,61	0,27	0,30
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	0,04	0,13	0,07	0,51	0,17	0,22
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	-0,01	0,09	0,00	0,43	0,12	0,18

Tabla 25: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 6 (S6).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,47	0,37	0,46	1,21	0,45	0,38
CV EVPP 50 PAUMs	1,65	0,50	0,43	1,19	0,65	0,59
CV EVPP 75 PAUMs	2,24	0,65	0,80	1,50	1,05	0,70
CV EVPP 100 PAUMs	10,33	1,06	64,66	1,33	1,65	0,89

Tabla 26: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 6 (S6).

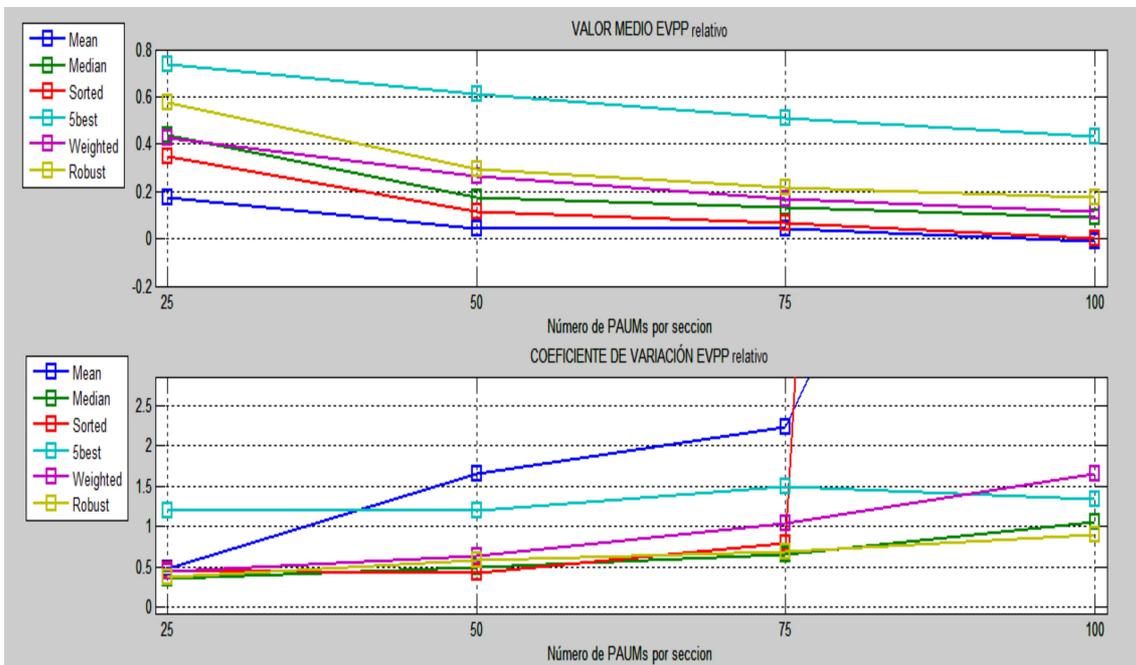


Figura 38: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 6 (S6). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 7 (S7):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,10	0,33	0,13	-0,03	0,32	0,35
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,02	0,17	0,04	-0,03	0,15	0,19
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	0,00	0,11	0,01	-0,04	0,07	0,10
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	-0,02	0,06	-0,02	-0,09	-0,01	0,07

Tabla 27: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 7 (S7).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,38	0,43	0,48	4,84	0,66	0,53
CV EVPP 50 PAUMs	0,86	0,29	1,12	6,24	0,89	0,51
CV EVPP 75 PAUMs	2,65	0,40	1,11	5,23	1,42	0,78
CV EVPP 100 PAUMs	0,79	0,96	1,11	1,85	13,91	0,99

Tabla 28: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 7 (S7).

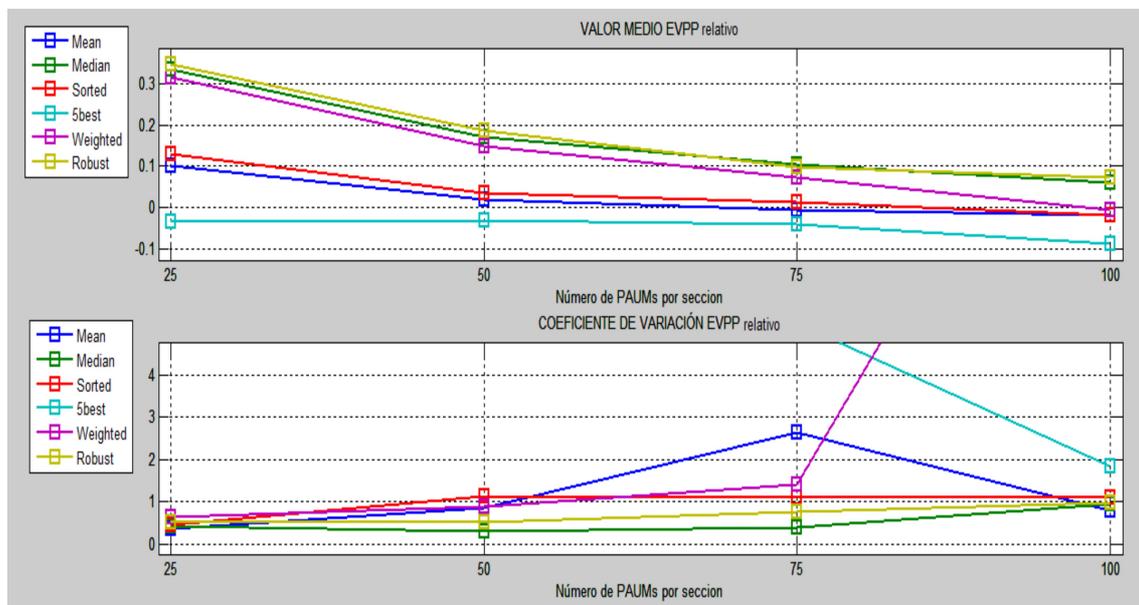


Figura 39: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 7 (S7). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 8 (S8):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO EVPP 25 PAUMs	0,26	0,45	0,30	0,07	0,38	0,48
VALOR MEDIO EVPP 50 PAUMs	0,14	0,26	0,18	-0,02	0,27	0,26
VALOR MEDIO EVPP 75 PAUMs	0,13	0,22	0,14	0,07	0,20	0,21
VALOR MEDIO EVPP 100 PAUMs	0,11	0,18	0,15	0,08	0,19	0,18

Tabla 29: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 8 (S8).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV EVPP 25 PAUMs	0,37	0,24	0,25	3,51	0,46	0,22
CV EVPP 50 PAUMs	0,70	0,34	0,58	17,37	0,59	0,25
CV EVPP 75 PAUMs	0,70	0,44	0,69	5,69	0,77	0,43
CV EVPP 100 PAUMs	0,99	0,42	0,83	3,93	1,02	0,39

Tabla 30: Resultados del CV de los valores medios de los promediados de cada método, para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 8 (S8).

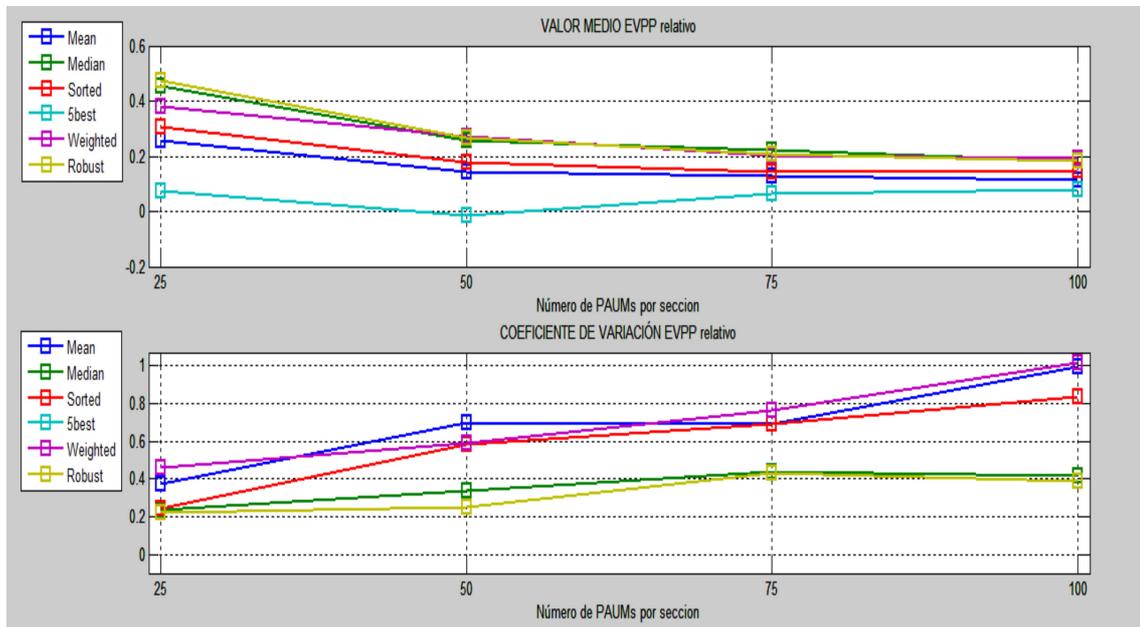


Figura 40: Representación gráfica de los resultados para el parámetro EVPP relativo y el sujeto 8 (S8). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Los resultados del valor medio de EVPPR tienen coherencia, ya que, conforme aumentamos potenciales de acción en las secciones se obtiene menor error.

Como en el caso del parámetro anterior el método del promedio de los cinco potenciales más próximos da malos resultados del valor medio de EVPPR en cuatro de los ocho casos (S1, S2, S3 y S4), dando unos resultados muy favorables en los otros cuatro casos (S5, S6, S7 y S8). Sin embargo, si se observa su CV en estos últimos cuatro casos es muy superior a 1, por tanto, no se pueden dar por válidos estos resultados y el método del promedio de los cinco potenciales más próximos queda descartado como un método válido para este tipo de señales tan distintas entre ellas.

Para este parámetro se puede ver en las tablas y gráficas anteriores que la dispersión de los resultados es alta, ya que, en muchos de los casos el CV es mayor de 0,5, por lo que no se pueden validar los resultados como buenos, como en el caso de S2. En el resto de casos el CV también es alto para las secciones de 100 potenciales, aunque se obtienen los mejores resultados del valor medio de EVPPR para ellas no se pueden dar por válidos debido a su alta dispersión.

En los casos de S1, S7 y S8 el método de la mediana con secciones de 75 potenciales para S1 y S7 y de 100 potenciales para S8, obtiene los mejores resultados con un valor medio de EVPPR entre 0,1 y 0,18 y con un CV menor que 0,5, por tanto, los resultados son válidos.

Solo para el caso de S3 se obtiene el mejor resultado para el método de la media con 50 potenciales por sección y un CV por debajo de 0,5. En este caso el valor medio de EVPPR es de 0,08 algo menor que en el resto de casos.

El resto de los sujetos obtienen los mejores resultados para el método del promedio ordenado con 75 potenciales por sección para S4 y S5 y con 50 potenciales para S6, con un valor medio de EVPPR de 0,1 y un CV menor de 0,5.

c) Error del tiempo de subida (ETS)

Sujeto 1 (S1):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	-1,01	0,59	-2,64	-17,61	2,51	-0,44
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	-1,57	-0,86	-2,85	-15,75	1,99	0,59
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	0,17	-0,21	0,80	-23,24	-0,01	-1,08
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	0,34	-1,48	0,37	-14,14	0,85	-1,09

Tabla 31: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 1 (S1).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	7,56	10,51	7,31	17,76	3,85	10,57
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	4,09	2,16	5,94	22,49	3,42	5,69
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	0,67	2,77	2,27	20,25	3,90	5,62
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	1,34	4,57	1,30	20,38	1,18	3,41

Tabla 32: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 1 (S1).

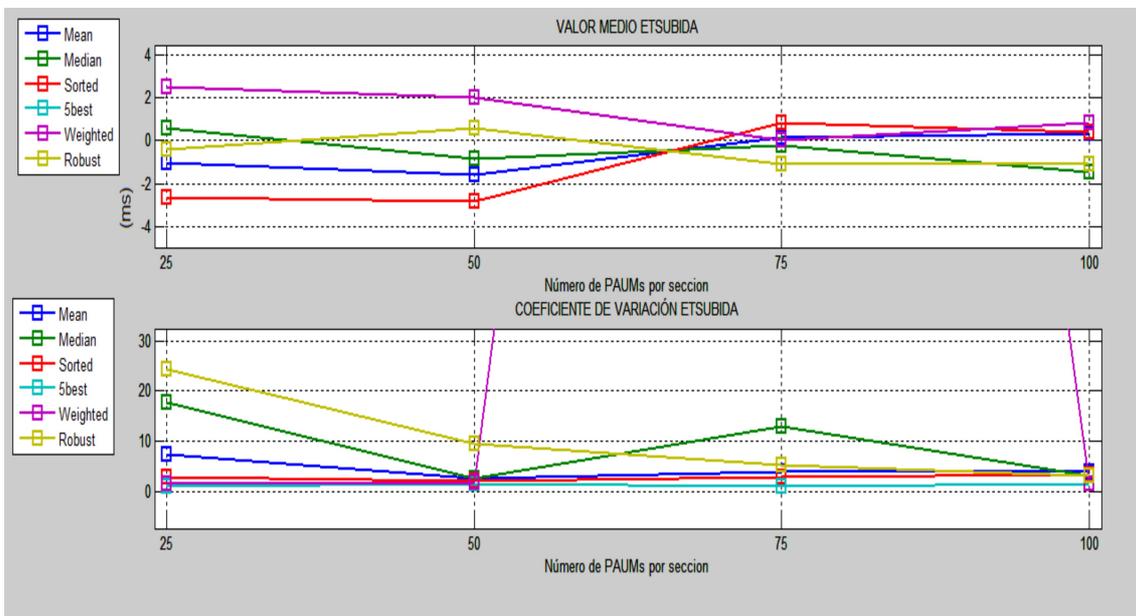


Figura 41: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 1 (S1). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 2 (S2):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	0,80	-0,94	1,78	-5,85	0,24	-1,16
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	0,72	0,86	0,24	-10,43	-2,48	0,86
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	0,03	0,53	-0,01	-6,81	0,77	-0,24
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	0,11	-0,22	0,16	-9,33	-0,08	-0,08

Tabla 33: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 2 (S2).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	1,03	2,94	1,09	1,89	18,36	2,04
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	0,66	1,41	1,00	1,76	2,14	1,22
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	7,55	1,73	10,54	1,59	1,87	5,00
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	1,73	2,84	1,73	0,88	1,73	7,55

Tabla 34: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 2 (S2).

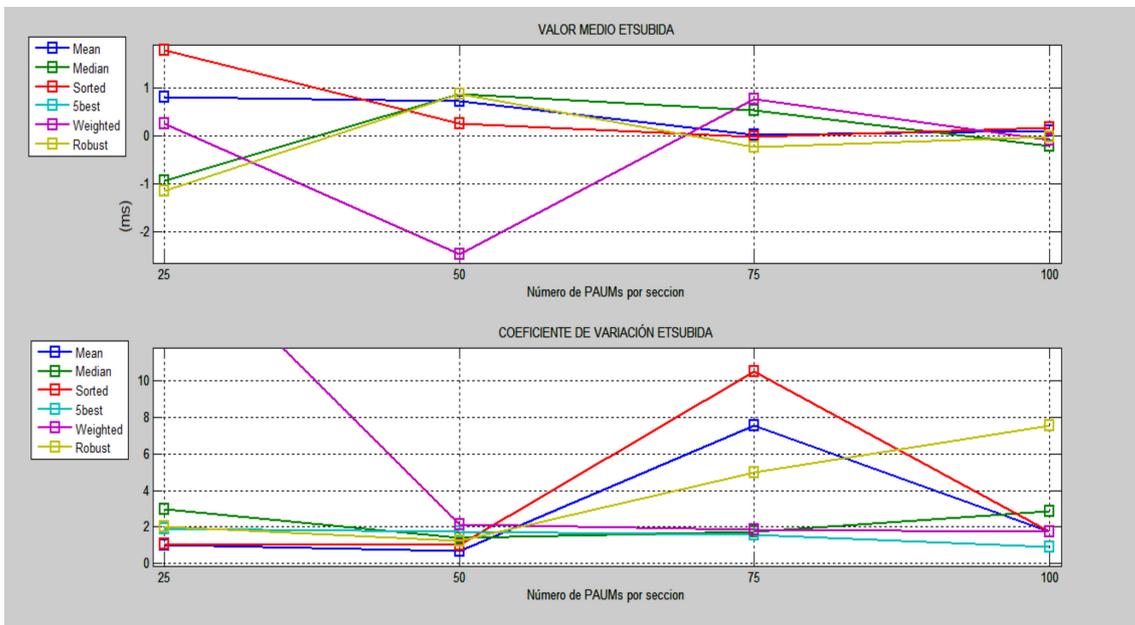


Figura 42: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 2 (S2). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 3 (S3):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	-2,84	-6,90	-8,82	9,82	-3,19	-6,96
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	-2,12	-7,20	-6,15	10,50	-1,54	-2,15
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	-1,94	-2,23	-0,54	2,08	0,00	-2,03
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	-5,18	-1,46	-0,05	2,10	-1,81	-2,54

Tabla 35: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 3 (S3).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	3,69	0,49	0,77	1,48	3,85	1,30
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	3,02	1,83	0,53	1,13	4,11	6,55
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	2,52	4,64	12,02	9,39	Inf	4,69
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	1,28	3,44	19,49	9,74	3,91	2,16

Tabla 36: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 3 (S3).

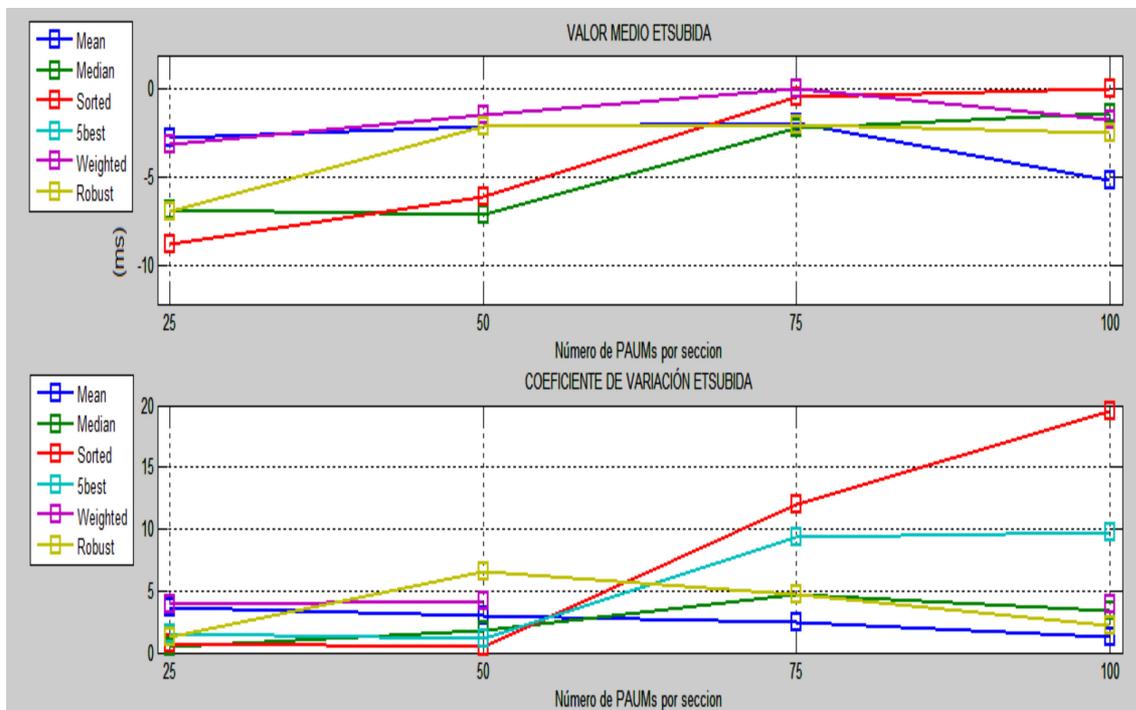


Figura 43: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 3 (S3). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 4 (S4):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	-3,89	-3,52	-5,05	-7,26	-0,58	-5,74
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	3,19	1,29	0,34	-21,06	1,42	-1,69
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	-2,59	-0,95	-0,66	-6,64	0,98	0,42
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	-1,63	-3,94	-0,10	-15,27	1,76	-3,06

Tabla 37: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 4 (S4).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	0,71	1,14	0,73	3,10	9,43	0,70
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	1,11	4,60	16,91	1,23	3,42	1,60
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	1,89	3,52	3,38	2,71	6,38	9,52
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	1,69	1,27	7,51	1,35	1,18	1,66

Tabla 38: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 4 (S4).

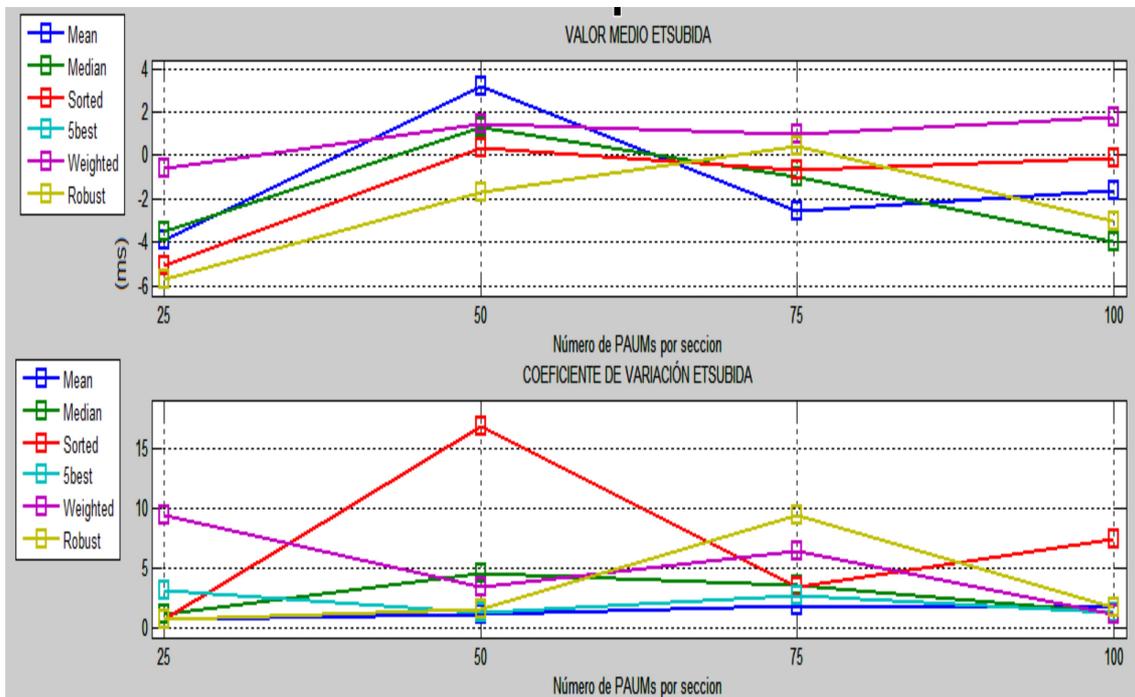


Figura 44: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 4 (S4). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 5 (S5):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	-1,41	-4,91	-6,16	-6,17	-3,11	-7,31
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	-2,56	-0,92	-2,09	6,34	-2,09	-3,13
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	-2,78	2,35	-4,55	-4,03	0,70	-0,43
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	1,87	-1,20	1,36	-23,76	-0,10	2,46

Tabla 39: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 5 (S5).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	3,89	0,76	0,83	1,92	0,29	0,43
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	1,42	2,78	3,52	3,06	2,29	0,71
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	1,07	3,53	1,88	3,46	5,94	19,30
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	2,16	2,21	1,67	0,94	51,76	2,26

Tabla 40: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 5 (S5).

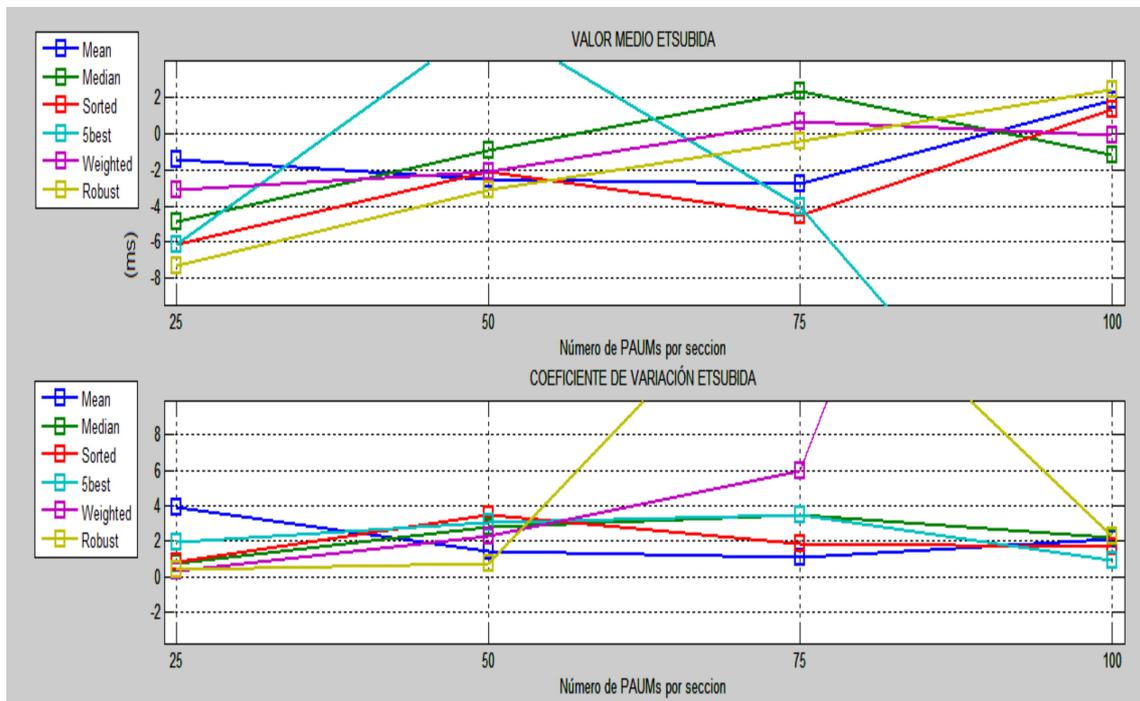


Figura 45: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 5 (S5). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 6 (S6):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	-0,86	-2,24	-2,96	1,65	1,24	-4,62
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	0,43	3,99	-1,38	-0,14	1,75	2,79
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	-0,61	1,19	2,96	-3,20	-1,59	1,28
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	-0,04	0,37	4,07	7,45	-0,08	-2,08

Tabla 41: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 6 (S6).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	4,02	0,82	0,98	11,46	4,06	1,58
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	4,46	1,26	3,41	71,36	1,11	1,14
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	5,57	3,55	0,86	3,33	3,42	1,90
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	3,83	1,79	1,27	1,21	64,03	1,85

Tabla 42: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 6 (S6).

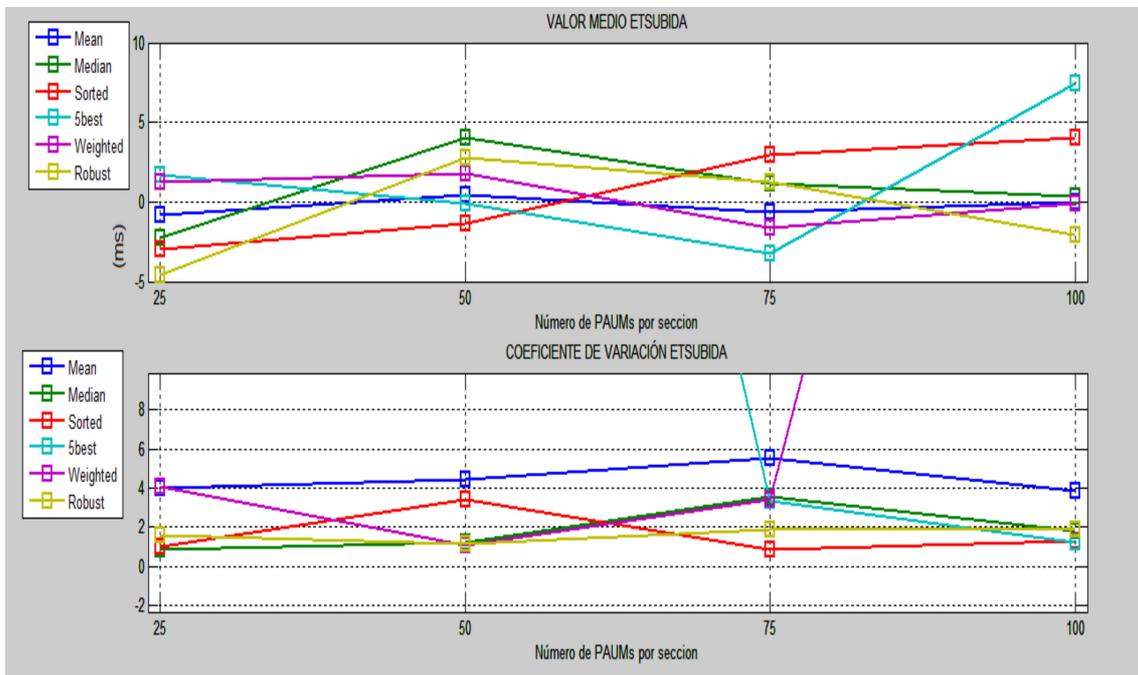


Figura 46: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 6 (S6). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 7 (S7):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	-0,13	-1,17	-4,49	-3,77	-1,20	-1,96
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	-1,09	0,37	-0,96	-1,82	-0,44	0,67
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	0,01	4,98	-1,27	1,82	-0,76	0,43
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	0,02	-1,04	0,49	-6,08	-0,14	1,83

Tabla 43: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 7 (S7).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	0,38	0,43	0,48	4,84	0,66	0,53
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	0,86	0,29	1,12	6,24	0,89	0,51
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	2,65	0,40	1,11	5,23	1,42	0,78
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	0,79	0,96	1,11	1,85	13,91	0,99

Tabla 44: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 7 (S7).

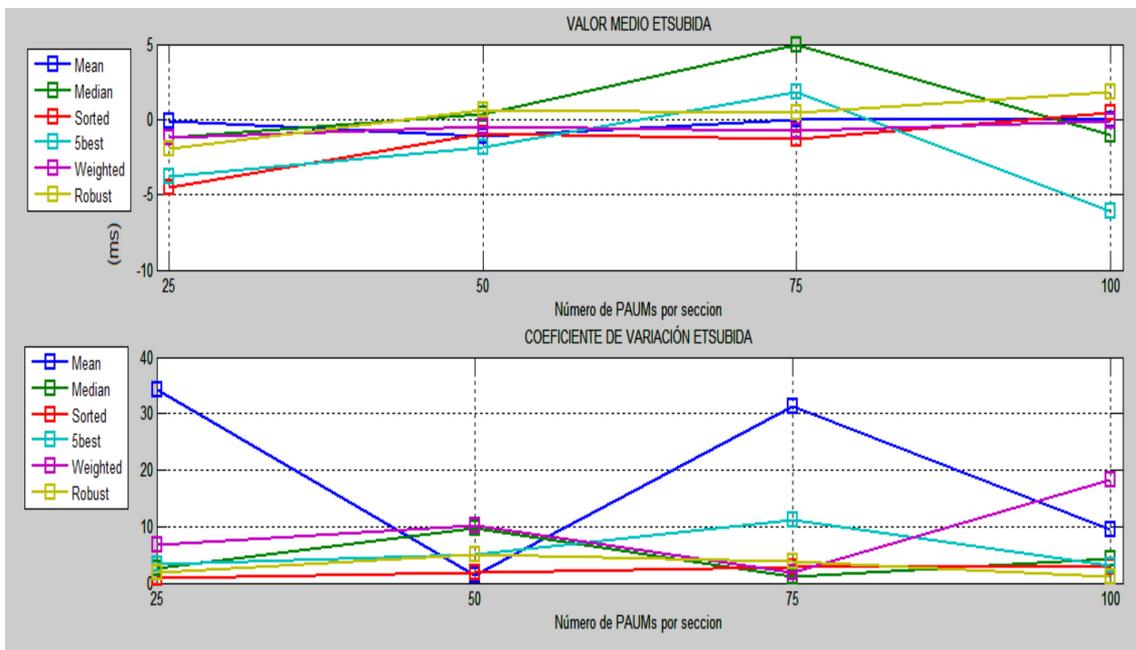


Figura 47: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 7 (S7). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Sujeto 8 (S8):

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
VALOR MEDIO ETSUBIDA 25 PAUMs	-3,91	-3,18	-3,22	9,08	-5,03	-0,49
VALOR MEDIO ETSUBIDA 50 PAUMs	-3,99	-2,67	-4,25	9,68	-2,01	-1,83
VALOR MEDIO ETSUBIDA 75 PAUMs	-3,39	-3,51	-3,39	8,61	-0,46	-2,44
VALOR MEDIO ETSUBIDA 100 PAUMs	-2,56	-3,91	-2,85	15,06	-3,91	-3,91

Tabla 45: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 8 (S8).

	Media	Mediana	P. ordenado	P. 5 mejores	P. ponderado	P. robusto
CV ETSUBIDA 25 PAUMs	0,52	1,73	1,02	1,09	0,58	12,82
CV ETSUBIDA 50 PAUMs	0,56	0,65	0,60	1,45	1,16	1,88
CV ETSUBIDA 75 PAUMs	0,86	0,79	0,80	1,24	9,89	1,26
CV ETSUBIDA 100 PAUMs	1,08	0,82	0,90	0,88	0,91	0,85

Tabla 46: Resultados del valor medio de los promediados de cada método, para el parámetro ETS y el sujeto 8 (S8).

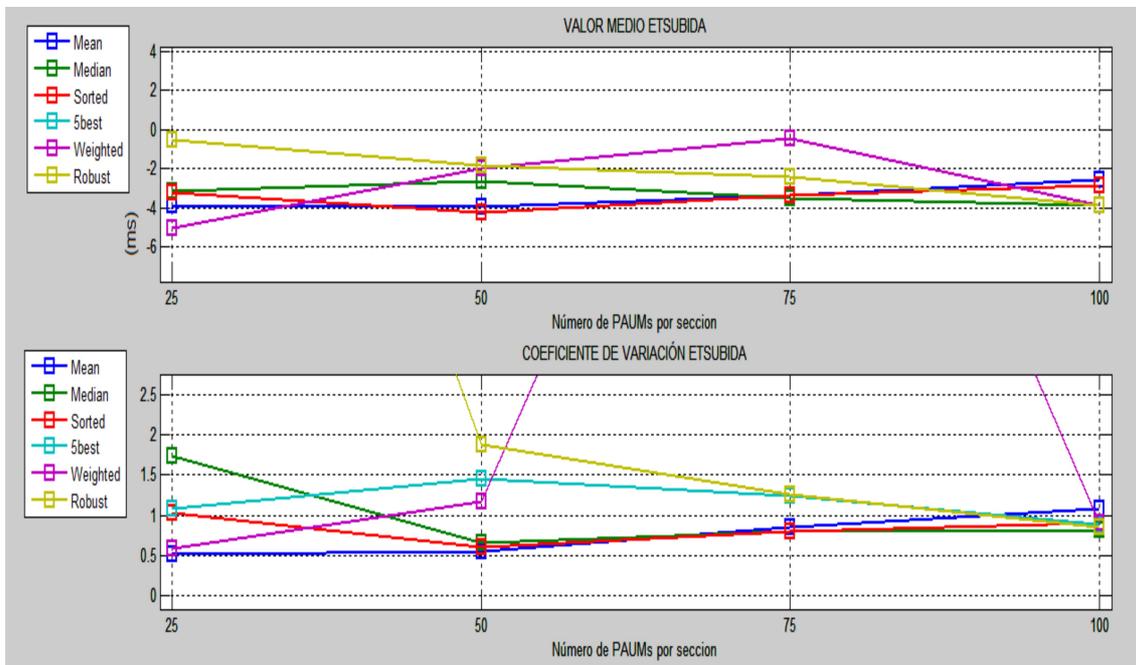


Figura 48: Representación gráfica de los resultados para el parámetro ETS y el sujeto 8 (S8). Arriba Valor medio de los promediados de cada método. Abajo Coeficiente de variación de dichos promedios.

Los resultados de los valores medios de ETS muestran coherencia, por lo general se obtienen menores valores de este parámetro cuanto mayor es el tamaño de las secciones.

En el caso del CV, no podemos clasificar los resultados como buenos, ya que todos superan el 0,5 y en varios casos el 1 lo que indica que la dispersión de estos datos es demasiado alta.

En las tablas y gráficas anteriores se muestran los resultados del valor medio de ETS y su correspondiente CV, se puede ver que los datos tienen alta dispersión, no pudiendo dar validez a los resultados de varios de los sujetos, por tanto, los valores de este parámetro no son significativos para determinar el método de promediado más adecuado en la técnica de “Spike triggered averaging” con señales EMG de superficie.

Sin embargo, en el caso de S3 el método de la mediana nos da un resultado con CV menor de 0,5 aunque con un valor medio de ETS bastante alto en comparación con los resultados de los demás métodos siendo el valor de este -7 ms.

En el caso de S5, el método del promedio robusto, obtiene un resultado con CV menor de 0,5, pero también en este caso el valor medio de ETS es alto con respecto al resto de resultados siendo de nuevo de -7ms.

Por último, para S7 se obtiene un resultado con CV menor de 0,5 y un valor medio de ETS de -0,13ms para el método de la media con 25 potenciales por sección.

3.3.2. Análisis del promedio total para cada parámetro.

Una vez analizados los resultados de cada parámetro para cada sujeto y vista la coherencia de los resultados, obteniendo mejor resultado a medida que aumentan los potenciales por sección y su parecido entre sujetos, se ha decidido promediar los resultados de todos los sujetos y obtener su desviación típica, de manera que los resultados queden englobados en tres gráficas, una para cada parámetro.

a) **Relación señal ruido (SNR).**

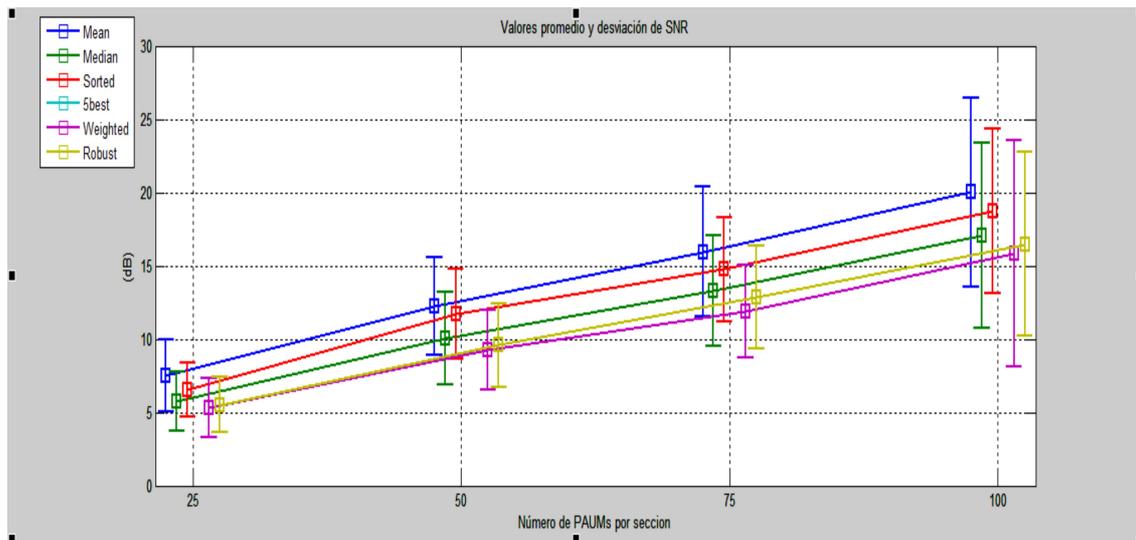


Figura 49: Representación gráfica de los resultados de promedio de todos los sujetos para el parámetro SNR.

En la Figura 49 se ven representados los resultados del promedio de todos los resultados correspondientes a las señales de los ocho sujetos, obteniendo una gráfica global del parámetro SNR, en la cual, vemos la coherencia de los datos aumentado su valor medio de SNR conforme aumentan los potenciales de las secciones.

Los resultados del método de promediado de los cinco más próximos, no se han representado, ya que, como se ha visto en el análisis de cada sujeto por separado, en algunos casos, se obtiene una SNR infinita debido a la coincidencia de los potenciales elegidos en el promedio de sección y los del promedio patrón, por tanto y como sus resultados no son fiables se ha eliminado de esta representación para poder analizar con detalle el resto de métodos.

El mejor método de promediado por tanto según los resultados de este parámetro es el método de la media con una SNR entorno a 20 dB con una desviación alrededor de ± 6 .

b) Error del voltaje pico a pico relativo (EVPPR)

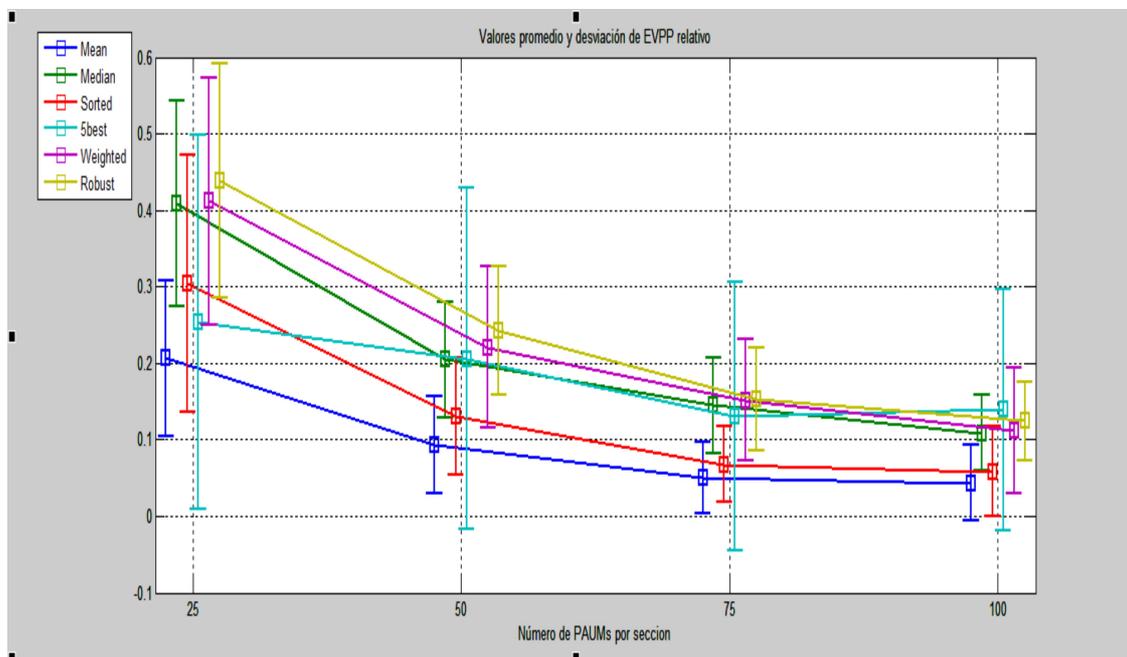


Figura 50: Representación gráfica de los resultados de promedio de todos los sujetos para el parámetro EVPPR.

Los valores medios globales para el parámetro EVPPR, muestran la coherencia del estudio, bajando el valor medio de EVPPR al aumentar los potenciales por sección.

El método del promedio de los cinco potenciales más próximos en este caso sigue la dinámica del resto de métodos, pero con malos resultados y una gran desviación.

El método de la media tiene el menor valor medio de EVPPR seguido del método del promedio ordenado con un error del voltaje pico a pico relativo entorno a 0.05 aunque con una desviación de ± 0.05 .

c) Error del tiempo de subida (ETS)

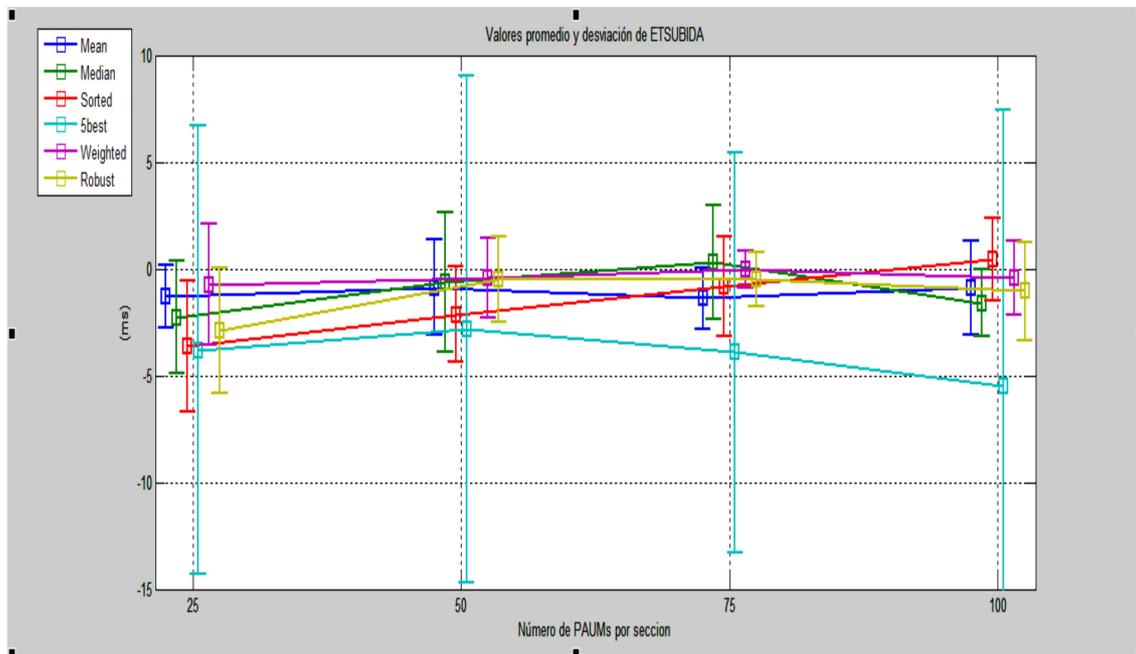


Figura 51: Representación gráfica de los resultados de promedio de todos los sujetos para el parámetro ETS.

En este caso, la coherencia de los resultados no se ve tan clara como en los parámetros anteriores, pero si se observa que a partir de 75 potenciales por sección los resultados están muy cercanos a 0.

En el caso del parámetro ETS, se observa que el promedio de los cinco potenciales más próximos no está tan alejado del resto, pero sus resultados son los peores con la mayor desviación, por tanto este método queda totalmente desechado para el promedio de señales EMG de superficie en la técnica “Spike-triggered-averaging”.

Para este parámetro los resultados globales representados en la Figura 49, muestran, que todos los métodos excepto el promedio de los cinco potenciales más próximos, tienen valores muy cercanos a 0, destacando los métodos del promedio ordenado y el promedio ponderado con un error del tiempo de subida entorno a 0,5 ms con desviación $\pm 1,5$ y $-0,5$ ms con desviación $\pm 1,7$ respectivamente, lo cual indica que para este parámetro la dispersión de los resultados triplica el valor de los mismos, por tanto los datos para este parámetro no son del todo fiables, aunque pueden dar una orientación sobre el comportamiento de los diferentes métodos de promediado.

4. Discusión

Los resultados obtenidos en el apartado 3.3. “Análisis.”, han dejado una idea clara sobre cuales son los métodos de promediado que ofrecen mejor respuesta en la técnica “Spike-triggered averaging” para señales EMG de superficie. En este apartado se discuten los resultados para cada parámetro.

- **SNR**

Para el parámetro SNR se han obtenido los mejores resultados para los métodos de la media y el promedio ordenado, para todos los sujetos y en el promedio global, con 100 PAUMs por sección, teniendo un CV por debajo del 0,5.

El método de la media en este caso da los mejores resultados para todos los sujetos, en la gráfica global de este parámetro también se ha confirmado el mejor resultado para este método un valor medio de SNR entorno a 20 dB y una desviación de ± 6 .

El método del promedio ordenado, obtiene unos resultados muy cercanos al método de la media obteniendo en la gráfica global un valor medio de SNR entorno a 18 dB con una desviación de ± 6 también.

El método del promedio de los cinco potenciales más próximos, obtiene unos resultados óptimos en algunos de los casos, pero con los resultados del conjunto global, vemos que no es fiable, debido a su funcionamiento en este tipo de señales no es un buen método de promediado.

- **EVPPR**

El parámetro error del voltaje pico a pico, nos ha mostrado que el parámetro del promedio ordenado y el método de la media dan los mejores resultados, para casi todos los sujetos y con un CV menor de 0,5 en la mayoría de los casos.

En los resultados globales para este parámetro vemos que los métodos de la media y el promedio ordenado obtienen casi los mismo resultados con la misma desviación, obteniendo la media un resultado algo mejor, con un valor medio de EVPPR de 0,05 y una desviación igual de $\pm 0,05$.

Para este parámetro se vuelven a obtener unos resultados poco fiables del método del promedio de los cinco potenciales más próximos, por tanto en muchas de las gráficas de cada sujeto hemos ignorado sus resultados para poder concretar el los métodos con resultados aceptables.

- **ETS**

En el caso del parámetro error del tiempo de subida, los resultados no han sido fiables debido a la gran dispersión de los datos. En las gráficas de este parámetro de cada sujeto por separado, se ha visto que el coeficiente de variación en pocos casos era menor de 0,5 con lo cual los resultados con un CV mayor no se pueden considerar fiables.

En la gráfica global para este parámetro se ve que los métodos con el resultado más cercano a 0 son el método del promedio ordenado nuevamente, pero en este caso, en vez del método de la media, el del promedio ponderado, con valor medio de ETS entorno a 0,5 ms, pero su desviación es de más de tres veces dicho valor, por tanto, estos resultados no son concluyentes.

En resumen, el método de la media y el promedio ordenado son los métodos con mejores resultados tanto de SNR como de EVPPR, teniendo en cuenta que los resultados del ETS no han sido fiables, estos métodos son los más adecuados para el promedio de señales EMG de superficie en la técnica de “Spike- triggered averaging”, en la Figura 52 se puede observar un ejemplo de los promedios patrón de los dos métodos para una colección del sujeto 2 (S2).

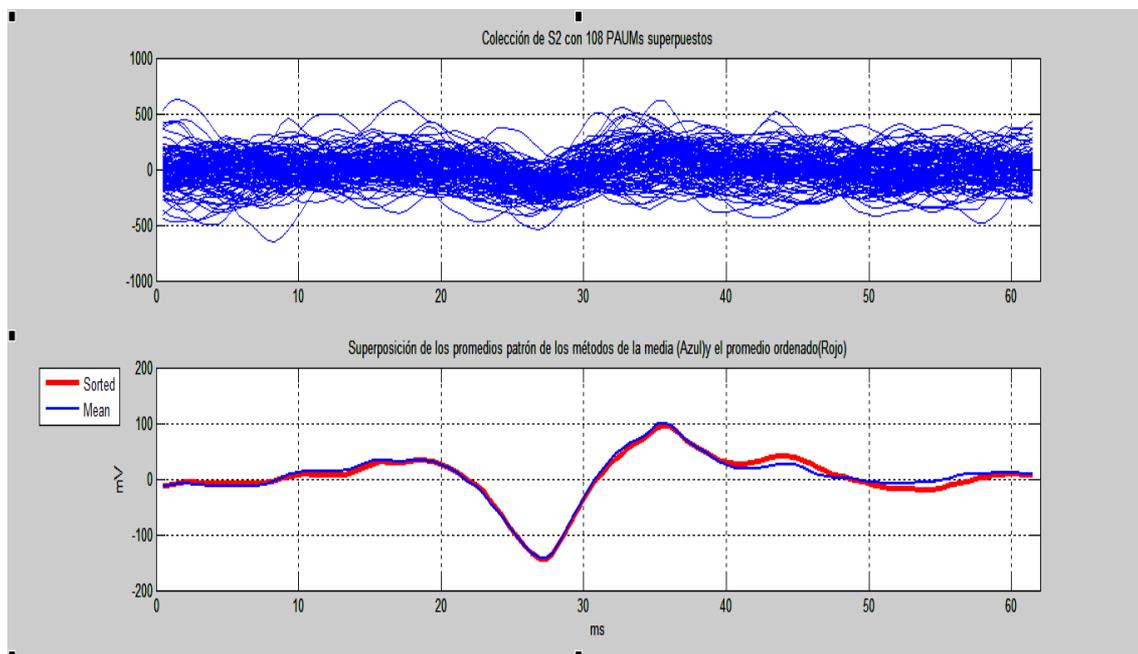


Figura 52: (Arriba) Representación gráfica de una colección de 108 PAUMs de S2. (Abajo) Representación gráfica de los promedios patrón con los métodos de la media (Azul) y el promedio ordenado (Rojo), para dicha colección.

5. Conclusiones y líneas futuras

Conclusiones

- Los resultados son coherentes para los parámetros de SNR y EVPPR, mejorando conforme aumenta el número de PAUMs por sección.
- El método de la media obtiene el mejor resultado final con un valor medio de SNR de 20 dB, con desviación de ± 6 y un valor medio de EVPPR de 0,05, con desviación de $\pm 0,05$.
- El método del promediado ordenado, nos muestra la aleatoriedad del conjunto de PAUMs en una señal EMG de superficie, ya que, el número de PAUMs para hacer el promedio es casi el total de PAUMs de las colecciones, este método es uno de los que mejores resultados obtiene con un valor medio de SNR de 18 dB con desviación ± 6 y un valor medio de EVPPR de 0,05 y una desviación de $\pm 0,05$.
- El método de la mediana, en algunos casos ha sido el único válido, debido a la gran dispersión de los datos de otros métodos, pero no es el que mejores resultados obtiene.
- El método del promediado robusto no da los mejores resultados, debido a que los parámetros de entrada de la función que lo implementan no son específicos para este tipo de señales. Sería necesario un estudio más profundo para optimizar este método.
- El método del promediado de los cinco potenciales más próximos en colecciones de señales muy dispersas, como las utilizadas para este estudio, no da buenos resultados, ya que, al escoger solo cinco potenciales, el promedio pierde demasiada información.
- El parámetro error del tiempo de subida, no ha dado resultados significativos debido a la alta dispersión de los datos obtenidos con todos los métodos de promediado.

Líneas futuras

- Optimización de los parámetros de entrada para la función que implementa el método del promediado robusto para señales EMG de superficie.
- Estudio de técnicas alternativas para el promediado de señales EMG de superficie por ejemplo utilizando wavelets u otras técnicas avanzadas de procesamiento de señal.

6. Referencias

- [1] Carlo J. De Lucas. 'Surface electromyography: Detection and Recording.'. 2002 by DelSys Incorporated.
- [2] L. Gila, A. Malanda, I. Rodríguez Carreño, J. Rodríguez Falces, J. Navallas. 'Electromyographic signal processing and analysis methods'. Anales del sistema sanitario de Navarra vol 32. 27-43 (2009).
- [3] Dario Farina, Lars Arendt-Nielsen, Roberto Merletti, Thomas Graven-Nielsen. 'Assessment of single motor unit conduction velocity during sustained contractions of the tibialis anterior muscle with advanced spike triggered averaging'. Journal of Neuroscience Methods 115. 1–12 (2002).
- [4] D. Farina, L. Arendt-Nielsen, R. Merletti, T. Graven-Nielsen. 'A spike triggered averaging technique for high resolution assessment of single motor unit conduction velocity changes during fatiguing voluntary contractions.'
- [5] Kevin C. McGill, Zoia C. Lateva, Hamid R. Marateb. 'EMGLAB: An interactive EMG decomposition program.'Journal of Neuroscience Methods (2005).
- [6] C.J. de Luca, R.S. Lefever, M.P. McCue and A.P. Xenaki. J.Physiol. 'Behavior of human motor units in defferent muscles during linearly varying contractions'. (1982), 329, pp.113-128.
- [7] Roland Mühler Dr. rer. Nat., Hellmut von Specht Dr. rer. Nat. 'Sorted averaging—principle and application to auditory brainstem responses'. Scand Audiol 1999;28:145–9.
- [8] Torsten Rahne, Hellmut von Specht, Roland Mühler. 'Sorted averaging—application to auditory event-related responses'. Journal of Neuroscience Methods 172 (2008) 74–78.
- [9] M. Hoke, B. Ross, R. Wickesberg And B. Ll Fkenhoner. 'Weighted Averaging – Theory And Application To Electric Response Audiometry'. Electroencephalography and clinical Neurophysiologv, 1984, 57:484-489.
- [10] J. M. Leski and A. Gazek. 'Computationally effective algorithm for robust weighting averaging'. IEEE Trans on Biomedical Engineering, vol. 51, NO 7, July 2004.

Anexos

Anexo 1: Código.

Para el desarrollo de este trabajo de fin de máster se han utilizado varias funciones definidas en Matlab, por ello en este anexo se adjunta el código diferenciado por funciones de todas ellas, para posibles consultas.

1. Función principal (Main.m)

```
%%PROMEDIADO PASO 2: Promedio de resultados de las distintas colecciones
```

```
%%XpaumS para secciones de Ns PAUMS (25, 50, 75 o 100) y por cada sujeto  
%%Limpia todas las variables y cierra todas las figuras que hubiera abiertas  
clear  
close all
```

```
%%Lee la colección de señales del sujeto elegido, en este caso Shin, y saca los datos para la lectura de dichas colecciones.
```

```
sujeto=load('Señales/paumS_Shin_2.mat');% Colección de Señales de Xpaums
```

```
PROMDSNR=[];  
DESVSNR=[];  
PROMDEVpp=[];  
DESVEVpp=[];  
PROMDETSUBIDA=[];  
DESVETSUBIDA=[];  
fs=2.048;%Frecuencia de muestreo del registro de paums en KHz  
sujeto=orderfields(sujeto);%Ordenar las Señales  
signalsnames=fieldnames(sujeto);%nombres de las señales  
Nsig=length(signalsnames);%numero de señales  
%%Saca promedio y desviación de los tres parámetros para las siguientes secciones (25,50,75 o 100)
```

```
%% Bucle que va cambiando el numero de Paums por cada seccion empezando por 25 hasta llegar a 100 de 25 en 25, es decir, 25, 50, 75 y 100.  
for fin=25:25:100  
    fin=fin  
    SNRXmetodoSig=[];  
    EVppXmetodoSig=[];  
    ETSUBIDAXmetodoSig=[];  
    %% Bucle para asignar los valores de cada colección a una variable recorriendo todas las colecciones del sujeto definido en cada caso.  
    for i=1:Nsig  
        i=i  
        signal=signalsnames(i);%señal i  
        signal= cell2mat(signal);%convertimos en matriz  
        XpaumS = getfield(sujeto,signal);%Asignamos la señal a la variable
```

```

    [PromdSNRXmetodo, PromdEVppXmetodo, PromdETSUBIDAXmetodo, SNR,
    SNRlist, ErrorVpp, ErrorTsubida, EVpplist,
    ETsubidalist]=xpaumsmetodo(fin, XpaumS, fs);

    SNRXmetodoSig=[SNRXmetodoSig; PromdSNRXmetodo];
    EVppXmetodoSig=[EVppXmetodoSig; PromdEVppXmetodo];
    ETSUBIDAXmetodoSig=[ETSUBIDAXmetodoSig; PromdETSUBIDAXmetodo];
end

%PROMEDIADO DEL VALOR SNR DE TODAS LAS COLECCIONES DE XPAUMS PARA CADA
%MÈTODO Y N SECCIONES%

    %%%SNR%%
PromdMeanSNR=mean(SNRXmetodoSig(:,1));
DesvMeanSNR=std(SNRXmetodoSig(:,1));
PromdMedianaSNR=mean(SNRXmetodoSig(:,2));
DesvMedianaSNR=std(SNRXmetodoSig(:,2));
PromdSortedSNR=mean(SNRXmetodoSig(:,3));
DesvSortedSNR=std(SNRXmetodoSig(:,3));
Promd5bestSNR=mean(SNRXmetodoSig(:,4));
Desv5bestSNR=std(SNRXmetodoSig(:,4));
PromdWeightedSNR=mean(SNRXmetodoSig(:,5));
DesvWeightedSNR=std(SNRXmetodoSig(:,5));
PromdRobustSNR=mean(SNRXmetodoSig(:,6));
DesvRobustSNR=std(SNRXmetodoSig(:,6));
PromdSNRX=[PromdMeanSNR, PromdMedianaSNR, PromdSortedSNR, Promd5bestSNR, P
romdWeightedSNR, PromdRobustSNR];
DesvSNRX=[DesvMeanSNR, DesvMedianaSNR, DesvSortedSNR, Desv5bestSNR, DesvWe
ightedSNR, DesvRobustSNR];

    %Concatenación en matrices finales%
PROMDSNR=[PROMDSNR; PromdSNRX];
DESVSNR=[DESVSNR; DesvSNRX];

%PROMEDIADO DE LOS VALORES EVPP DE TODAS LAS COLECCIONES DE XPAUMS
PARA CADA
%MÈTODO Y N SECCIONES%

    %%%EVPP%%
PromdMeanEVpp=mean(EVppXmetodoSig(:,1));
DesvMeanEVpp=std(EVppXmetodoSig(:,1));
PromdMedianaEVpp=mean(EVppXmetodoSig(:,2));
DesvMedianaEVpp=std(EVppXmetodoSig(:,2));
PromdSortedEVpp=mean(EVppXmetodoSig(:,3));
DesvSortedEVpp=std(EVppXmetodoSig(:,3));
Promd5bestEVpp=mean(EVppXmetodoSig(:,4));
Desv5bestEVpp=std(EVppXmetodoSig(:,4));
PromdWeightedEVpp=mean(EVppXmetodoSig(:,5));
DesvWeightedEVpp=std(EVppXmetodoSig(:,5));
PromdRobustEVpp=mean(EVppXmetodoSig(:,6));
DesvRobustEVpp=std(EVppXmetodoSig(:,6));
PromdEVppX=[PromdMeanEVpp, PromdMedianaEVpp, PromdSortedEVpp, Promd5bestE
Vpp, PromdWeightedEVpp, PromdRobustEVpp];
DesvEVppX=[DesvMeanEVpp, DesvMedianaEVpp, DesvSortedEVpp, Desv5bestEVpp, D
esvWeightedEVpp, DesvRobustEVpp];

    %Concatenación en matrices finales%
PROMDEVpp=[PROMDEVpp; PromdEVppX];
DESVEVpp=[DESVEVpp; DesvEVppX];

```

```
%PROMEDIADO DE ETSUBIDA DE TODAS LAS COLECCIONES DE XPAUMS PARA CADA
%MÉTODO Y N SECCIONES%
```

```
    %%%ETSUBIDA%%
PromdMeanETSUBIDA=mean(ETSUBIDAXmetodoSig(:,1));
DesvMeanETSUBIDA=std(ETSUBIDAXmetodoSig(:,1));
PromdMedianaETSUBIDA=mean(ETSUBIDAXmetodoSig(:,2));
DesvMedianaETSUBIDA=std(ETSUBIDAXmetodoSig(:,2));
PromdSortedETSUBIDA=mean(ETSUBIDAXmetodoSig(:,3));
DesvSortedETSUBIDA=std(ETSUBIDAXmetodoSig(:,3));
Promd5bestETSUBIDA=mean(ETSUBIDAXmetodoSig(:,4));
Desv5bestETSUBIDA=std(ETSUBIDAXmetodoSig(:,4));
PromdWeightedETSUBIDA=mean(ETSUBIDAXmetodoSig(:,5));
DesvWeightedETSUBIDA=std(ETSUBIDAXmetodoSig(:,5));
PromdRobustETSUBIDA=mean(ETSUBIDAXmetodoSig(:,6));
DesvRobustETSUBIDA=std(ETSUBIDAXmetodoSig(:,6));
PromdETSUBIDAX=[PromdMeanETSUBIDA, PromdMedianaETSUBIDA, PromdSortedETSU
BIDA, Promd5bestETSUBIDA, PromdWeightedETSUBIDA, PromdRobustETSUBIDA];
DesvETSUBIDAX=[DesvMeanETSUBIDA, DesvMedianaETSUBIDA, DesvSortedETSUBIDA
, Desv5bestETSUBIDA, DesvWeightedETSUBIDA, DesvRobustETSUBIDA];

    %Concatenación en matrices finales%
PROMDETSUBIDA=[PROMDETSUBIDA; PromdETSUBIDAX];
DESVETSUBIDA=[DESVETSUBIDA; DesvETSUBIDAX];
```

```
end
```

```
%REPRESENTACION DE LOS DATOS OBTENIDOS PARA CADA PARAMETRO%
```

```
    %SNR%
figure
errorbar(PROMDSNR, DESVSNR, 'LineWidth', 2, ...
         'MarkerEdgeColor', 'k', ...
         'MarkerFaceColor', 'k', ...
         'MarkerSize', 5), grid, title('SNR')
legend('Mean', 'Median', 'Sorted', '5best', 'Weighted', 'Robust');
```

```
    %EVPP%
figure
errorbar(PROMDEVpp, DESVEVpp, 'LineWidth', 2, ...
         'MarkerEdgeColor', 'k', ...
         'MarkerFaceColor', 'k', ...
         'MarkerSize', 5), grid, title('EVpp')
legend('Mean', 'Median', 'Sorted', '5best', 'Weighted', 'Robust');
```

```
    %ETSUBIDA%
figure
errorbar(PROMDETSUBIDA, DESVETSUBIDA, 'LineWidth', 2, ...
         'MarkerEdgeColor', 'k', ...
         'MarkerFaceColor', 'k', ...
         'MarkerSize', 5), grid, title('ETSUBIDA')
legend('Mean', 'Median', 'Sorted', '5best', 'Weighted', 'Robust');
```

2. Función del promediado de las secciones “xpaumsmetodo.m”

```
%%FUNCIÓN PASO 1: Obtener promedio de todas las secciones de Ns
Paums
%%para cada método por colección XpaumS de un sujeto%%
function [PromdSNRXmetodo, PromdEVppXmetodo, PromdETSUBIDAXmetodo, SNR,
SNRlist, ErrorVpp, ErrorTsubida, Evpplist, Etsubidalist]=xpaumsmetodo(fin,
XpaumS, fs, i);

    %Declaración de variables%
    SNRlist=[];
    EVpplist=[];
    ETsubidalist=[];
    [M,N]=size(XpaumS);

%Para Colecciones de paums de mas de 300 paums cogemos solo los 300
primeros. Así tenemos un mínimo de 100 paums y un máximo de 300, y el
peso de las señales a la hora del estudio comparativo no es tan
distante.
    if N>300
        N=300;
    end

    %Se asignan las señales para el orden y control de paums%
    ini=1; %Variable para Paum de inicio de seccion
    Ns=fin-ini;%Variable NPaums x seccion
    finN=floor(N/fin);%Numero de secciones

    %Lazo para recorrer cada sección de Ns paums.
    for i=1:finN
        %Llamamos a la función “comparativa.m”
        [SNR, ErrorVpp, ErrorTsubida]=comparativa(XpaumS, Ns, ini, fin, fs, M, N, i);

        %Matriz de valores SNR para x secciones, y métodos
        SNRlist=[SNRlist, SNR];

        %Matriz de valores EVPP de x secciones, y métodos
        EVpplist=[EVpplist, ErrorVpp];

        %Matriz de valores ETSUBIDA de x secciones, y métodos
        ETsubidalist=[ETsubidalist, ErrorTsubida];

        ini=ini+Ns+1;
        fin=ini+Ns;
    end

end

%PROMEDIADO DEL VALOR SNR DE X SECCIONES PARA CADA MÉTODO%
PromdMeanNSeccion=mean(SNRlist(1,:));
PromdMediananSeccion=mean(SNRlist(2,:));
PromdSortedSeccion=mean(SNRlist(3,:));
Promd5bestSeccion=mean(SNRlist(4,:));
PromdWeightedSeccion=mean(SNRlist(5,:));
PromdRobustSeccion=mean(SNRlist(6,:));
PromdSNRXmetodo=[PromdMeanNSeccion, PromdMediananSeccion,
PromdSortedSeccion, Promd5bestSeccion, PromdWeightedSeccion,
PromdRobustSeccion];
```

```

%PROMEDIADO DE LOS VALORES EVPP DE LAS X SECCIONES PARA CADA MÈTODO%
PromdMeanNSeccion=mean(EVpplist(1,:));
PromdMediananSeccion=mean(EVpplist(2,:));
PromdSortedSeccion=mean(EVpplist(3,:));
Promd5bestSeccion=mean(EVpplist(4,:));
PromdWeightedSeccion=mean(EVpplist(5,:));
PromdRobustSeccion=mean(EVpplist(6,:));
PromdEVppXmetodo=[PromdMeanNSeccion,PromdMediananSeccion,
PromdSortedSeccion,Promd5bestSeccion,PromdWeightedSeccion,
PromdRobustSeccion];

%PROMEDIADO DE ETSUBIDA DE CON SECCIONES DE NS PAUMS PARA CADA MÈTODO%
PromdMeanNSeccion=mean(ETsubidalist(1,:));
PromdMediananSeccion=mean(ETsubidalist(2,:));
PromdSortedSeccion=mean(ETsubidalist(3,:));
Promd5bestSeccion=mean(ETsubidalist(4,:));
PromdWeightedSeccion=mean(ETsubidalist(5,:));
PromdRobustSeccion=mean(ETsubidalist(6,:));
PromdETSUBIDAXmetodo=[PromdMeanNSeccion,PromdMediananSeccion,
PromdSortedSeccion,Promd5bestSeccion,PromdWeightedSeccion,
PromdRobustSeccion];

end

```

3. Función para el calculo de los promedios de cada método en cada sección “comparativa.m”

%%Función para el cálculo de promedios con cada método y para cada sección%%

function

```

[SNRCOMP,ErrorVppComp,ErrorTsubidaComp]=comparativa(XpaumS,Ns,
ini,fin,fs,M,N,i);
%Definición de variables.
XpaumSt=XpaumS';
Xpaum_Ns=[];
SNRCOMP=[];
ErrorVppComp=[];
ErrorTsubidaComp=[];
ErrorVpp=0;
ErrorTsubida=0;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Definición Xpaum_Ns variable parcial con Ns señales.
Xpaum_Ns=XpaumSt(ini:fin,:);

%%Average (media)%%
%%1° Media global vs Media de cada X señales.%%>
%%MEDIA GLOBAL%%
Mediaglobal=mean(XpaumSt);
%%MEDIA CADA X SEÑALES%%
Media= mean(Xpaum_Ns);

%%2° SNR%%
[SNRMedia]=SNR(Media,Mediaglobal);

%%3° ErrorVpp %% & %%4° ErrorTsubida %%
[ErrorVpp,ErrorTsubida]=parametros(Mediaglobal,Media,fs);

```

```

%%Concatenación de parametros en vectores %%
SNRCOMP =[SNRCOMP; SNRMedia];
ErrorVppComp=[ErrorVppComp; ErrorVpp];
ErrorTsubidaComp=[ErrorTsubidaComp; ErrorTsubida];

%%Median (mediana)%%
%%1° Mediana global vs Mediana de cada X señales.%%
%%MEDIANA GLOBAL%%
Medianaglobal=median(XpaumSt);
%%MEDIANA CADA X SEÑALES%%
Mediana= median(Xpaum_Ns);

%%2° SNR%%
[SNRMediana]=SNR (Mediana,Medianaglobal);

%%3° ErrorVpp %% & %%4° ErrorTsubida %%
[ErrorVpp,ErrorTsubida]=parametros (Medianaglobal,Mediana,fs);

%%Concatenación de parámetros en vectores %%
SNRCOMP =[SNRCOMP; SNRMediana];
ErrorVppComp=[ErrorVppComp; ErrorVpp];
ErrorTsubidaComp=[ErrorTsubidaComp; ErrorTsubida];

%%Sorted average%%
%%1° Sorted global vs Sorted de cada X señales.%%
%%SORTED GLOBAL%%
[X_best_global,indices_selec,Sortedglobal]= Sorted(XpaumS,1,M-1);
%%SORTED CADA X SEÑALES%%
[X_best,indices_selec,sorted]= Sorted(Xpaum_Ns',1,M-1);

%%2° SNR%%
[SNRSorted]=SNR (sorted,Sortedglobal);

%%3° ErrorVpp %% & %%4° ErrorTsubida %%
[ErrorVpp,ErrorTsubida]=parametros (Sortedglobal,sorted,fs);

%%Concatenación de parametros en vectores %%
SNRCOMP =[SNRCOMP; SNRSorted];
ErrorVppComp=[ErrorVppComp; ErrorVpp];
ErrorTsubidaComp=[ErrorTsubidaComp; ErrorTsubida];

%%5-best%%
%%1° 5best global vs 5best de cada X señales.%%
[X_best_global5,indices_selec,bestglobal]= five_best (XpaumS,1,M-1);
%%5best CADA X SEÑALES%%
[X_best5,indices_selec,best]= five_best (Xpaum_Ns',1,M-1);

%%2° SNR%%
[SNR5best]=SNR (best,bestglobal);

%%3° ErrorVpp %% & %%4° ErrorTsubida %%
[ErrorVpp,ErrorTsubida]=parametros (bestglobal,best,fs);

%%Concatenación de parametros en vectores %%
SNRCOMP =[SNRCOMP; SNR5best];

```

```

ErrorVppComp=[ErrorVppComp; ErrorVpp];
ErrorTsubidaComp=[ErrorTsubidaComp; ErrorTsubida];

%%Weighted averaging%%
%%1° Weighted global vs Weighted de cada X señales.%%
%%WEIGHTED GLOBAL%%
L=floor(M/10);
Weightedglobal=weighted_avg_muap(XpaumS,L,L);
%%WEIGHTED CADA X SEÑALES%%
Weighted=weighted_avg_muap(Xpaum_Ns',L,L);

%%2° SNR%%
[SNRWeighted]=SNR(Weighted',Weightedglobal');
%%3° ErrorVpp %% & %%4° ErrorTsubida %%
[ErrorVpp,ErrorTsubida]=parametros(Weightedglobal,Weighted,fs);

%%Concatenación de parametros en vectores %%
SNRCOMP =[SNRCOMP; SNRWeighted];
ErrorVppComp=[ErrorVppComp; ErrorVpp];
ErrorTsubidaComp=[ErrorTsubidaComp; ErrorTsubida];

%%Robust averaging%%
%%1° Robust global vs Robust de cada X señales.%%
beta=1.0E-4;
kappa=1.0E-6;
psi=5.0E-5;
kmax=100;
m=50;
v_inic=Weightedglobal;
%%Robust GLOBAL%%
[RobustGlobal,w] =
robust_averaging(XpaumS,v_inic,beta,kappa,psi,m,kmax);
%%Robust CADA X SEÑALES%%
[Robust,w] =
robust_averaging(Xpaum_Ns',v_inic,beta,kappa,psi,m,kmax);

%%2° SNR%%
[SNRRobust]=SNR(Robust',RobustGlobal');
%%3° ErrorVpp %% & %%4° ErrorTsubida %%
[ErrorVpp,ErrorTsubida]=parametros(RobustGlobal,Robust,fs);

%%Concatenación de parametros en vectores %%
SNRCOMP =[SNRCOMP; SNRRobust];
ErrorVppComp=[ErrorVppComp; ErrorVpp];
ErrorTsubidaComp=[ErrorTsubidaComp; ErrorTsubida];

```

end

4. Función para el cálculo de la SNR “SNR.m”

```

function [SNR]=SNR(X,Xglobal)
N=length(X);
pot_s=sum((X.^2))/N;
pot_r=(sum((Xglobal-X).^2))/N;
SNR=10*log(pot_s/pot_r);

```

end

5. Función para el cálculo de EVPPR y ETS “parametros.m”

```
function [ErrorVpp,ErrorTsubida]=parametros(Xglobal,X,fs)

%%EVPPR%%
Vppglobal=abs(min(Xglobal))+max(Xglobal);
VppX=abs(min(X))+max(X);
ErrorVpp=(VppX-Vppglobal)/Vppglobal;

%%ETS%%
[sgmax,tgmax]=max(Xglobal);
[sgmin,tgmin]=min(Xglobal);
[smax,tmax]=max(X);
[smin,tmin]=min(X);
tglobal=tgmax-tgmin;
t=tmax-tmin;
ErrorTsubida=(t-tglobal)/fs;

end
```

6. Función para el cálculo del promediado ordenado “Sorted.m”

```
function [X_best,indices_selec,y_curve]= Sorted(X,X_ini,X_fin)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%   ALGO_JAVIER2
%   (Javier Navallas, ISEK 2006, Turin)
%
%   Función que obtiene un potencial representante a partir de un
conjunto
%   de potenciales. Para ello se ordenan de forma iterativa las
descargas
%   según una métrica de similitud, atendiendo a la distancia euclídea
de
%   cada descarga a la señal promedio. Se define el índice de
perturbación
%   (ip) como la media temporal de las desviaciones estándar de las
distintas
%   descargas en cada muestra, y el índice de perturbación normalizado
%   (ipm) como el índice anterior dividido por la raíz cuadrada del
número de
%   descargas. Para calcular el ipm se toman las i primeras descargas
de la
%   lista de descargas ordenadas. Tendremos que ipm es función del
número de
%   descargas elegidas ipm=ipm(i). Se busca entonces el valor de i que
hace
%   mínima a esta función (i_best). Así se eligen las i_best
potenciales
%   más próximos y de ellos se extrae el potencial promedio.
%
%   Salida:
%   * X_best: subconjunto de los i_best potenciales más próximos.
%   * indices_selec: indices para indicar el subconjunto de las
señals
%                   seleccionadas.
%   * y_curve: potencial promedio de los potenciales X_best.
%
%   Entrada:
```

```

% * X: [n_muestras,n_señales] matriz de descargas originales.
% * X_ini: muestra de inicio del PAUM.
% * X_fin: muestra de final del PAUM.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[n,d]=size(X);
if nargin<2
    X_ini=1;
    X_fin=n;
end
ind_ord=ordenacion_iterativa_distancia_euclidea(X,X_ini,X_fin);
X_lot= X(:,ind_ord(1)); % La primera de las descargas ordenadas
for i=2:d
    x_i=X(:,ind_ord(i));%La i-ésima de las descargas ordenadas
    X_lot= [X_lot,x_i]; % Conjunto de las i primeras descargas
ordenadas
    pert_ind= mean(std(X_lot'));% índice de perturbación
    pert_ind_norm(i-1)= pert_ind/sqrt(i);% índice de
perturbación normalizado
end

[s,pos_min]= min(pert_ind_norm);
indices_selec= ind_ord(1:pos_min);
num_sig_selec= length(indices_selec);
X_best= X(:,indices_selec);
y_curve= mean(X_best,2);

```

7. Función para el cálculo del promediado ponderado “weighted_avg_muap.m”

```

function Y=weighted_avg_muap(X,L1,L2)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
% Weighted averaging_muap
% Promedio ponderado del conjunto de vectores filas dado en X. La
varianza
% promedio del ruido se toma de las L1 muestras iniciales y L2
muestras
% finales de X.
% X: vectores fila de entrada
% L1,L2: longitud de la parte del primer y tercer tramos de los paums
para
% extraer la potencia
% Y: vector promediado de salida
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

[L,N]= size(X);
X1= X(1:L1,:);
X2= X(L-L2+1:L,:);
Sigma= std([X1;X2],0,1);
Sigma_2_inv= sum(Sigma.^(-2));
W= Sigma.^(-2)/Sigma_2_inv;
Y= X*W';

```

8. Función para el cálculo del promediado robusto “robust_averaging.m”

```

function [v,w] = robust_averaging(X,v_inic,beta,kappa,psi,m,kmax)

%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%
% ROBUST AVERAGING
% A representative potential of the potential set X is extracted
using
% the robust averaging method described in [1].
%
% X: set of input potentials (LxN)
% v_inic: initial guess for the solution vector (Lx1)
%
% v: output averaged potential (Lx1)
% w: vector of weights used to build the output potential (Nx1)
%
% [1] J. M. Leski and A. Gazek. 'Computationally effective algorithm
for
% robust weighting averaging'. IEEE Trans on Biomedical
Engineering,
% vol. 51, NO 7, July 2004.
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%%

[L,N]= size(X);
v= v_inic;
epsilon= zeros(L,1);
w= zeros(N,1);
res_w= [];
k= 0;
fin= 0;
while ~fin
    k= k+1;
    w_ant= w;
    auxi= zeros(1,N);
    for s=1: N;
        auxi(s)= dist_robust(X(:,s),v,epsilon)^(1/(1-m));
    end
    Den_wi= sum(auxi);
    for i=1: N
        Num_wi= dist_robust(X(:,i),v,epsilon)^(1/(1-m));
        w(i)= Num_wi/ Den_wi;
    end
    for j= 1: L
        v(j)= ILP2(X(j,:) ',w,beta,epsilon(j),kappa,m);
        epsilon(j)= epsilon_update(X(j,:),v(j),w);
    end
    res_w(k)= (w-w_ant)'*(w-w_ant);
    if (res_w(k) < psi) || k >= kmax
        fin= 1;
    end
end
end

```