

8.- Experimento definitivo

Después de procesar los datos del experimento anterior, presentar los resultados y obtener las conclusiones pertinentes, llevamos a cabo otro experimento, realizado por Carlos Escolano y Mauricio Antelis, y en el que yo mismo participo como usuario del sistema, el 1 de Octubre de 2009.

Esta vez el objetivo es conseguir un conjunto de datos que sirva para implementar el grueso del proyecto, y comprobar definitivamente todas nuestras hipótesis. Además, valiéndonos de dichos datos, abordaremos esta vez el tratamiento de las señales EEG y el clasificador de estados.

Las tareas a ejecutar por el usuario estarán basadas en ‘P3Speller’, y el protocolo experimental será similar al visto en el capítulo anterior, así como el montaje de los equipos y la colocación de los sensores, por lo que no repetiremos aquí los detalles.



Fig. 8.1: Experimento definitivo. Colocación de los electrodos EEG y biosensores.

En este experimento se realizaron dos tomas de datos (es decir, se repitió una vez) para poder cotejar ambas y obtener una mayor fiabilidad. Cualitativamente, obtuvimos las siguientes conclusiones:

8.1.- Resultados del biosensor ECG

El HR medio en los intervalos de “Flashing” es mayor que en los de “Resting”, y la tendencia en el tiempo es a igualarse.

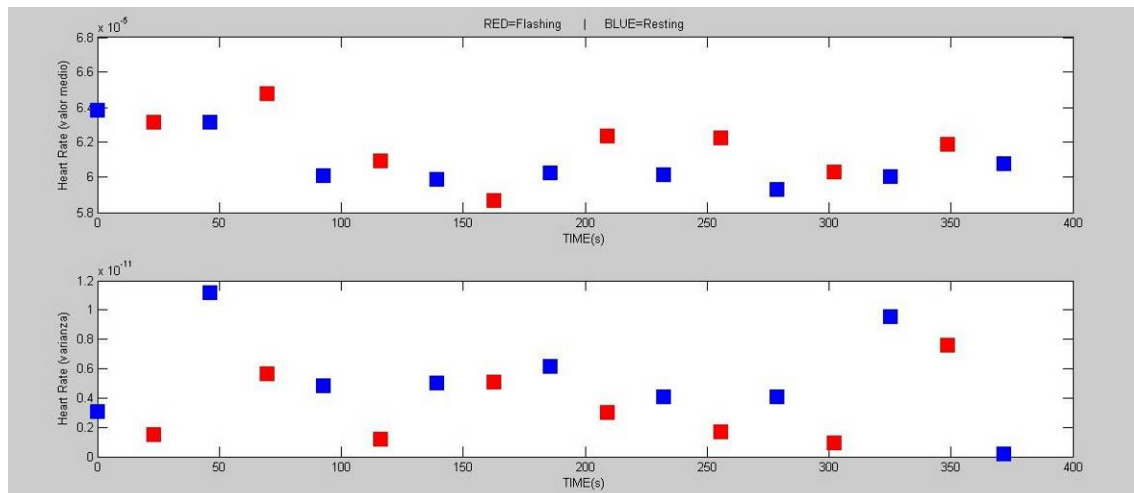


Fig. 8.1.1: Media y varianza del HR en la primera toma de datos (rojo, actividad; azul, descanso).

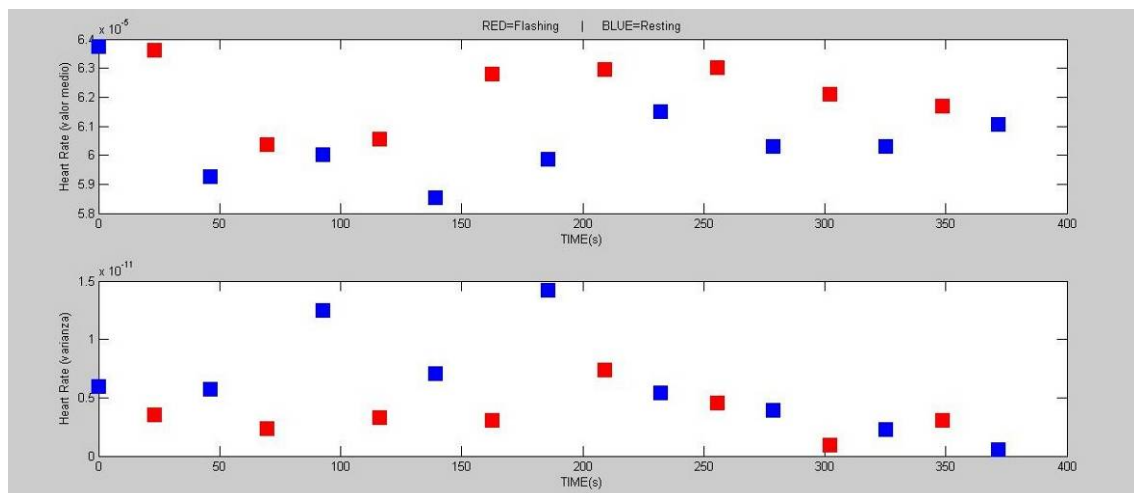


Fig. 8.1.2: Media y varianza del HR en la segunda toma de datos (rojo, actividad; azul, descanso).

Mientras que la varianza del HR no nos aporta información alguna en cualquiera de las dos tomas de datos, la media sí es más alta en los intervalos de operación, lo que se aprecia sobre todo en la segunda parte del experimento.

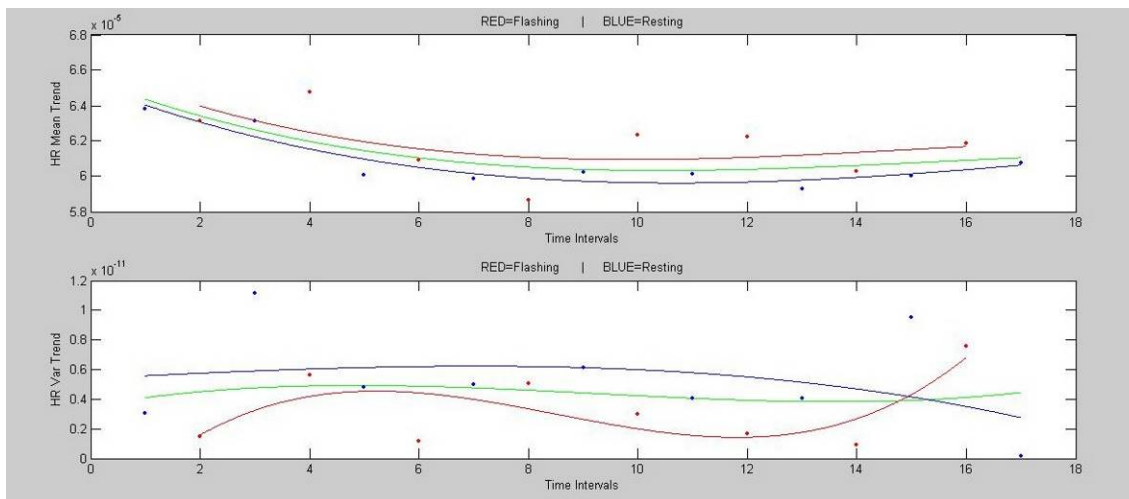


Fig. 8.1.3: Tendencia de la media y varianza del HR en la primera toma de datos.

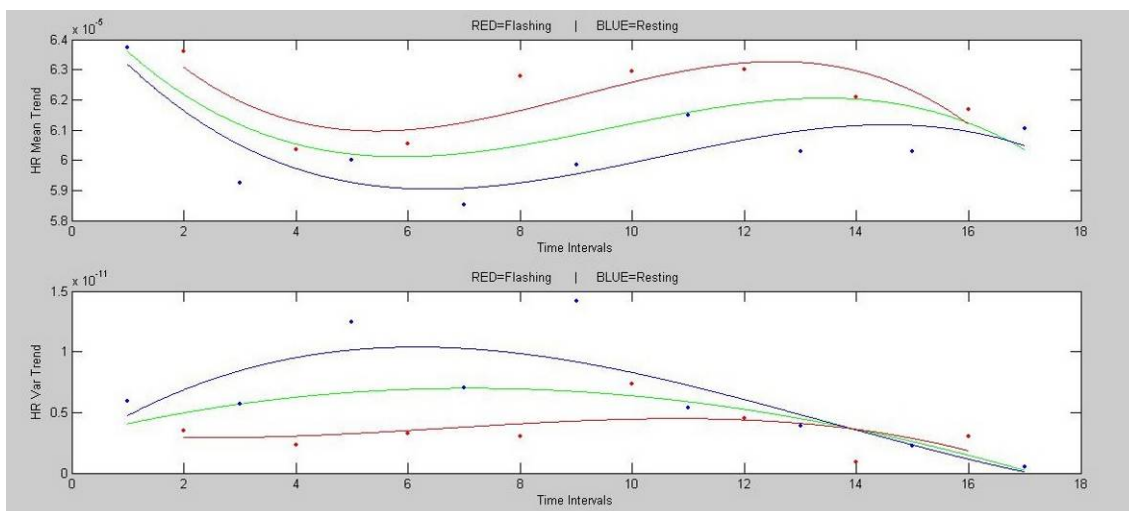


Fig. 8.1.4: Tendencia de la media y varianza del HR en la segunda toma de datos.

Podemos ver cómo los valores medios del HR en los intervalos de actividad y descanso tienden a igualarse, cosa que de nuevo ocurre de manera más notable en la segunda parte de la prueba.

De todo lo anterior se extrae como conclusión que los valores medios son, para esta variable en concreto, más determinantes para distinguir entre estados que las varianzas. Como consecuencia de ello, los datos que enviaremos al clasificador serán los valores instantáneos del HR, no se utilizará la varianza para efectuar la detección en el caso de este biosensor.

Además, la tendencia del HR nos servirá para identificar posibles casos de agotamiento o fatiga.

8.2.- Resultados del biosensor BVP

Todas las observaciones que se pudieran hacer respecto al BVP-HR serán omitidas aquí, puesto que los resultados son, lógicamente, similares a los del HR calculado mediante el sensor ECG. Sí mostraremos las gráficas para ilustrar dicha similitud.

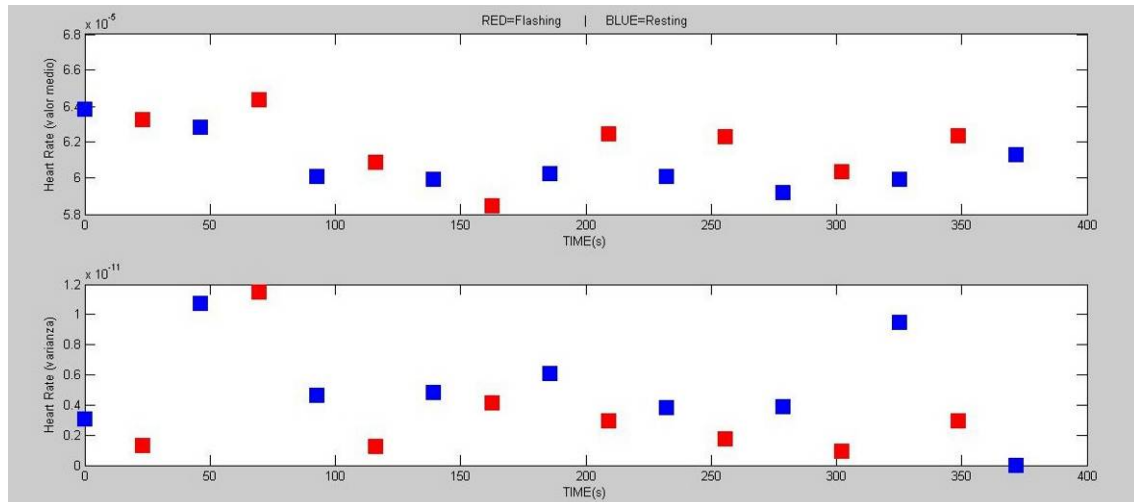


Fig. 8.2.1: Media y varianza del BVP-HR en la primera toma de datos.

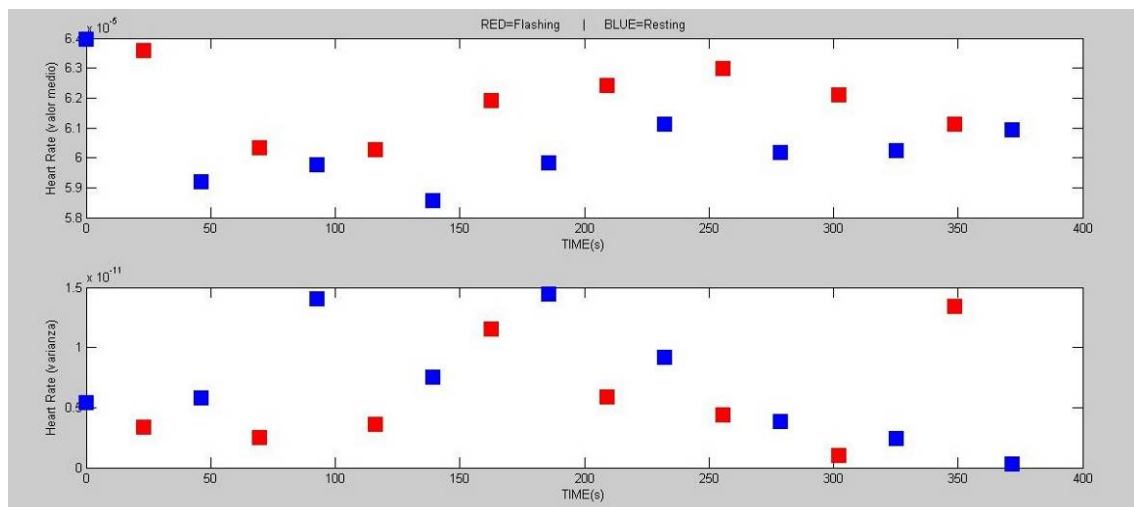


Fig. 8.2.2: Media y varianza del BVP-HR en la segunda toma de datos.

Lo mismo podemos decir del análisis de tendencias:

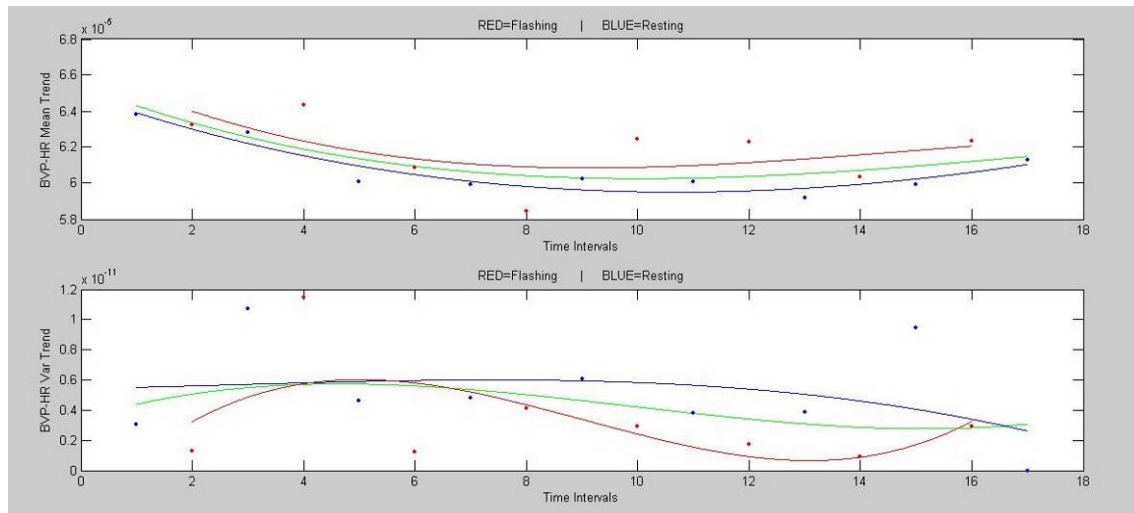


Fig. 8.2.3: Tendencia de la media y varianza del BVP-HR en la primera toma de datos.

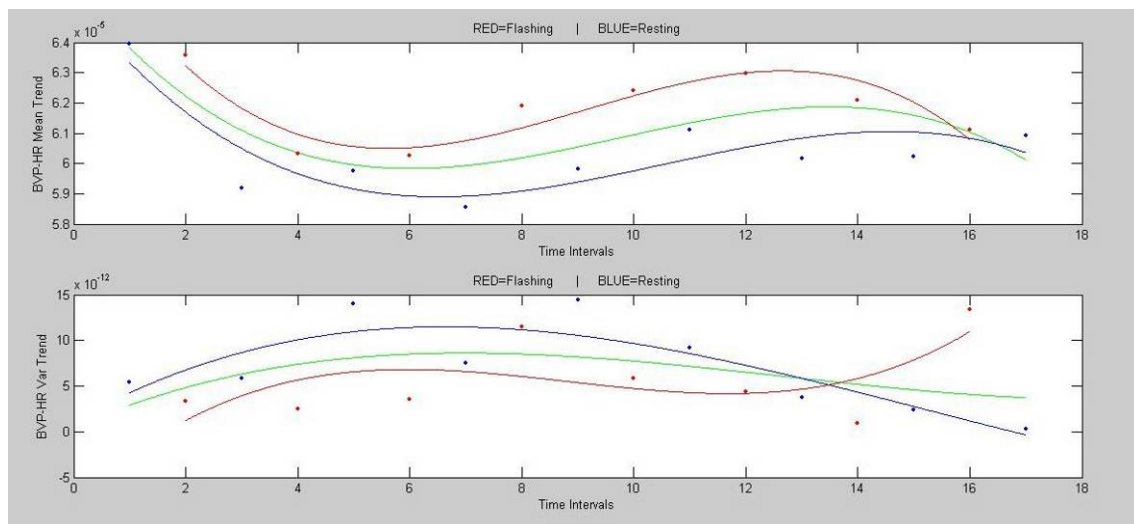


Fig. 8.2.4: Tendencia de la media y varianza del BVP-HR en la segunda toma de datos.

Así que, al igual que en el caso anterior, también usaremos el BVP-HR instantáneo como entrada al clasificador, aunque de esta forma tengamos cierta redundancia, y también la tendencia de las medias nos será útil para detectar agotamiento.

Recordemos, sin embargo, que el biosensor BVP nos permitía además la extracción de otra característica: la dilatación vascular, que estaba relacionada con la amplitud de la propia señal BVP.

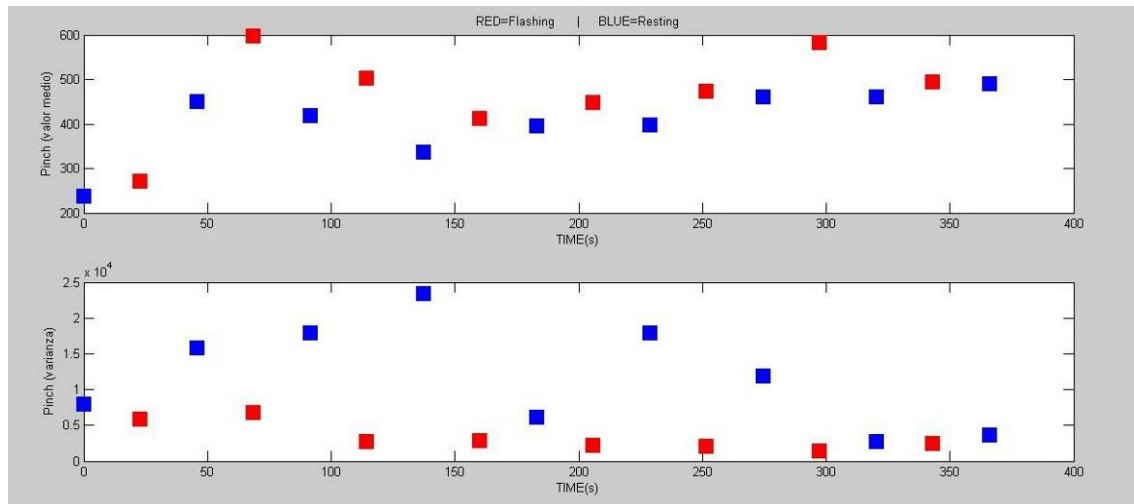


Fig. 8.2.5: Media y varianza del PINCH en la primera toma de datos.

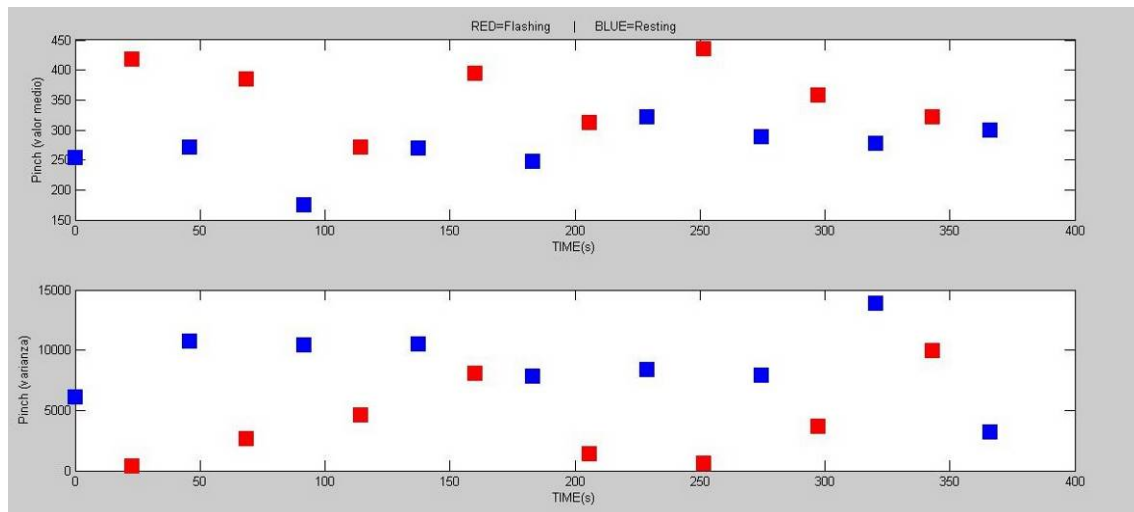


Fig. 8.2.6: Media y varianza del PINCH en la segunda toma de datos.

Los valores medios son claramente superiores en los períodos de actividad, mientras que con las varianzas ocurre lo contrario. Descartaremos de ese modo la varianza como proveedora de información, y propondremos enviar a la matriz de datos de entrada al clasificador los valores instantáneos del PINCH, al igual que hicimos en el caso del HR.

Observemos qué pasa con la tendencia:

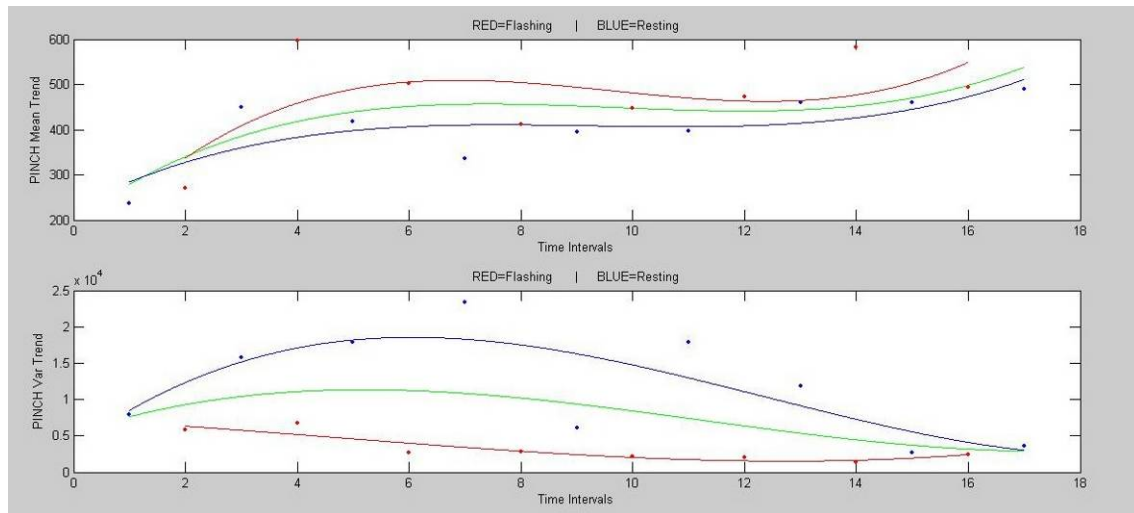


Fig. 8.2.7: Tendencia de la media y varianza del PINCH en la primera toma de datos.

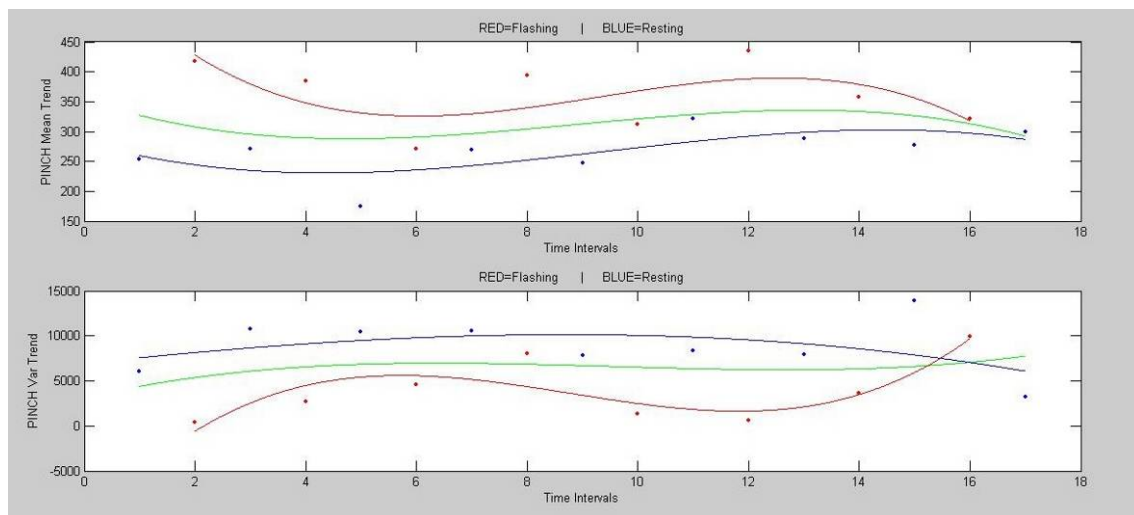


Fig. 8.2.7: Tendencia de la media y varianza del PINCH en la segunda toma de datos.

En ambas tomas de datos, tanto para las medias como para las varianzas, estos valores tienden a equipararse, lo que según nuestras hipótesis, significa que al sujeto ya no le da tiempo a recuperarse en los períodos de descanso. Esto está relacionado con el agotamiento.

8.3.- Resultados del biosensor RSP

La señal RSP y sus características RPM y PROF fueron particularmente útiles en el experimento piloto, sobre todo en valores medios. A continuación veremos si siguen en esa línea.

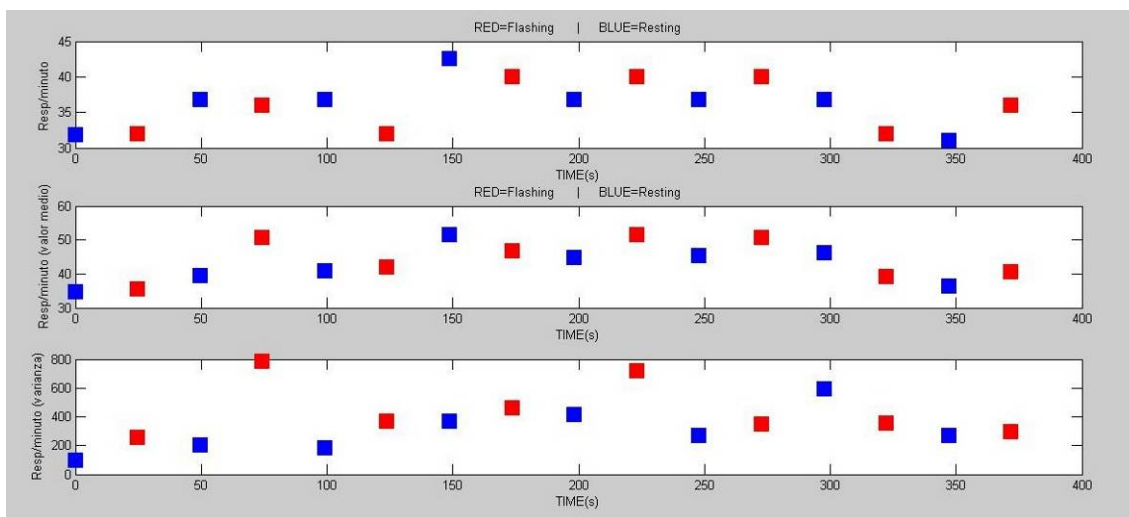


Fig. 8.3.1: RPM, media y varianza en la primera toma de datos (rojo, actividad; azul, descanso).

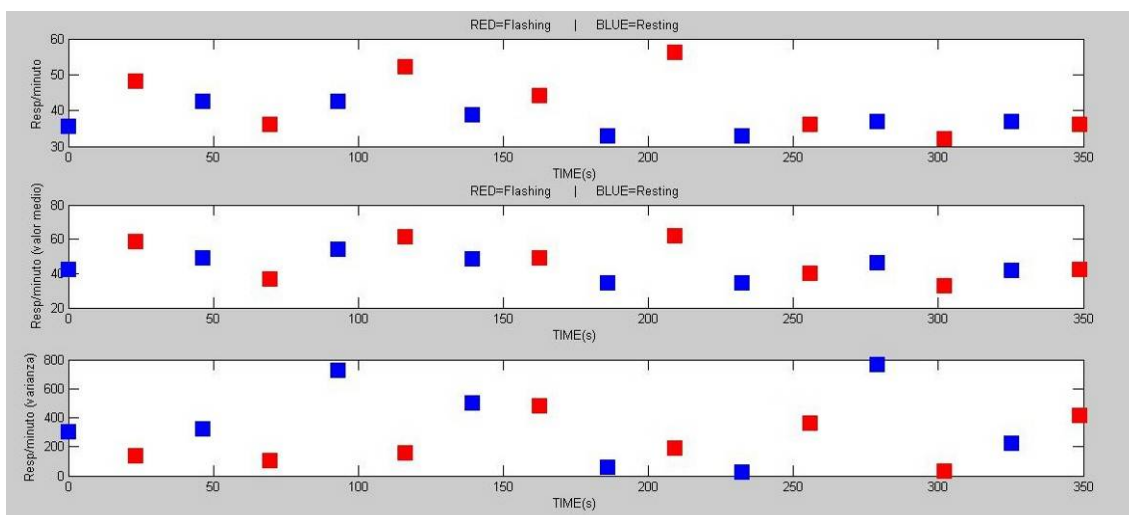


Fig. 8.3.2: RPM, media y varianza en la segunda toma de datos (rojo, actividad; azul, descanso).

Los valores de RPM son más altos en los intervalos de 'Flashing', aunque no de forma tan rotunda como en el experimento anterior.

La tendencia, tanto en el caso de la media como en la varianza, es a igualarse entre estados conforme pasa el tiempo, cosa que concuerda con nuestras hipótesis de partida.

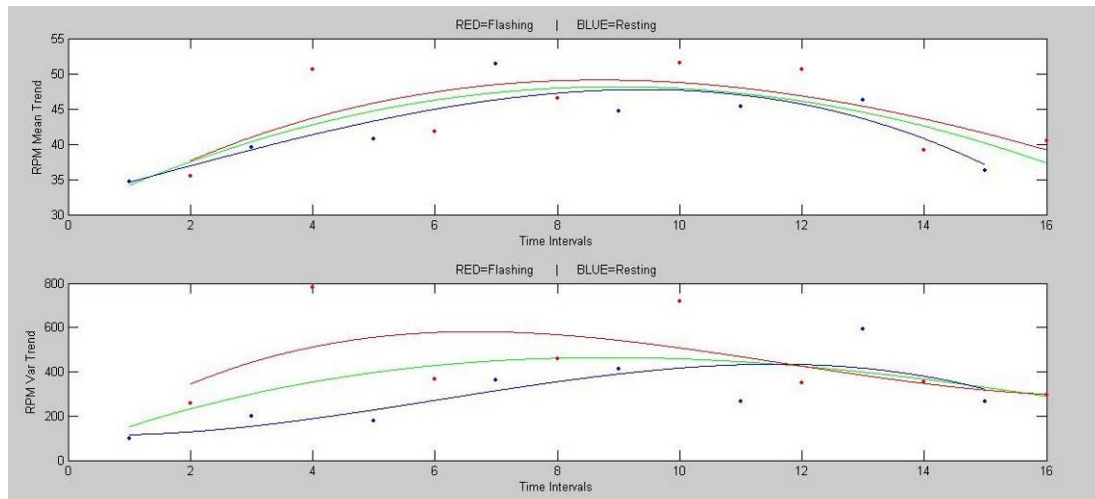


Fig. 8.3.3: Tendencia de la media y varianza del RPM en la primera toma de datos.

En cuanto a la variable profundidad de la respiración:

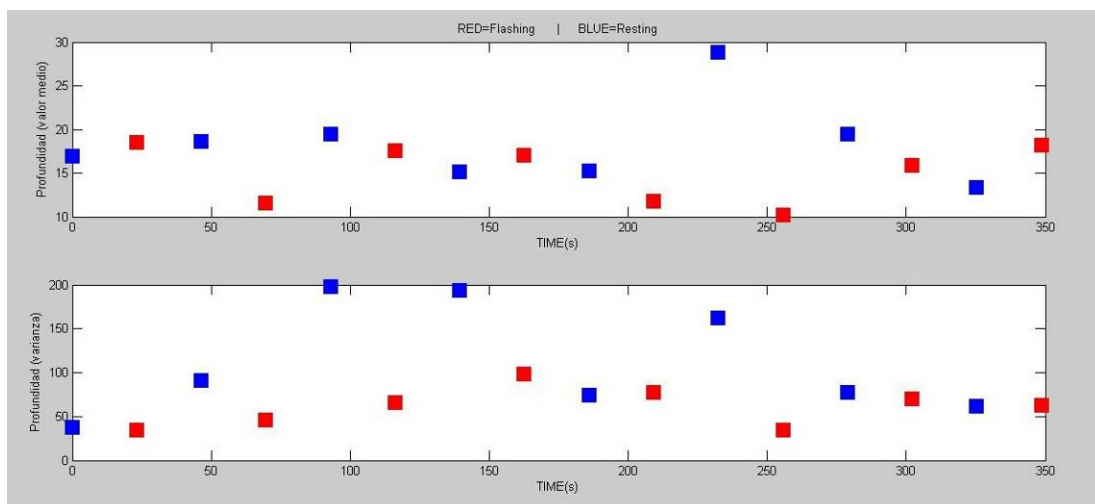


Fig. 8.3.4: Media y varianza del PROF en la primera toma de datos.

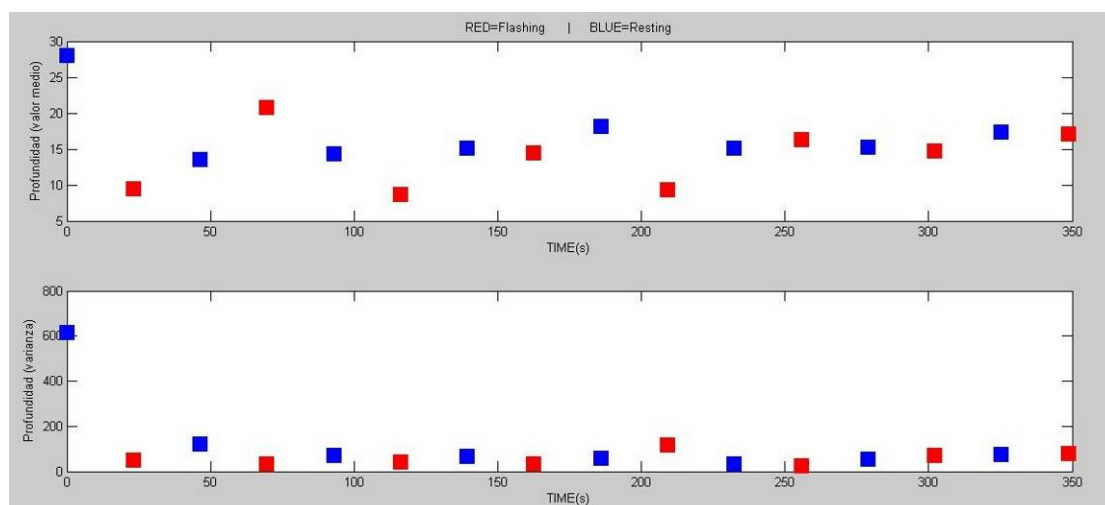


Fig. 8.3.5: Media y varianza del PROF en la segunda toma de datos.

Al igual que nos pasó con la variable RPM, los resultados en este experimento no son tan concluyentes como en el anterior. Los valores medios en PROF son ligeramente mayores en 'Resting', lo cual es acorde con nuestros propósitos, pero no de forma suficientemente clara.

De todas formas, ambas características serán entradas del clasificador, ya que pueden contribuir a la separación de clases.

8.4.- Resultados del biosensor SC

En este biosensor, al contrario que en el resto, vimos en el capítulo anterior que la variabilidad de la señal era lo que más información aportaba, comprobaremos si sigue ocurriendo lo mismo.

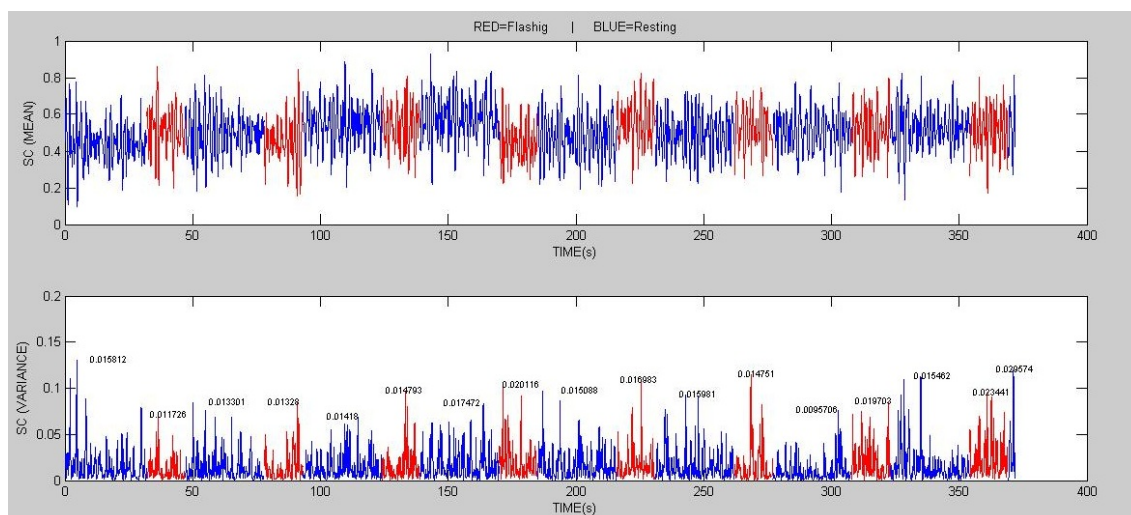


Fig. 8.4.1: Media móvil y variabilidad de la señal SC en la primera toma de datos.

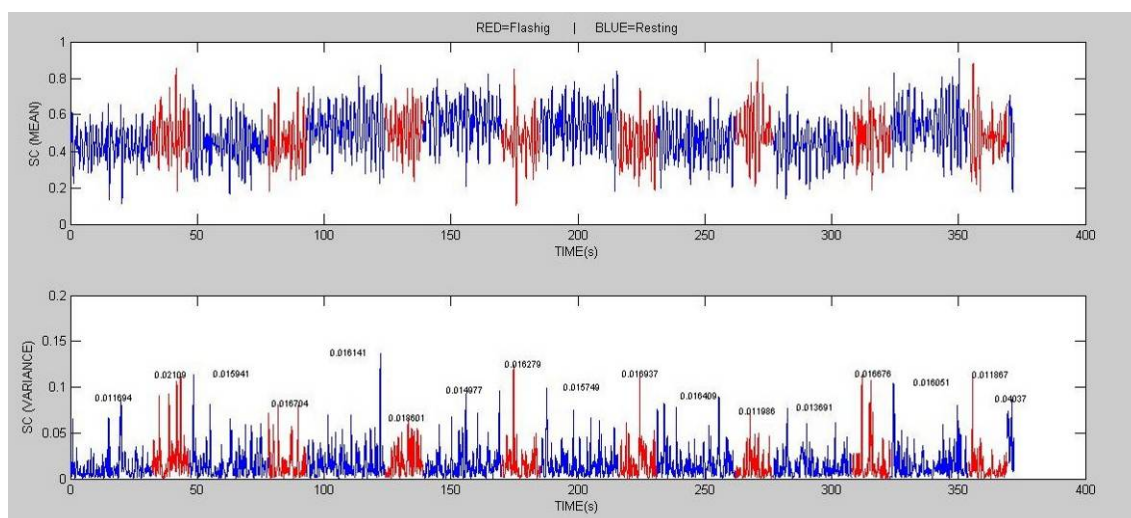


Fig. 8.4.2: Media móvil y variabilidad de la señal SC en la segunda toma de datos.

En ambos casos, la variabilidad es mayor en ‘Flashing’, sobre todo a medida que avanza el experimento.

Representaremos las tendencias de la media y varianza del SC, así como de la suma integral de las varianzas en cada intervalo (que se corresponde con los números de las imágenes anteriores) para las dos partes del experimento:

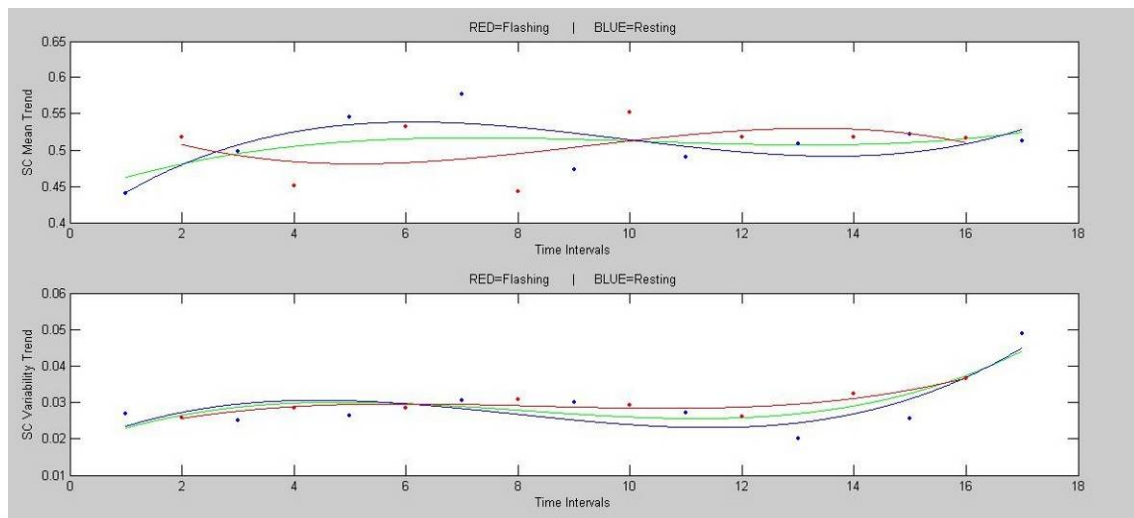


Fig. 8.4.3: Tendencia de la media móvil y la variabilidad del SC en la primera toma de datos.

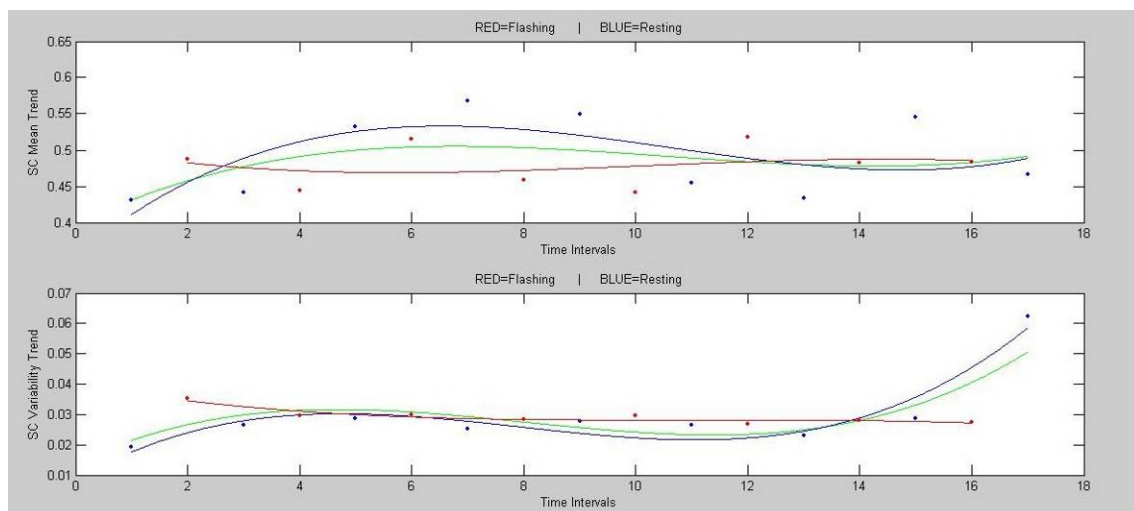


Fig. 8.4.4: Tendencia de la media móvil y la variabilidad del SC en la segunda toma de datos.

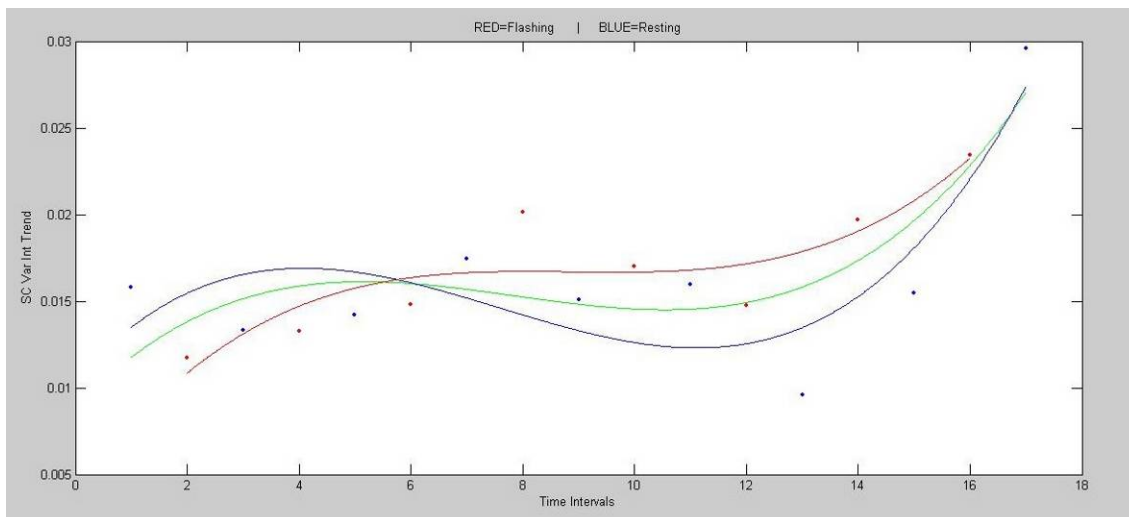


Fig. 8.4.5: Tendencia de la integral de la variabilidad del SC en la primera toma de datos.

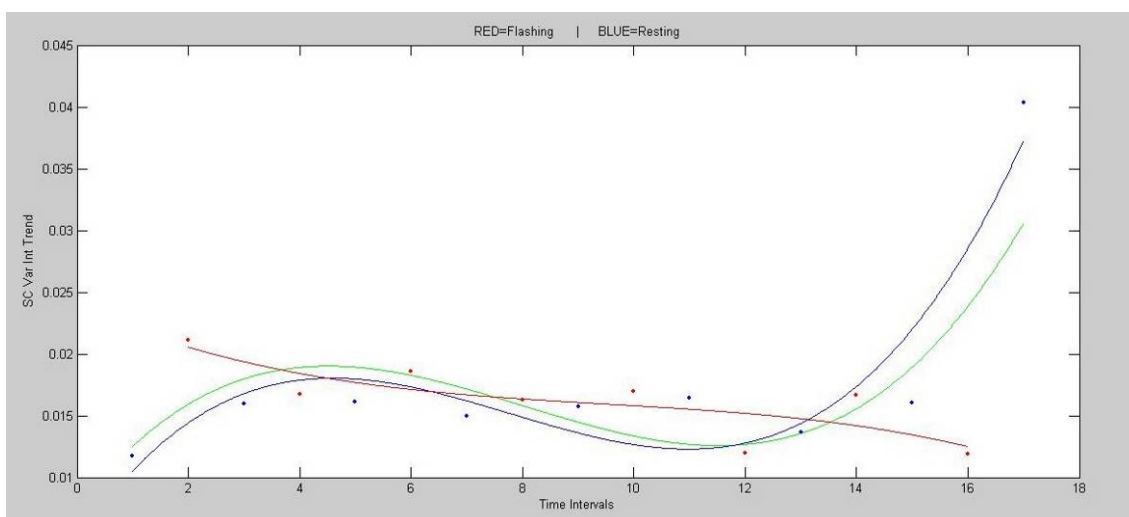


Fig. 8.4.6: Tendencia de la integral de la variabilidad del SC en la segunda toma de datos.

Vemos que en todos los casos, exceptuando la variabilidad y (provocado por ésta) la integral de la variabilidad en la segunda toma de datos, las tendencias tienden a igualarse, lo que según nuestras premisas significa agotamiento. Y si en esos dos casos no es así, esto es debido a la indudable presencia de un ‘outlier’ al final del experimento, que podemos observar con claridad en las imágenes.

8.5.- Resultados del EEG

En este experimento abordaremos por fin el tratamiento de las señales del EEG, de la forma en que lo explicamos en el subcapítulo 6.3.5.

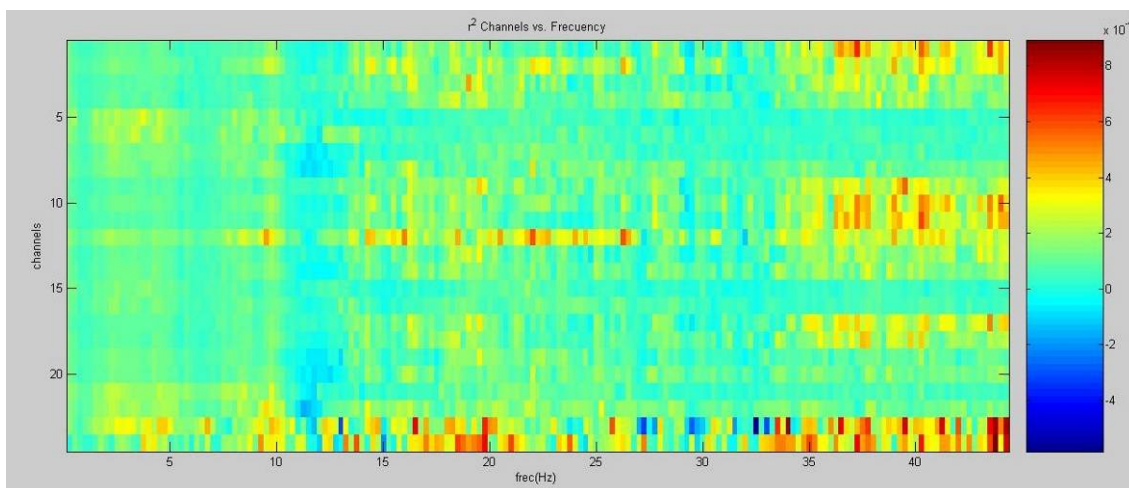


Fig. 8.5.1: Espectrograma del R^2 para todos los canales del EEG en la primera toma de datos.

En la primera toma de datos del experimento, la R^2 varía en mayor medida para los canales 2, 3, 4, 12, 23, y 24, en las bandas de frecuencia de interés. El ratio theta-beta medio en esos canales es 2.45686 ('Flashing'), 3.31546 ('Resting'). Con todas las bandas de frecuencia y todos los canales como datos los resultados son: Ratio theta-beta, 2.50175 ('Flashing'), 3.3291 ('Resting').

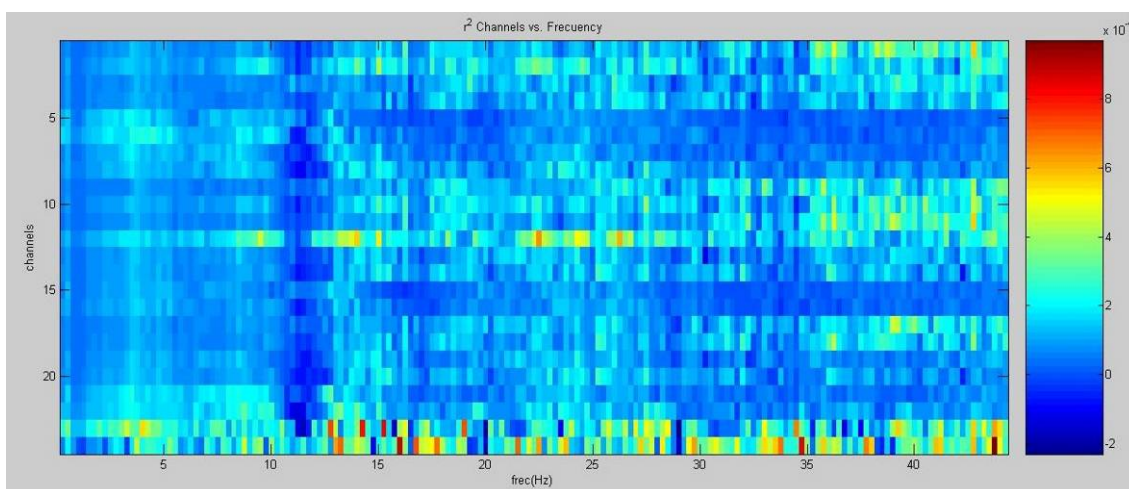


Fig. 8.5.2: Espectrograma del R^2 para todos los canales del EEG en la segunda toma de datos.

En la segunda parte del experimento, la R^2 varía en mayor medida para los canales 2, 10, 12, 23, y 24, en las bandas de frecuencia de interés. El ratio theta-beta medio en esos canales es 2.57385 ('Flashing'), 3.39716 ('Resting'). Con todas las bandas de frecuencia y todos los canales como datos los resultados son: Ratio theta-beta, 2.45108 ('Flashing'), 3.28259 ('Resting').

8.6.- Clasificación

Para este experimento se desarrolló también el clasificador basado en redes neuronales artificiales, a continuación expondremos los resultados obtenidos.

En la primera toma de datos del experimento, la clasificación sólo con biosensores nos da un índice kappa medio del 98'87% entrenando con todas las muestras, y 56,65% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3 (para más información acerca del entrenamiento y evaluación del clasificador, ver Anexo I).

La clasificación sólo con EEG, seleccionando los canales más significativos y todas las bandas de frecuencia nos da un valor de 100% entrenando con todas las muestras, y 75'47% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3. Con todas las bandas de frecuencia y todos los canales como datos los resultados son del 100% entrenando con todas las muestras, y 82'62% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3.

Clasificando conjuntamente los datos de EEG y biosensores, el resultado es: 100% entrenando con todas las muestras, y 85'39% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3, esto es, una mejora de casi tres puntos.

En la segunda parte, la clasificación sólo con biosensores nos da un índice kappa medio del 98'96% entrenando con todas las muestras, y 56,23% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3.

La clasificación sólo con EEG, seleccionando los canales más significativos y todas las bandas de frecuencia nos da un valor de 100% entrenando con todas las muestras, y 71'88% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3. Con todas las bandas de frecuencia y todos los canales como datos los resultados son del 100% entrenando con todas las muestras, y 76'44% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3.

Clasificando conjuntamente los datos de EEG y biosensores, el resultado es: 100% entrenando con todas las muestras, y 82'81% entrenando con 2/3 y evaluando con 1/3, esto es, una mejora de más de seis puntos.