

7.- Experimento piloto

El primer experimento tuvo lugar en el laboratorio de BCI en el Centro Politécnico Superior de la Universidad de Zaragoza el día 6 de Mayo de 2009.

El objetivo de este experimento piloto era comprobar qué características podíamos calcular y cuáles contienen información verdaderamente útil para nuestros propósitos, así como efectuar un primer procesamiento y clasificación para ver si podíamos obtener datos significativos que sugiriesen que el proyecto era realizable y podía ofrecer resultados concluyentes.

Se tomaron las señales de un usuario de BCI (el compañero de departamento Eduardo López, Ingeniero Informático cuyo Proyecto Fin de Carrera consistía en un sistema para que las personas con problemas en las cuerdas vocales pudiesen hablar a través de una máquina mediante BCI, y que estaba basado en ‘P3Speller’) mientras éste realizaba una tarea utilizando dicho módulo ‘P3Speller’, que explicaremos más adelante. Se usaron 16 canales de un amplificador para la adquisición de señales EEG, y se conectaron al otro amplificador los sensores ECG, BVP, SC, RSP, y SpO2 (Saturación de Oxígeno). Se desechó desde un principio la idea de probar el biosensor ST (Temperatura de la piel), por su excesiva dependencia de la temperatura exterior y susceptibilidad de verse afectado por artefactos, y se decidió colocar un sensor SpO2 para averiguar si podía ofrecernos datos útiles.

Se llevaron a cabo tres sesiones de interacción con BCI y toma de datos. Los intervalos de actividad / descanso se programaron de la siguiente forma (para la segunda y tercera sesión, los estímulos se fueron haciendo más largos, y los descansos, más cortos):

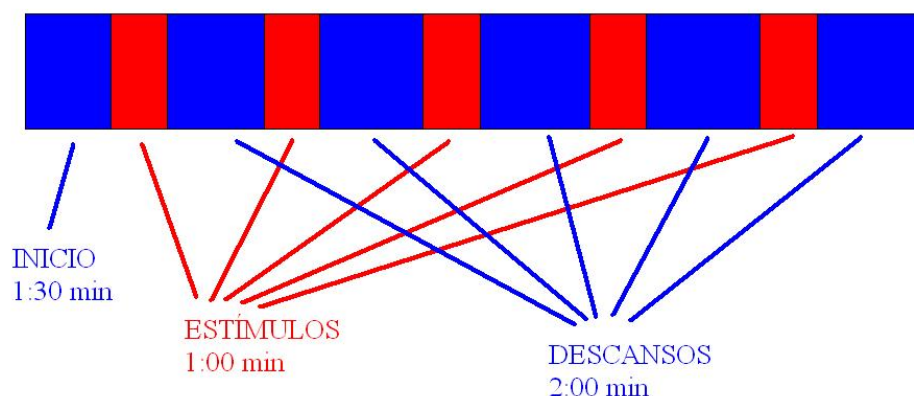


Fig. 7.1: Protocolo para la primera sesión del experimento piloto.

A continuación podemos observar varias imágenes del montaje y realización de la prueba y de los equipos utilizados y sus conexiones:

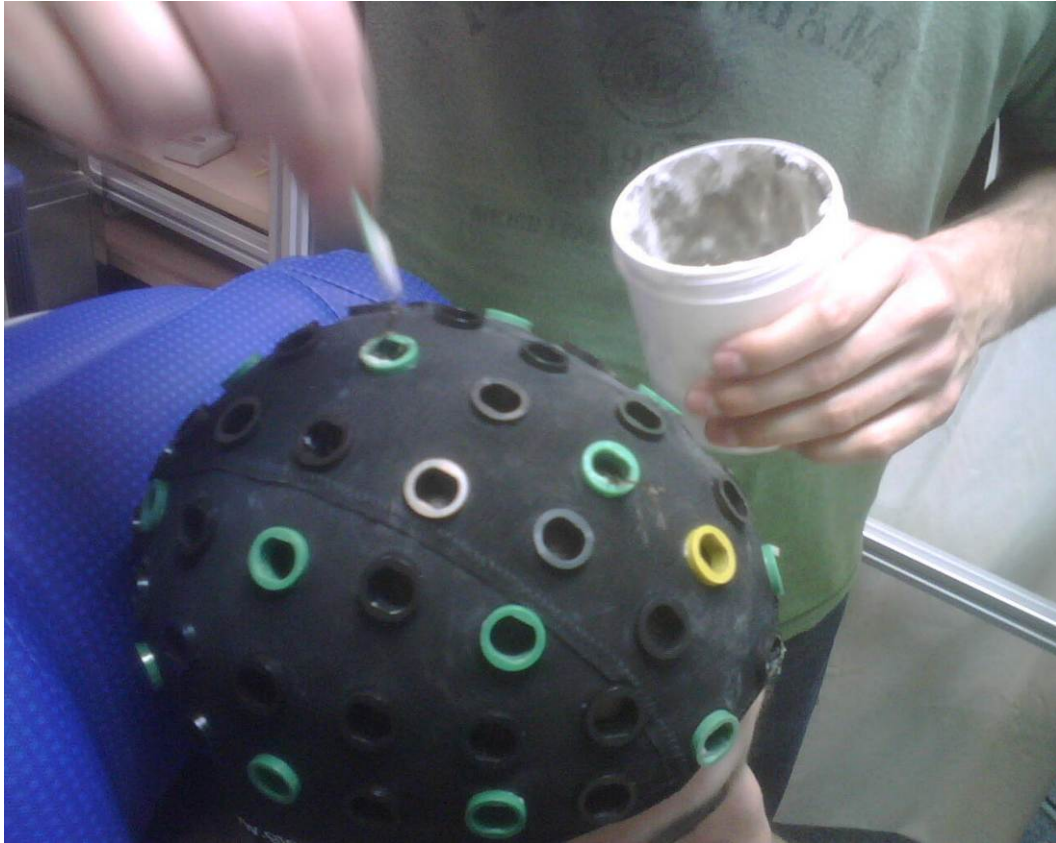


Fig. 7.2: Aplicación de gel abrasivo en el casco de malla para la colocación de los electrodos EEG.

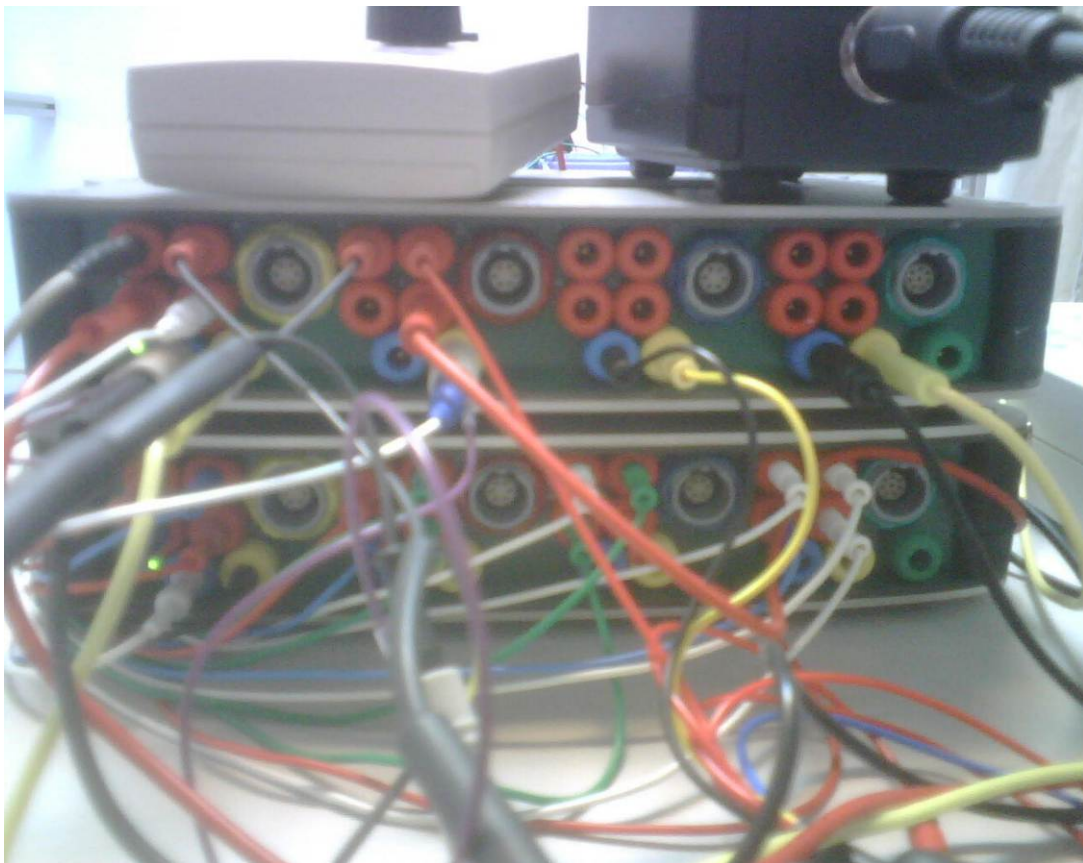


Fig. 7.3: Conexión de los amplificadores (abajo, electrodos EEG; arriba biosensores).



Fig. 7.4: Sensores SpO2 y BVP (izquierda) y sensor SC (derecha).

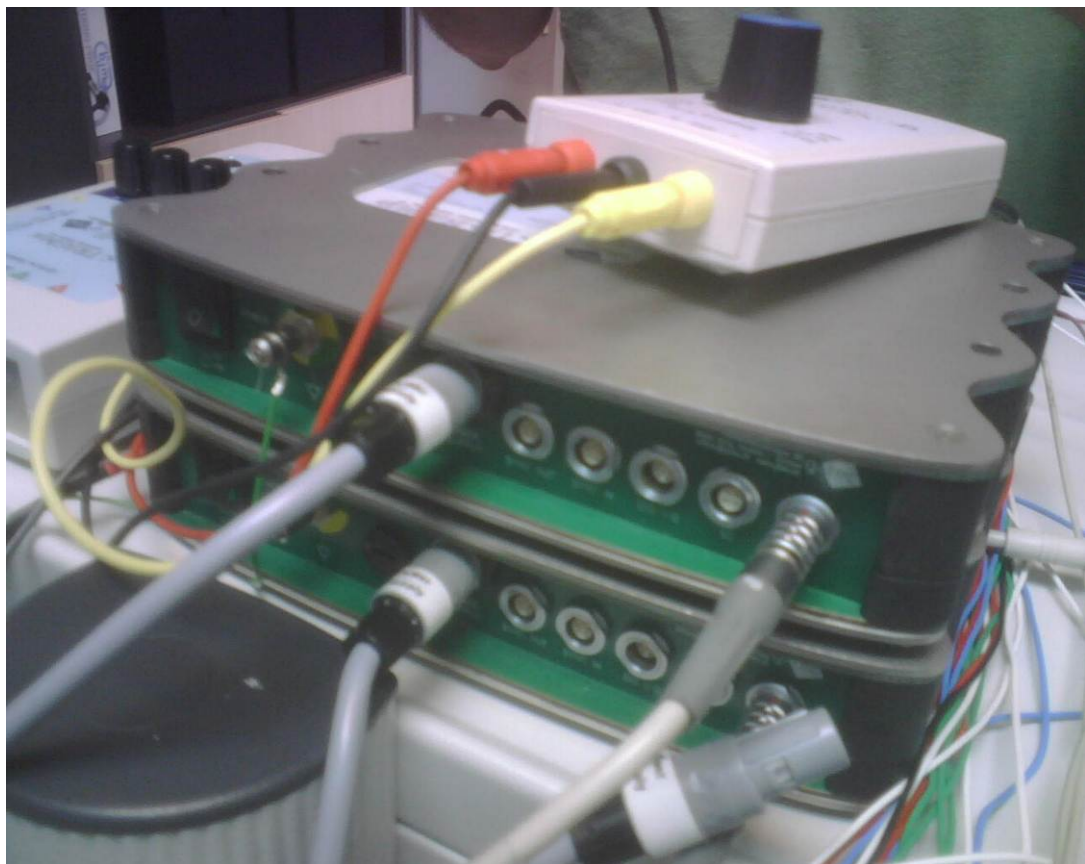


Fig. 7.5: Vista frontal de los amplificadores. Conexionado.



Fig. 7.6: Dispositivos para el control de biosensores. Fuentes de alimentación.



Fig. 7.7: Generador de señal senoidal (izquierda), generador de pulsos (abajo), 'trigger' (derecha).

Una vez efectuado el conexionado de todos los elementos, se procedió a configurar la tarea a realizar por el usuario. El ‘P3Speller’ se basa en la señal P300, que como explicamos en la introducción, es un potencial relacionado a eventos que aparece 300 ms después del estímulo, y que reacciona de forma diferente en función de si se trata de un estímulo deseado (esperado) o de uno cualquiera.

En la pantalla de aplicación o interfaz de usuario de BCI2000 aparecen letras colocadas en una matriz (matriz de Donchin). Las filas y columnas se resaltan o flashean en rápidas sucesiones de manera que provocan una respuesta en la P300 del usuario cada vez que la letra deseada es resaltada. El sistema clasifica todas las P300, y en base a los resultados elige la fila y la columna correspondientes a la letra deseada, que es captada por el sistema y agregada a la palabra que estemos construyendo. Este proceso se repite para todas las letras, hasta completar la palabra en cuestión. Lógicamente, este sistema precisa de un entrenamiento previo por parte de cada individuo en particular, para que la clasificación se adapte o se calibre en función de ese usuario (‘machine learning’). Este entrenamiento se realiza con el modo copia (‘copy spelling’), en el que el propio sistema muestra la palabra a deletrear.

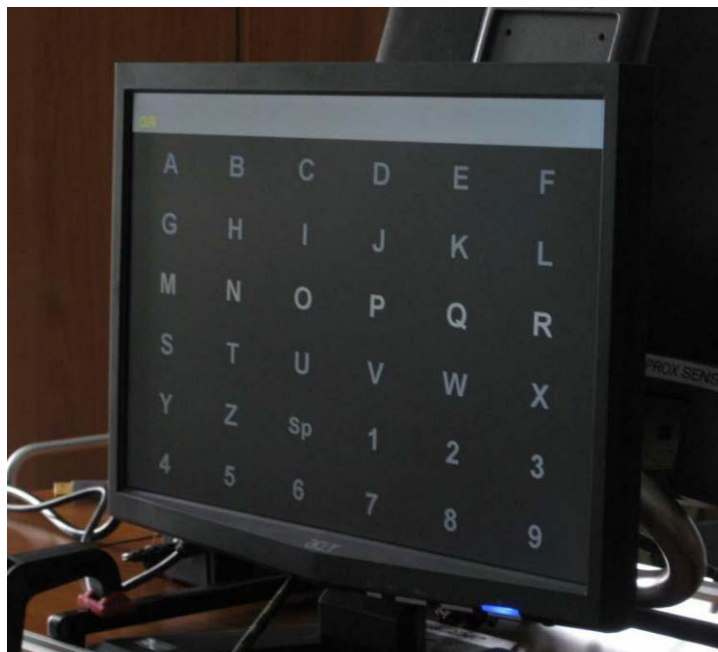


Fig. 7.8: Ventana de aplicación de BCI2000 para el módulo ‘P3Speller’.

En el experimento que nos ocupa, se ejecutaron tres sesiones de entrenamiento, con pausas programadas para que el tiempo de actividad y de descanso se distribuyera de la forma que vimos anteriormente.

Después de llevar a cabo la prueba, en las siguientes semanas se procesaron los datos tomados de los biosensores, se efectuó una primera extracción de características y se comprobaron las hipótesis de partida, dejando para más tarde el estudio del EEG y el desarrollo de la primera versión de la red neuronal que realizaría la clasificación automática para la detección de estados. A continuación mostramos los resultados que se obtuvieron a partir de este experimento piloto.

7.1.- Resultados del biosensor ECG

Obtuvimos el HR en media y varianza, así como el HRV. En las siguientes figuras podemos observar estas variables para el experimento completo (las tres sesiones juntas), en el caso del HR, y para las tres sesiones por separado en el HRV, para una mayor claridad:

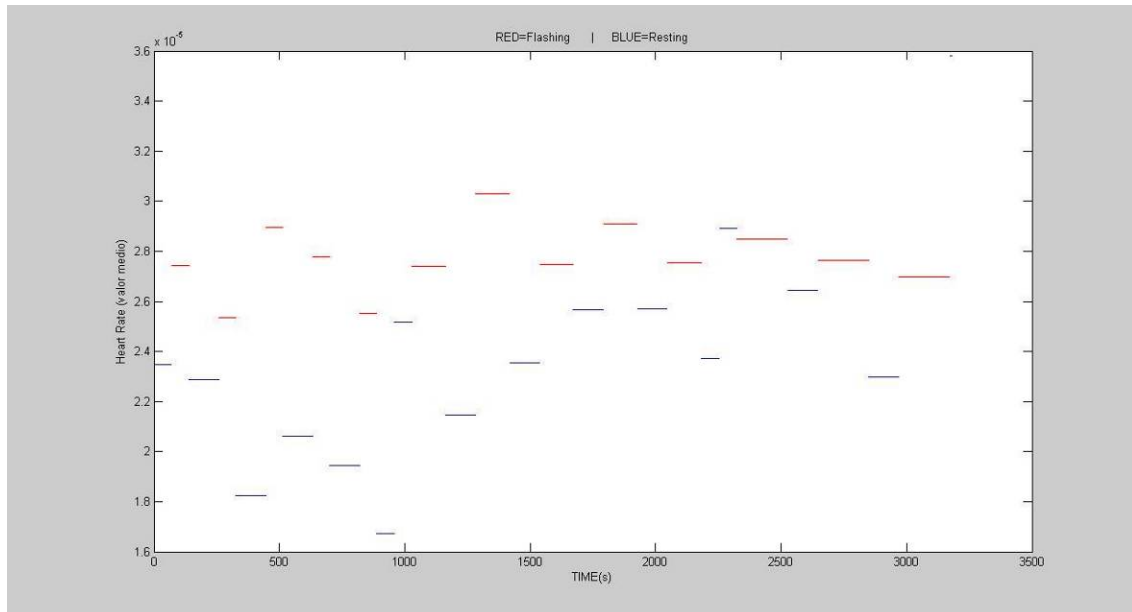


Fig. 7.1.1: Representación del HR en media en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

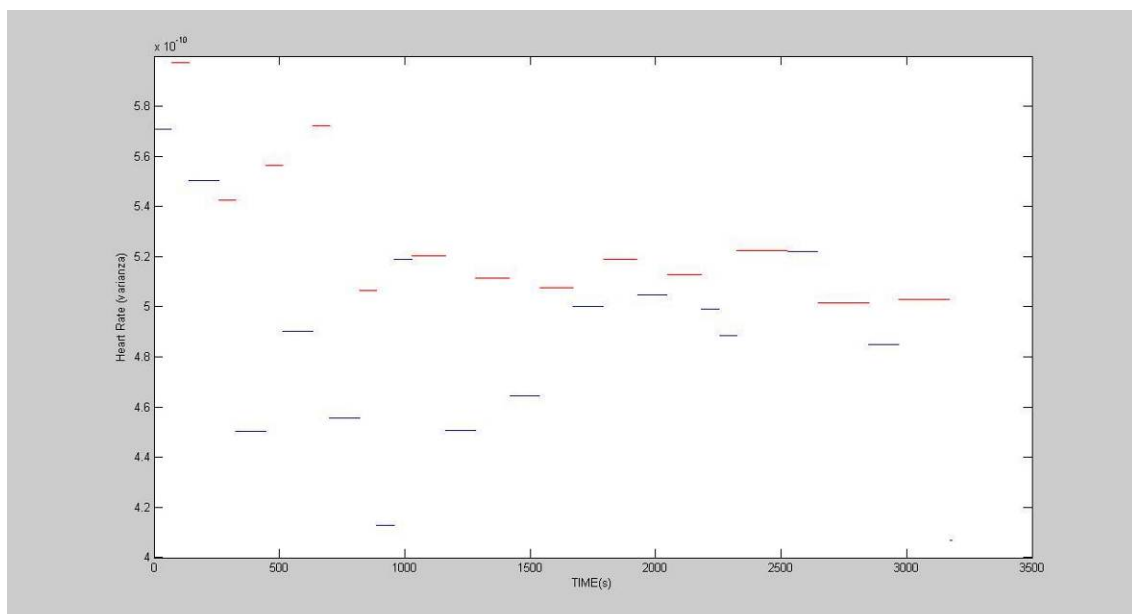


Fig. 7.1.2: Varianza del HR en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

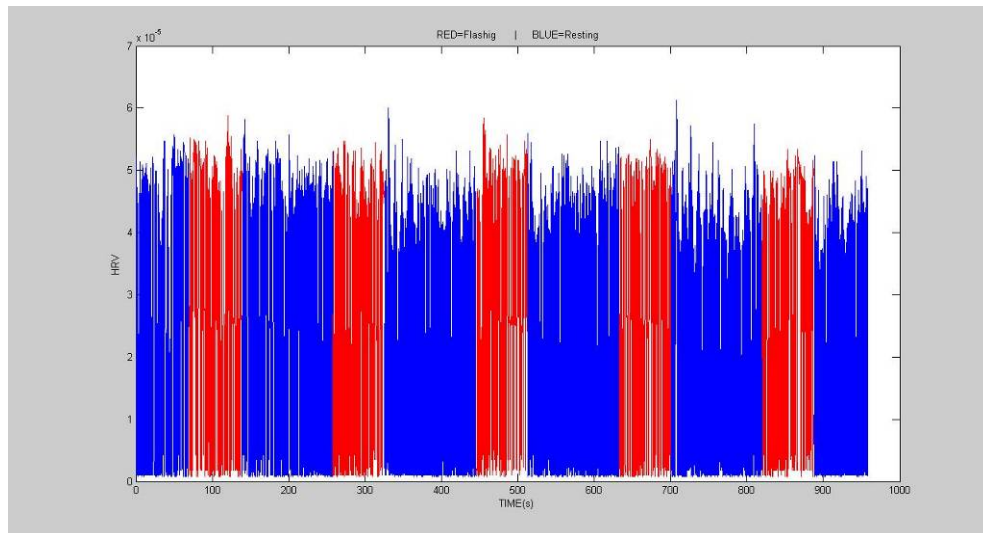


Fig. 7.1.3: HRV en los intervalos de operación y descanso para la primera sesión de la prueba.

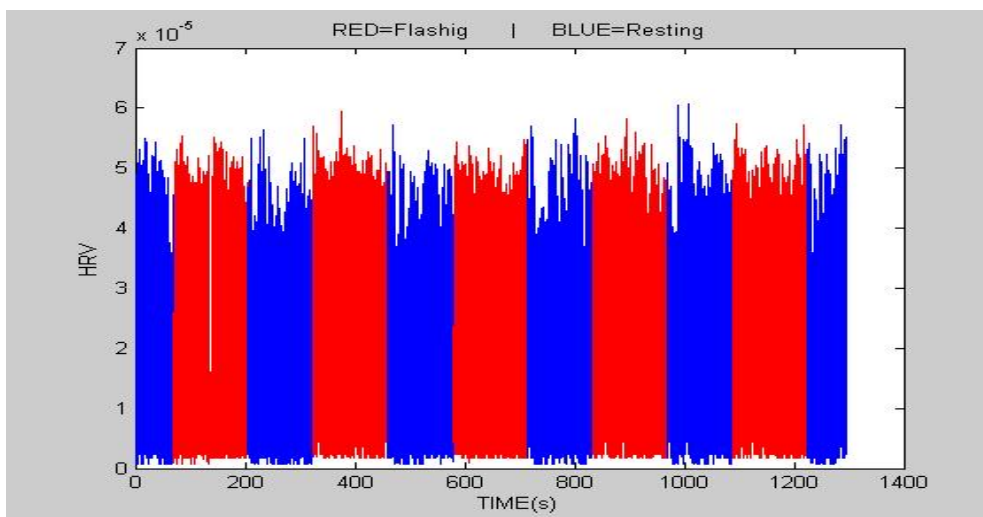


Fig. 7.1.4: HRV en los intervalos de operación y descanso para la segunda sesión de la prueba.

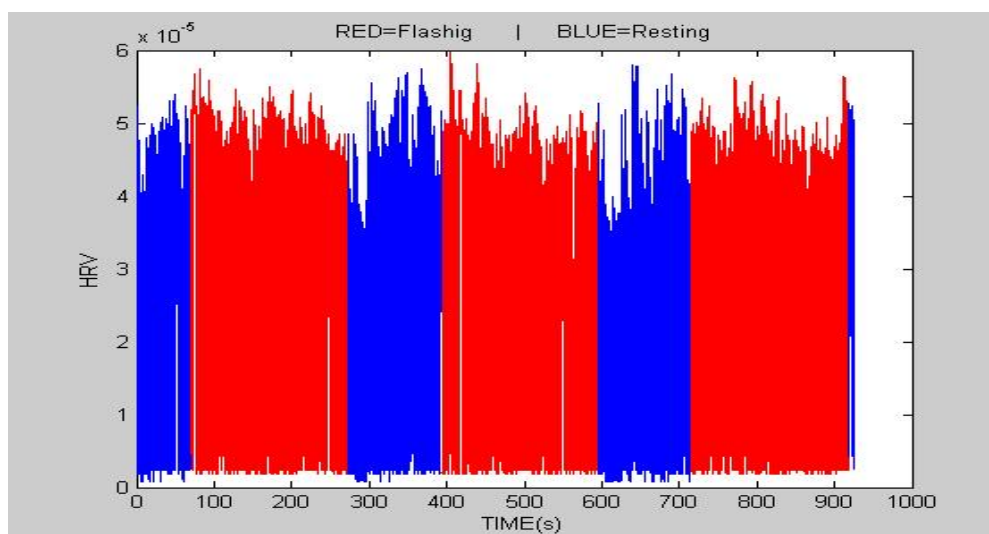


Fig. 7.1.5: HRV en los intervalos de operación y descanso para la tercera sesión de la prueba.

En los dos primeros gráficos se observa claramente que la frecuencia cardíaca sube, tanto en media como en varianza, en los intervalos de operación, lo cual contrastaría nuestras hipótesis de acuerdo con los estudios de Wagner, Kim y Andre, que concluyen que un incremento en el HR indica estrés, mientras que un decremento indica relajación.

En cuanto al HRV, podemos ver que los niveles son en general más altos en los intervalos de estrés. Estos datos serán útiles como entradas del clasificador, que veremos más adelante.

Colocando los datos de la media y varianza del HR en una gráfica y utilizando herramientas de regresión, podemos hacernos una idea de la tendencia de estas variables a lo largo del tiempo:

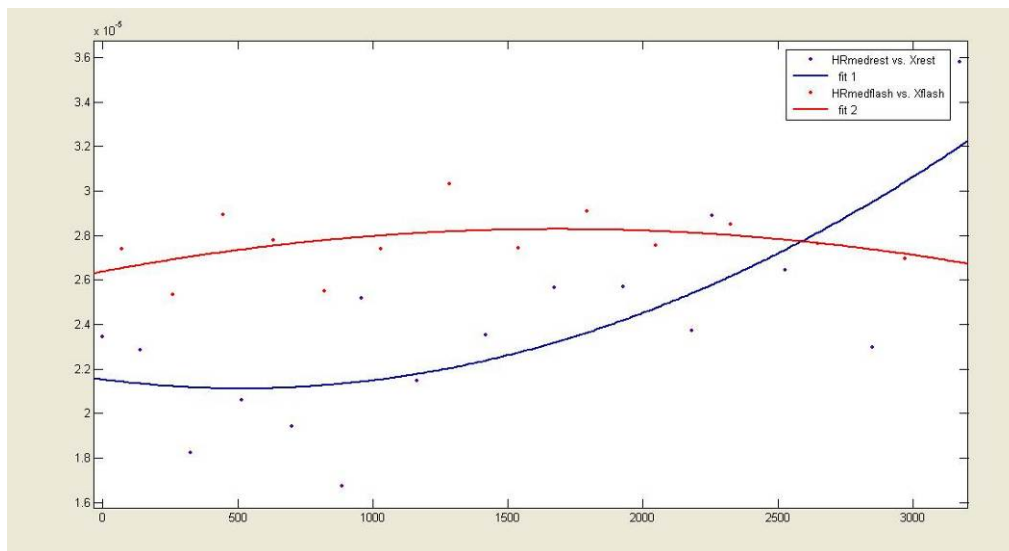


Fig. 7.1.6: Tendencia de la media del HR en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

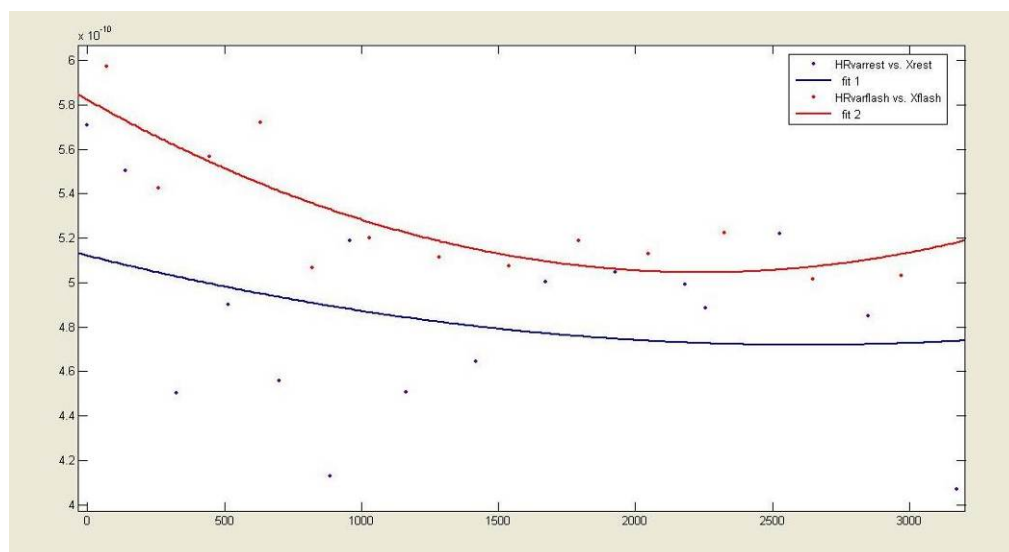


Fig. 7.1.7: Tendencia de la varianza del HR en los intervalos de operación y descanso.

Nuestra hipótesis consiste en que el hecho de que las medias tiendan a igualarse puede significar que pasado un tiempo, al sujeto no le da tiempo a recuperarse en los períodos de descanso. Por otra parte, según las investigaciones de García, Rogado, Barea, Bergasa, López, Ocaña, y Schleicher, las variaciones en el HRV pueden ser signos de fatiga, lo que coincide con la tendencia en la varianza.

7.2.- Resultados del biosensor BVP

Mediante el sensor BVP, haciendo uso de los algoritmos que describimos en el capítulo 6, conseguimos extraer las variables HR y HRV, que por su similitud con las del apartado anterior no mostraremos aquí, además de la dilatación vascular o ‘pinch’, cuyos gráficos correspondientes al experimento completo (las tres sesiones juntas) presentamos a continuación.

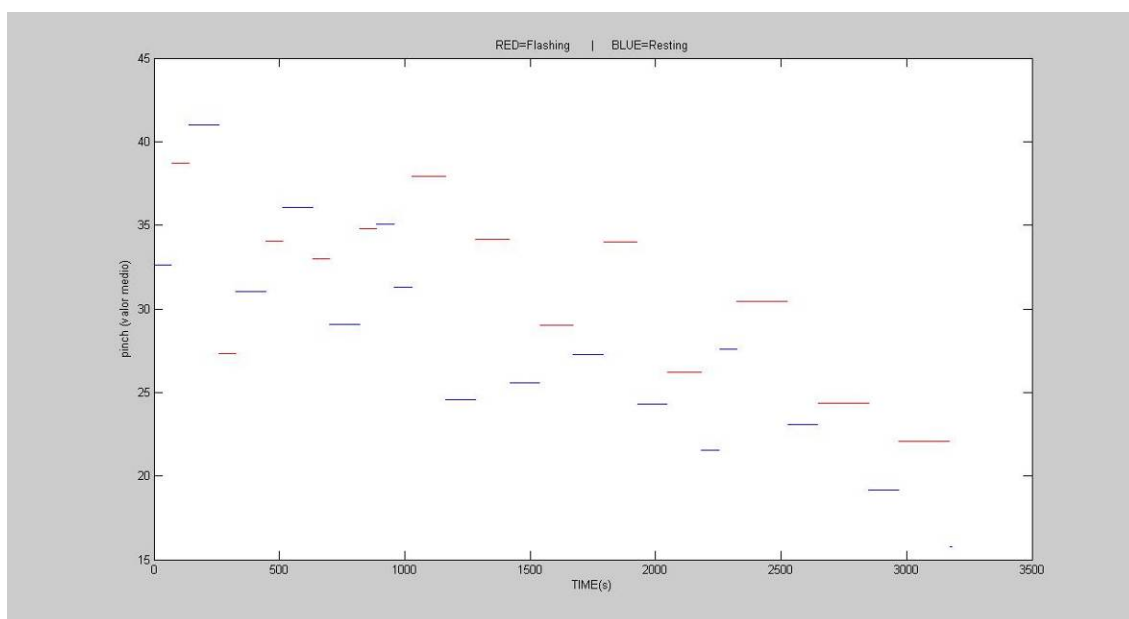


Fig. 7.2.1: Representación del PINCH medio en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

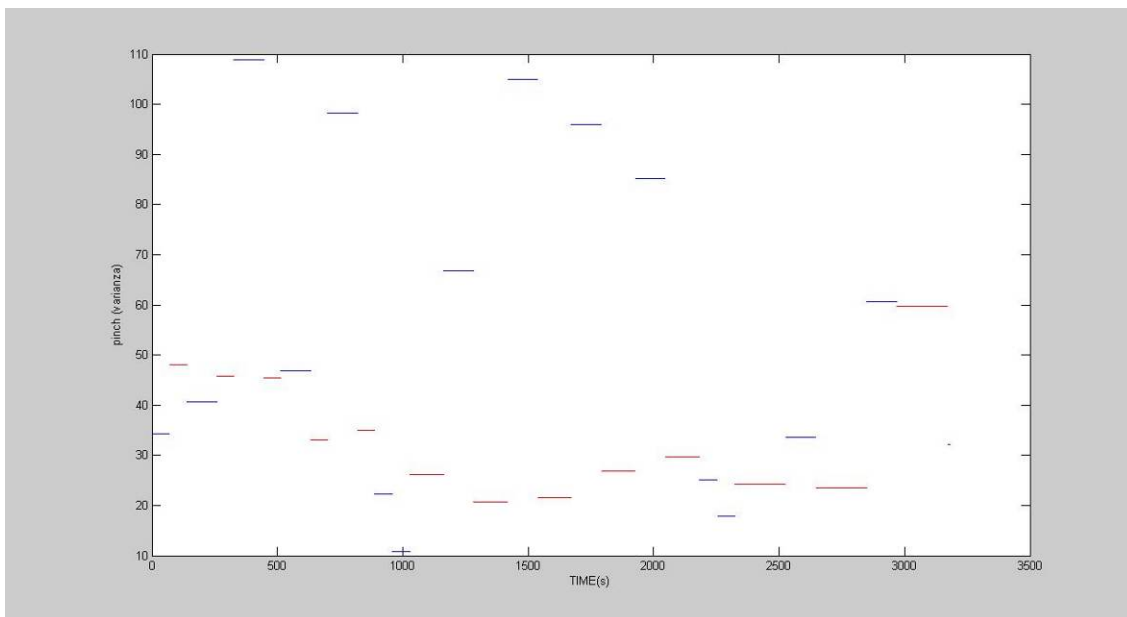


Fig. 7.2.2: Varianza del PINCH en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

En la primera imagen vemos cómo la dilatación vascular es mayor en los intervalos de actividad que en los de descanso, lo que coincide con las hipótesis comentadas con anterioridad. En cuanto a la varianza de dicha variable, no encontramos resultados concluyentes debido a que los valores parecen ser muy dispares en los intervalos de descanso, observaremos atentamente si esta anomalía se repite en experimentos posteriores.

Veamos ahora qué conclusiones podemos sacar del análisis de tendencias:

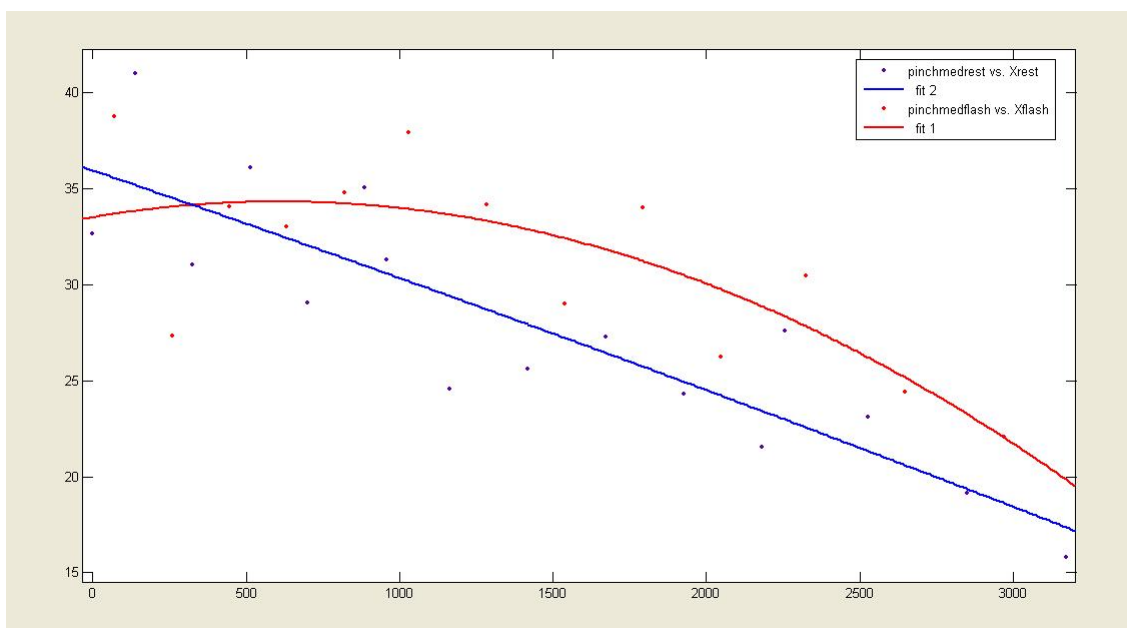


Fig. 7.2.3: Tendencia de la media del PINCH en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

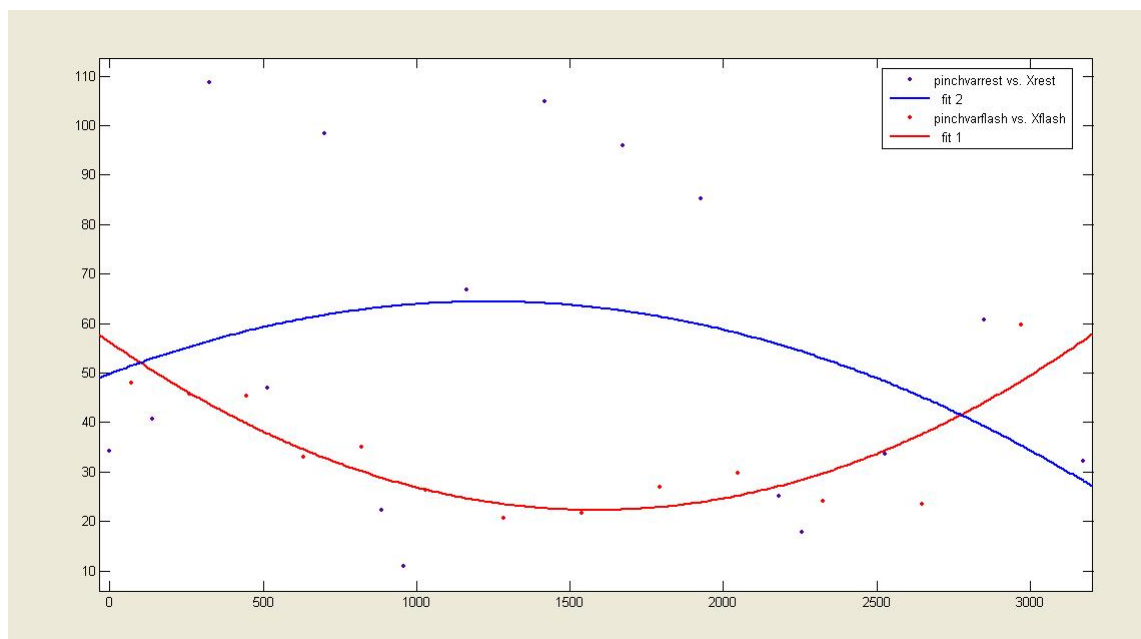


Fig. 7.2.4: Tendencia de la varianza del PINCH en los intervalos de operación y descanso.

En cuanto a la media, los valores decaen tanto para los períodos de actividad como para los de descanso, lo cual podría ser un signo de cansancio. Para la varianza, si descartamos los intervalos de descanso por los motivos que comentamos en el párrafo anterior y nos centramos en los de actividad, la varianza tiende a subir a lo largo del tiempo, lo cual significaría un aumento de la fatiga y estaría en consonancia con las hipótesis planteadas en base a los estudios citados.

7.3.- Resultados del biosensor RSP

De los datos proporcionados por el biosensor respiración (RSP), se extraen como vimos dos variables: la tasa de respiraciones ('respiration rate', RR o RPM), y la profundidad de la respiración ('respiration amplitude' o PROF). Tal como hemos hecho en los apartados anteriores, representaremos los gráficos de la media y la varianza de dichas variables conjuntamente para las tres sesiones del experimento, para a continuación sacar las conclusiones pertinentes.

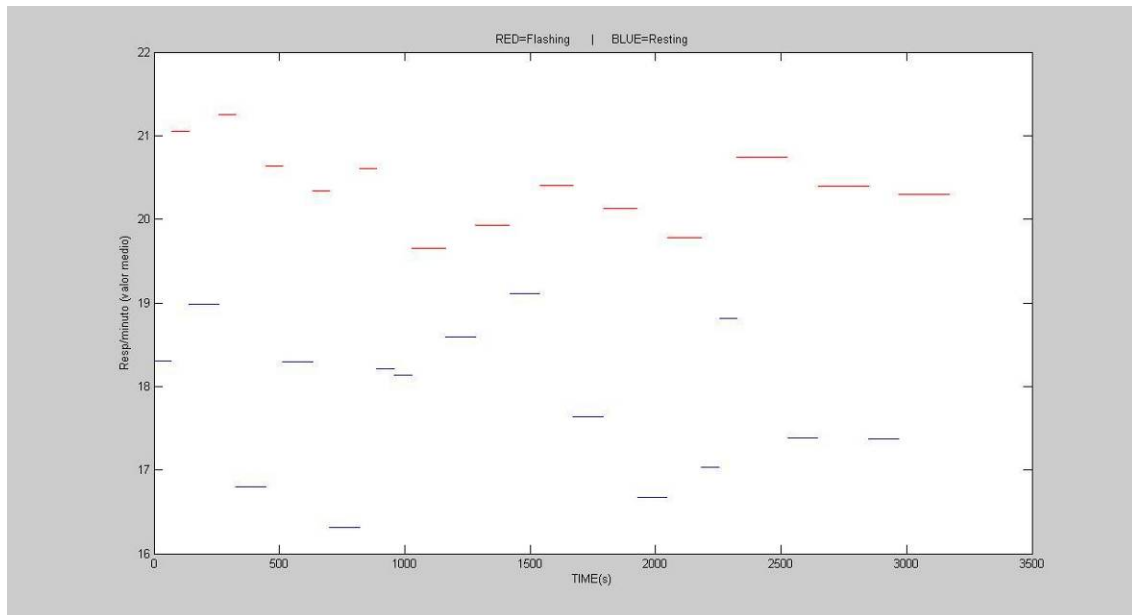


Fig. 7.3.1: Representación del RPM medio en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

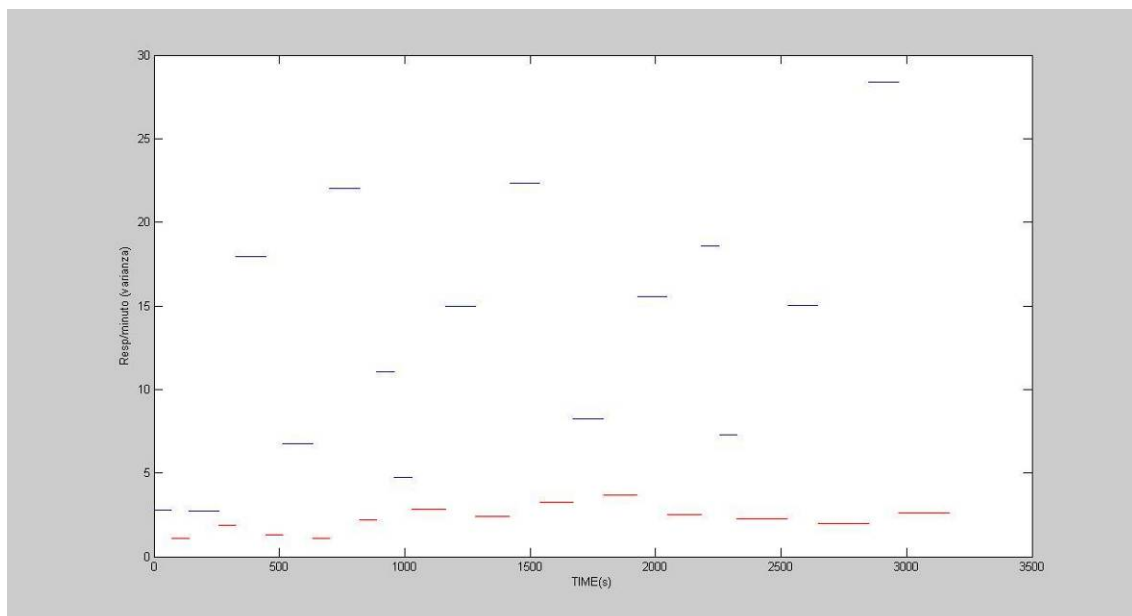


Fig. 7.3.2: Varianza del RPM en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

Es inmediato observar que la tasa de respiraciones por minuto es más alta para los intervalos de operación que para los de descanso. Esto encaja perfectamente con nuestras hipótesis de partida, que según los estudios de Wagner, Kim y Andre, consisten en que el decremento en la frecuencia de la respiración implica relajación. De la varianza, sin embargo, no obtenemos ningún resultado acorde con nuestros propósitos.

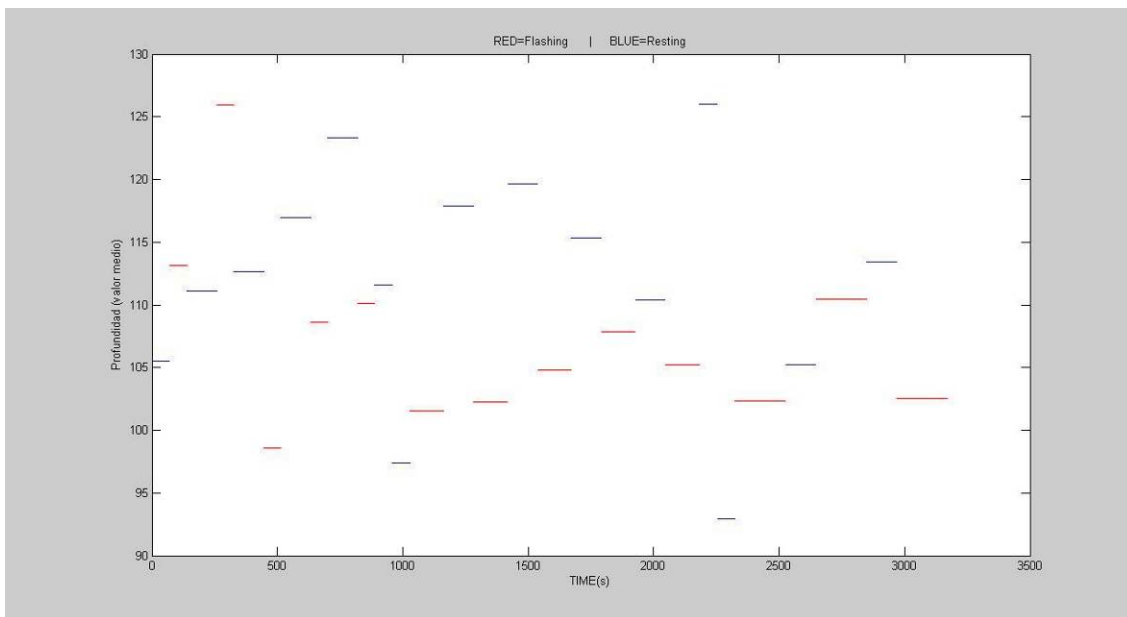


Fig. 7.3.3: Representación del PROF medio en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

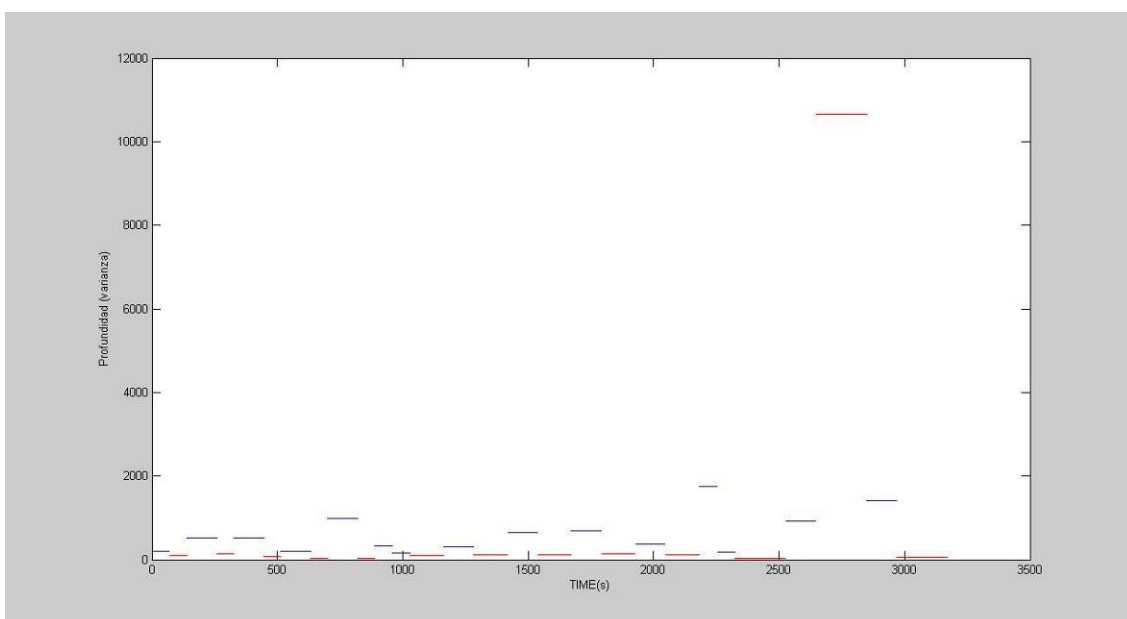


Fig. 7.3.4: Varianza del PROF en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

Respecto a la profundidad de la respiración, de nuevo vemos que la varianza no nos aporta información de interés, salvo que el valor en el antepenúltimo período es claramente un ‘outlier’. Sin embargo, los resultados en cuanto a los valores medios en cada intervalo sí que contrastan nuestras hipótesis, ya que, de nuevo según Wagner, Kim y Andre, un incremento en la profundidad de la respiración indica relajación, y en la gráfica se ve claramente que los valores en los intervalos de descanso son en general más altos.

Comprobemos si el análisis de tendencias nos dice algo más:

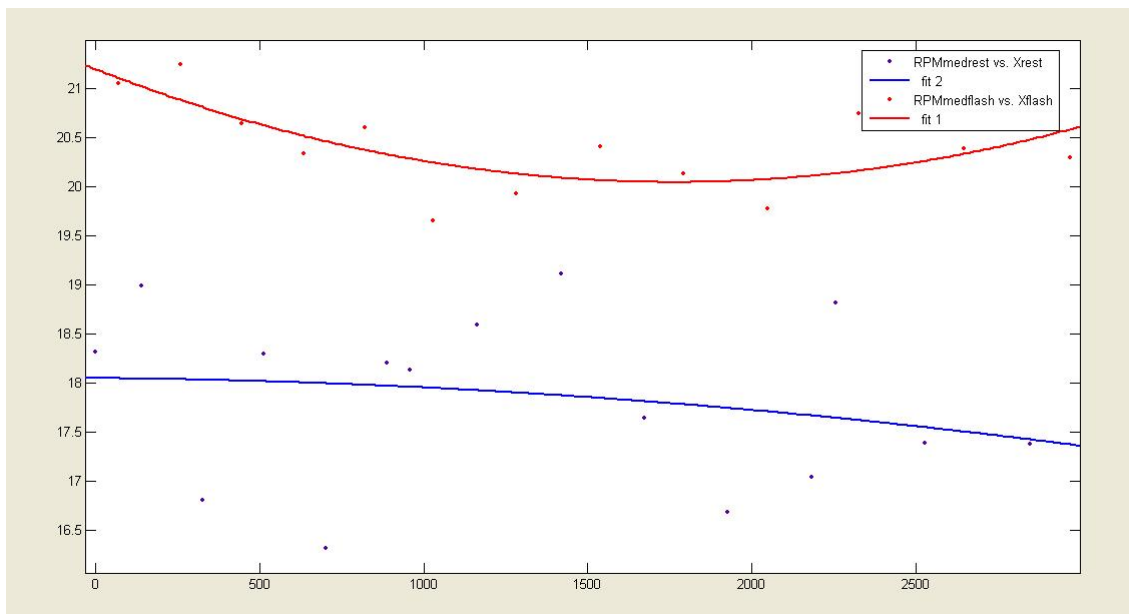


Fig. 7.3.5: Tendencia de la media del RPM en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

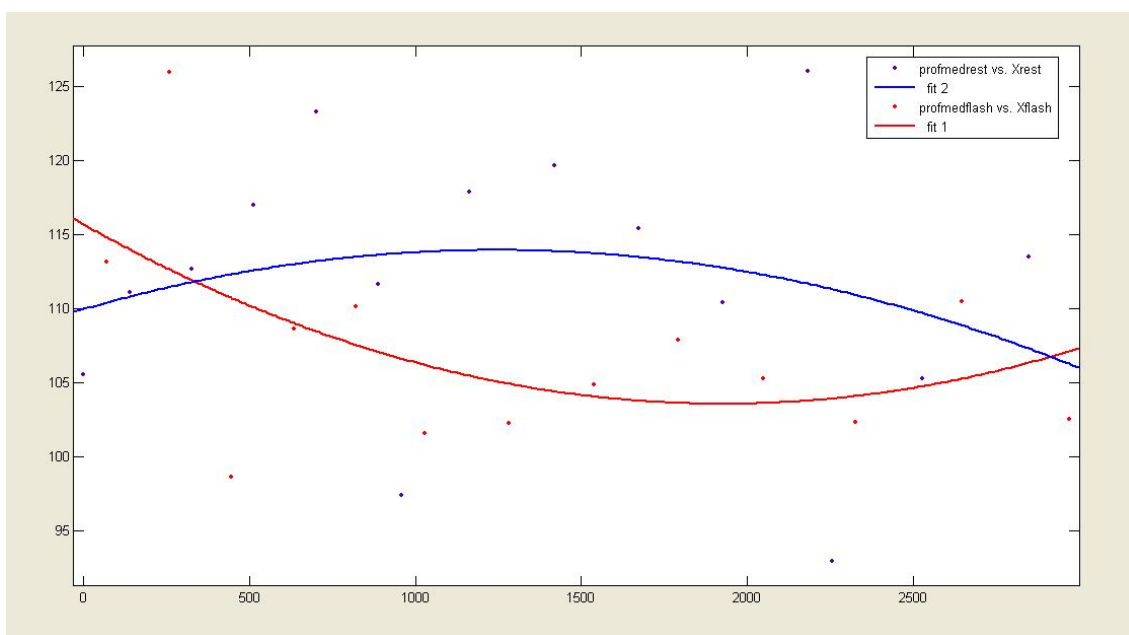


Fig. 7.3.6: Tendencia de la media del PROF en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

No representamos la tendencia de las varianzas de las dos variables, ya que ambas fueron descartadas antes. En cuanto a las medias, en la gráfica del RPM vemos que la tendencia es a aumentar en los intervalos de operación, mientras que en los de descanso se mantiene estable, no sabemos si en un experimento más largo podríamos obtener mayores conclusiones. Por el contrario, en la imagen correspondiente a la profundidad de la respiración, con el tiempo los valores en los períodos de descanso se hacen más pequeños y tienden a igualarse con los de actividad, lo cual también puede significar agotamiento.

7.4.- Resultados del biosensor SC

En el caso del biosensor SC, el procesamiento de la señal nos revelará tres variables, la propia señal SC, y una media y varianza móviles que se calculan con una ventana de 100 muestras. Observaremos sólo los datos de la primera sesión para una mayor comodidad.

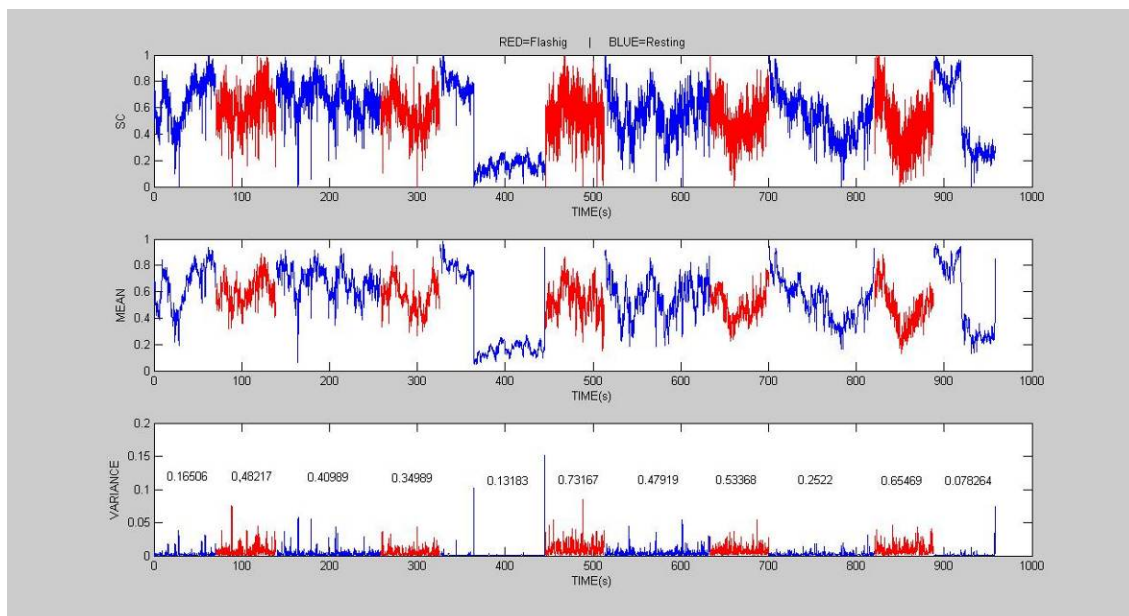


Fig. 7.4.1: Señal SC, media y varianza móvil en los intervalos de operación (rojo) y descanso (azul).

La tercera de las gráficas, la de la variabilidad del SC, es la que más información nos puede aportar. Nótese que hay unos números pintados encima de cada intervalo, se trata de la suma integral de todas las muestras de la señal dentro de dicho intervalo. Sirve para poder apreciar que la variabilidad es sensiblemente mayor en los períodos de actividad, ya que estos valores son mayores en general, aun cuando dichos períodos son más cortos (y por tanto se suman menos términos). También se aprecia a simple vista que la variabilidad es más alta cuando existe actividad por parte del sujeto.

Este resultado cumple nuestras hipótesis, relacionadas con los estudios de Haag, Goronzy, Schaich y Hedelfinger, que ya mencionamos en el capítulo 6 y que postulan que un incremento en la variabilidad de la conductividad indica estrés.

La tendencia de esta variable (en adelante variabilidad del SC) nos muestra que a lo largo del tiempo, los niveles se van igualando, lo que podría ser un signo de agotamiento.

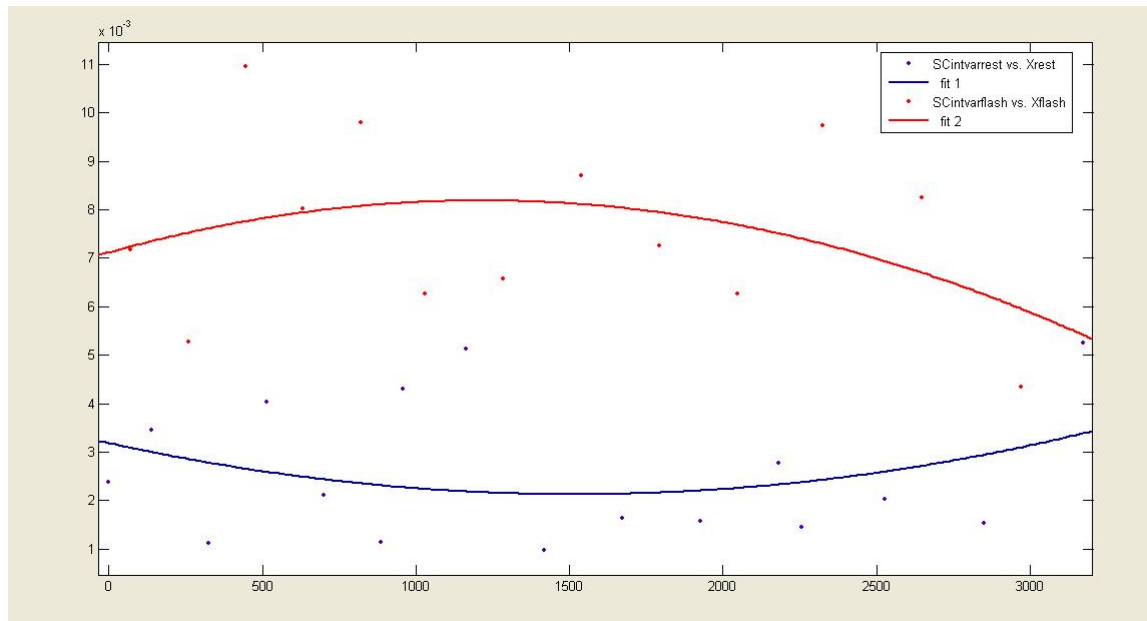


Fig. 7.4.2: Tendencia de la variabilidad del SC en los intervalos de operación y descanso.

El resto de las variables no presentaban tendencias de interés, así que no las visualizaremos aquí.

7.5.- Resultados del biosensor SpO2

El sensor de Saturación de Oxígeno no produjo resultados que pudiéramos interpretar, con lo que decidimos descartarlo para posteriores experimentos, y excluirlo de este proyecto.