

Capítulo 5

APLICACIÓN A LA DETECCIÓN DE POTENCIALES VENTRICULARES TARDÍOS

Es experiencia sin parangón con otras que pudiera escribir, lo mejor que puede acontecer a un científico, comprobar que algo ocurrido en su mente corresponde punto por punto a algo que ocurre en la naturaleza. Sobresalta siempre que sucede. Asombra que una criatura de la mente de uno goce de vida en el honrado y limpio mundo exterior. Una grande impresión, y una grande, grandísima alegría.

LEO KADANOFF

Una vez estudiados diversos métodos para la reducción de ruido, en este capítulo nos proponemos aplicar los métodos más efectivos a la detección de potenciales ventriculares tardíos.

En el primer apartado se describen los criterios que seguiremos para la detección de dichos potenciales. En el segundo apartado se describe la forma de simularlos. En el tercer apartado se analiza la mejora que introduce el filtro espectral en la detección de los PVT en registros contaminados por interferencia de red. En el cuarto apartado se estudia el efecto del promediado ponderado en la detección de PVT. Finalmente, en el quinto apartado se formulan las conclusiones a las que hemos llegado.

5.1 Criterios para la detección de los potenciales ventriculares tardíos

En el intento de normalización para el análisis de potenciales ventriculares tardíos (Breithardt et al., 1991), se hacen una serie de consideraciones sobre los criterios seguidos para considerar que existen PVT en un paciente determinado. La detección de PVT se puede realizar en el dominio del tiempo o en el dominio de la frecuencia. Habitualmente se utiliza el dominio del tiempo, por lo que será el que usaremos. Describiremos seguidamente los pasos que se siguen habitualmente en el proceso de detección de PVT en el dominio del tiempo. Después veremos cómo hemos adaptado estos criterios a nuestro caso.

La mayoría de estudios en el dominio del tiempo han usado las derivaciones bipolares X, Y, Z, que el comité que se formó en 1991 para intentar normalizar el análisis de PVT (Breithardt et al., 1991) reconoce como un estándar. Los resultados de la electrocardiografía de alta resolución dependen de las derivaciones utilizadas. De acuerdo con esto, los criterios y métodos establecidos para un determinado sistema de derivaciones pueden no ser aplicables para otros sistemas. El Comité reconoce que se requieren estudios adicionales para determinar el sistema de derivaciones óptimo.

Las derivaciones X,Y,Z se digitalizan y procesan para la detección de complejos QRS. Los latidos se comparan con una plantilla, y si la correlación entre el latido y la plantilla es suficientemente elevada, el latido se alinea y se promedia con los anteriores.

Una vez realizado el promediado, se aplica un filtro paso alto para reducir el ruido de baja frecuencia. En la mayoría de estudios en el análisis en el dominio del tiempo se ha utilizado el filtro bidireccional, que fue propuesto por Simson (1981). Este filtro está diseñado para evitar transitorios que podrían confundirse con PVT. La frecuencia de corte se sitúa habitualmente en 40 Hz. El método para evitar que los transitorios del filtro se sitúen en la zona de interés consiste en filtrar en sentido directo en el tiempo hasta un determinado punto dentro del complejo QRS (generalmente a 40 ms del inicio) y en sentido inverso en el tiempo desde el final hasta ese mismo punto. De esta forma el transitorio se sitúa dentro del complejo QRS y no al final del mismo o en el segmento ST, en donde podría confundirse fácilmente con PVT.

Una vez realizado el filtrado paso alto, las tres derivaciones X, Y, Z se combinan en la llamada magnitud vectorial (MV), suponiendo que las tres derivaciones son las

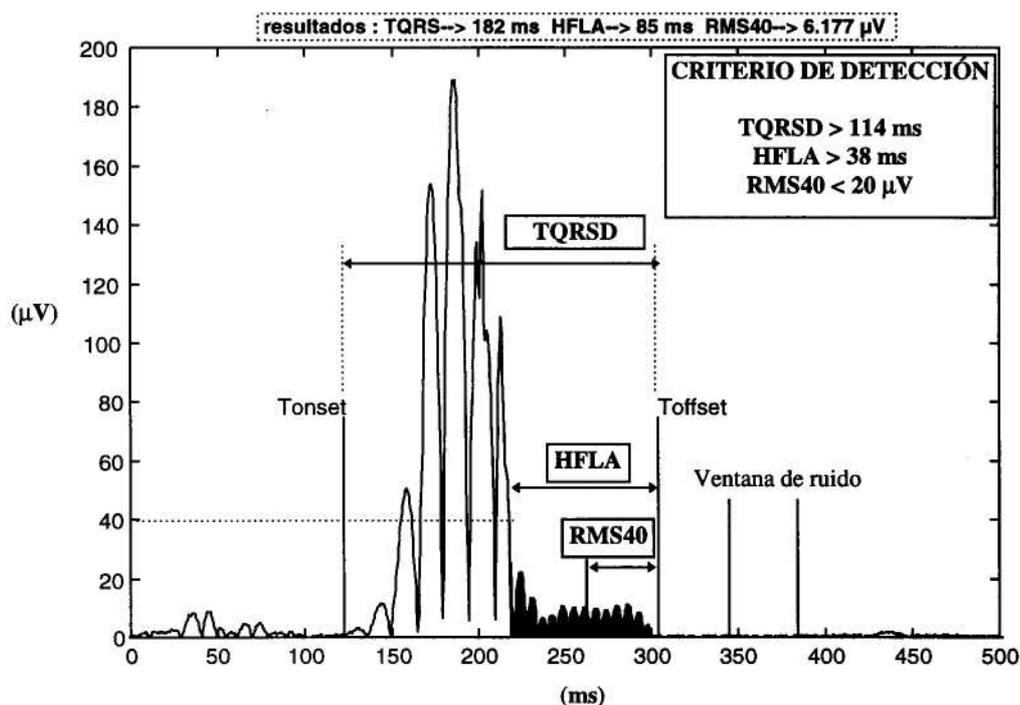


Figura 5.1 Parámetros característicos para la detección de los PVT.

componentes de un vector en un sistema ortogonal de coordenadas. La expresión es

$$MV = \sqrt{X^2 + Y^2 + Z^2} \quad (5.1)$$

Sobre la magnitud vectorial se miden tres parámetros (figura 5.1). Para medir estos tres parámetros, antes hay que determinar con exactitud los puntos de inicio y final del complejo QRS filtrado (incluyendo los PVT en caso de que estuvieran presentes). Para ello se estima el ruido en una ventana de 40 ms situada en el segmento ST. Se mide el valor medio de la tensión en esta ventana. A partir de esta tensión de ruido se determina un umbral. Desde la ventana de ruido se busca hacia atrás hasta que se supera este umbral en un segmento continuo de 10 ms. Este punto se identifica como el final del QRS (Toffset). El comienzo del QRS se determina de una forma similar (Tonset) (Reddy et al., 1992). Otros autores dan métodos ligeramente diferentes para determinar el comienzo y el final del complejo QRS filtrado, por ejemplo Simson (1981). No entraremos en mayores detalles ya que no es este el tema que nos ocupa.

La duración total del QRS (**TQRSD** o **TQRS**) se define como el intervalo entre el comienzo y el final del QRS filtrado. Este intervalo se mide en milisegundos (ver la figura 5.1). La duración de la señal de alta frecuencia y baja amplitud (**HFLA**) se define como la duración (en milisegundos) desde el final del QRS hasta el punto donde la magnitud vectorial alcanza $40 \mu\text{V}$, que corresponde a la zona sombreada en la figura 5.1. La búsqueda se realiza desde el final del QRS hacia el centro. El valor eficaz en el QRS terminal (**RMS40**) es la tensión eficaz de la señal desde el final del QRS hasta 40 ms dentro del QRS (figura 5.1).

La definición de PVT y los valores que han de tener los parámetros para que el ECG de alta resolución se considere anormal no han sido normalizados (Breithardt et al., 1991). Un criterio representativo sería el de que existen PVT (utilizando el filtro bidireccional paso alto con frecuencia de corte a 40 Hz) si

$$\begin{aligned} \text{TQRSD} &> 114 \text{ ms} \\ \text{HFLA} &> 38 \text{ ms} \\ \text{RMS40} &< 20 \mu\text{V} \end{aligned} \quad (5.2)$$

Nosotros hemos utilizado sólo una derivación en nuestras investigaciones (estándar I, estándar II, o V6-V6R según el registro). Esto puede afectar a los valores concretos de los parámetros en el criterio de detección. Sin embargo se ha de seguir observando un aumento en los valores de TQRSD y HFLA, y una disminución en el valor de RMS40 si hay PVT. Para nuestros propósitos (la comprobación de la mejora al aplicar nuevos métodos de reducción de ruido) es suficiente analizar una derivación. Además, recientes estudios indican que el análisis de una sola de las derivaciones ortogonales puede dar mejor resultado que el análisis de la magnitud vectorial (Lander et al., 1993a). Otros han utilizado derivaciones bipolares torácicas (Zimmermann et al., 1992) ya que ciertos datos sugieren que estas derivaciones son superiores al sistema ortogonal propuesto por Simson para la detección de PVT (Oeff et al., 1986). En nuestro caso no es crítico la elección de la mejor derivación ya que los PVT se simularán y añadirán posteriormente al latido promediado. Al utilizar una sola derivación, el cálculo de la magnitud vectorial quedará reducido al cálculo del módulo. Para la simulación, filtrado y análisis de los PVT se utilizó el software realizado en Matlab por Sanabria (1995).

5.2 Simulación de los potenciales ventriculares tardíos

La simulación de los PVT permite tener un control total sobre la señal añadida (forma de onda, amplitud y frecuencia) y podrá realizarse una comparación con el ECG sin PVT, cosa que no podríamos realizar si utilizáramos un registro de ECG con PVT reales. En estudios anteriores se han utilizado diversas formas de simular los PVT.

Jane et al. (1992, 1993) utilizaron una señal triangular de duración 100 ms y una amplitud de 2 mV_{pp} para simular el complejo QRS y un pulso senoidal de 80 Hz con una duración de 60 ms y una amplitud de 10 μ V situado al final del QRS artificial para simular los PVT.

Speirs et al. (1993) sintetizaron el ECG normal de forma que las características en el dominio del tiempo y de la frecuencia fueran muy semejantes a las características analizadas de la base de datos de arritmia del MIT-BIH (derivación II). Las características de los PVT se modelaron mediante señales transitorias decrecientes de banda ancha (40 Hz - 180 Hz). Estas señales se aplicaron en la onda Q y decrecían en el segmento ST.

Mesté et al. (1994) añadieron una senoide de 70 Hz con una duración de 150 ms a una señal cardíaca real (QRS). La senoide comienza poco antes del principio del complejo QRS y termina unos 50 ms después del final del complejo QRS. De esta forma simulan también potenciales anormales situados dentro del complejo QRS. El análisis de estos potenciales anormales constituye un campo de investigación actual (Lander et al., 1995).

Nosotros hemos simulado los PVT mediante una senoide de 80 Hz, con amplitud, duración y posición variable. Se ha añadido esta señal a cada uno de los latidos que se van a promediar de electrocardiogramas reales (o al latido promediado, lo que resulta equivalente, ya que no consideramos cambios de morfología o posición en los PVT de un latido a otro) y se ha situado al final del complejo QRS. Esta simulación

es apropiada para nuestros propósitos que, como ya hemos mencionado, es demostrar la mejora que representan los métodos de reducción de ruido propuestos. En la figura 5.2 puede observarse un latido promediado sin PVT y con PVT. En este caso los PVT están situados entre los 400 ms y los 500 ms, y tienen una amplitud de $10 \mu\text{V}$. El bajo nivel de ruido en los registros y la relativamente alta amplitud de los PVT añadidos permiten apreciar directamente la presencia de PVT en este caso. Pero no siempre sucede así, según se demuestra seguidamente. Si añadimos los mismos PVT a un sólo latido del registro no se distinguen del ruido presente (figura 5.2c).

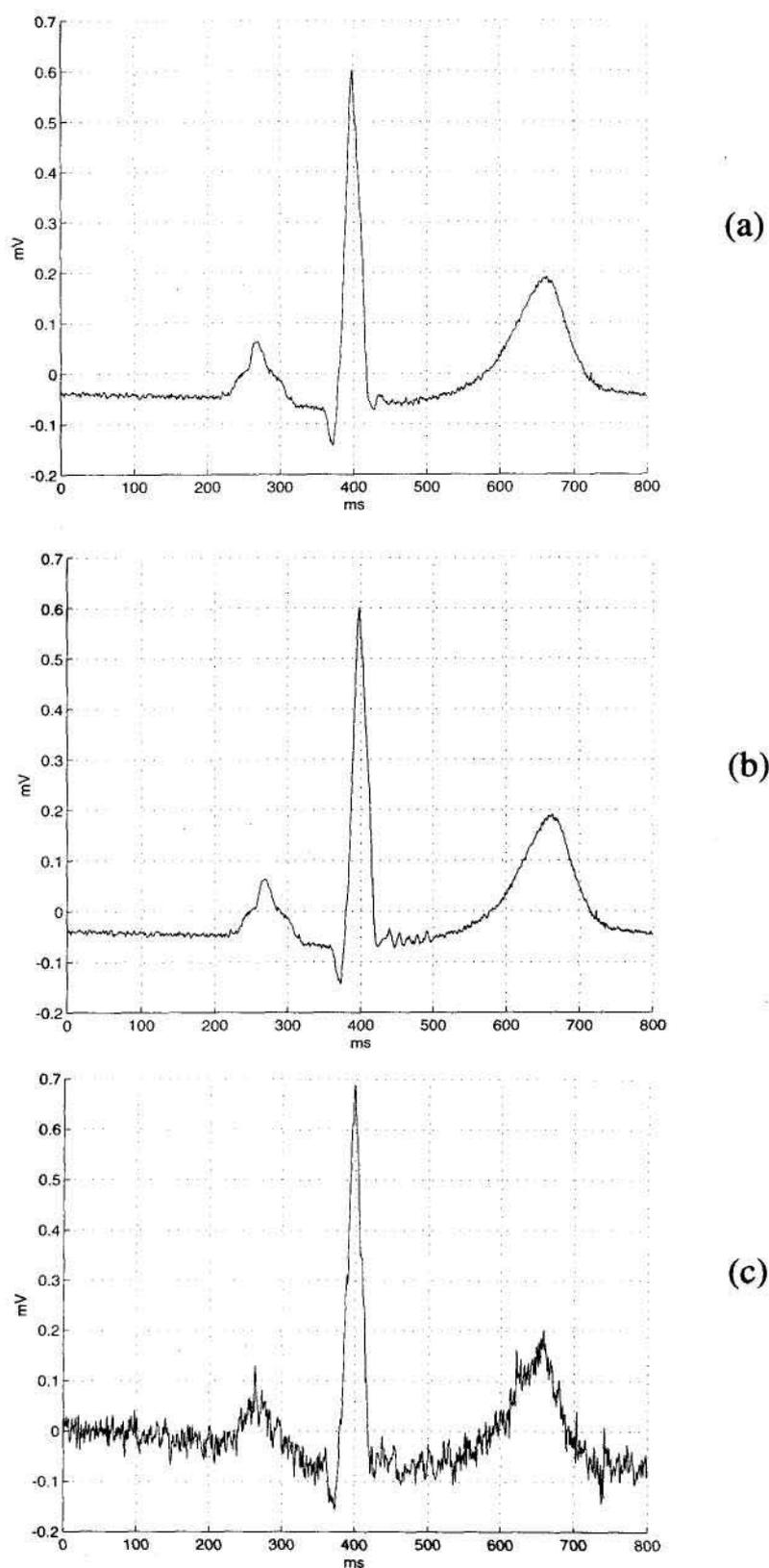


Figura 5.2 (a) Latido promediado, (b) El mismo latido con PVT añadidos (400 ms - 500 ms). (c) Los mismos PVT añadidos a un sólo latido del registro.

5.3 Aplicación del filtro espectral

Cuando el registro está contaminado con interferencia de red, acoplada por ejemplo en modo diferencial, la aplicación del filtro espectral permite detectar la presencia de PVT. En la figura 5.3a se muestra la señal con PVT añadidos (400 ms - 500 ms) y 10 μ V de amplitud una vez promediada, filtrada paso alto y hallado su módulo. En la parte superior aparecen los valores de los tres parámetros. Para simular la interferencia de red se ha añadido una senoide de 50 Hz y de 10 μ V de amplitud a la señal promediada (antes de filtrar paso alto). En la figura 5.3b se observa que los parámetros han variado de forma significativa. En la figura 5.3c se ha aplicado el filtro espectral a la señal con interferencia. Vemos que los valores de los parámetros son muy parecidos a los de la señal sin interferencia, permitiendo la detección correcta de los PVT. La bondad del filtrado es debida, en este caso, a que el filtro espectral no presenta transitorios después del QRS.

Se han comparado los resultados obtenidos con el filtro espectral con los obtenidos mediante un filtro de banda eliminada. En la figura 5.4a se observa un latido promediado con PVT. En la figura 5.4b se ha añadido una interferencia de 50,3 Hz y 50 μ V de amplitud. En la figura 5.5 se pueden comparar los resultados obtenidos mediante el filtro espectral y un filtro de banda eliminada centrado en 50 Hz. Vemos que en la señal filtrada con el filtro de banda eliminada no se distinguen los PVT, mientras que con el filtro espectral se distinguen casi tan claramente como en la señal original. En este caso el buen resultado obtenido con el filtro espectral es debido a que detecta el pico en el espectro debido a la interferencia, esté o no esté situado exactamente a 50 Hz. Ciertamente puede argüirse que un desplazamiento de la frecuencia de red hasta 50,3 Hz quizá sea poco probable en según que zonas (pero no en otras). No obstante, este caso ilustra claramente las limitaciones de los filtros de banda eliminada. Recordemos, además, que el Comité prohíbe el uso de filtros de banda eliminada para la reducción de la interferencia de red.

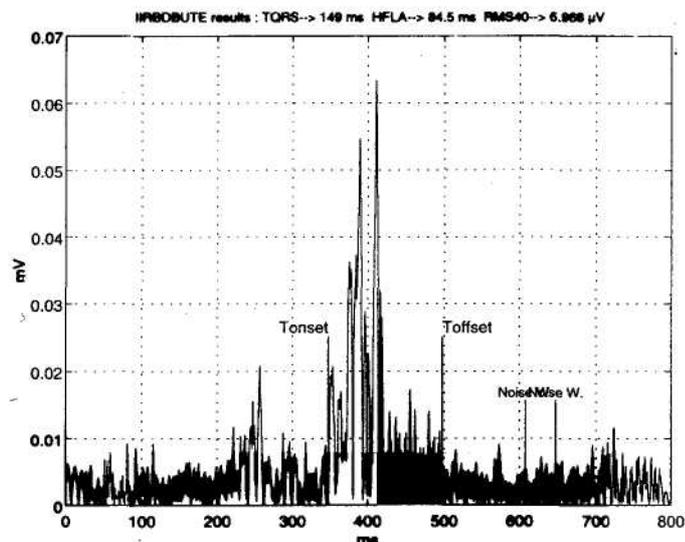
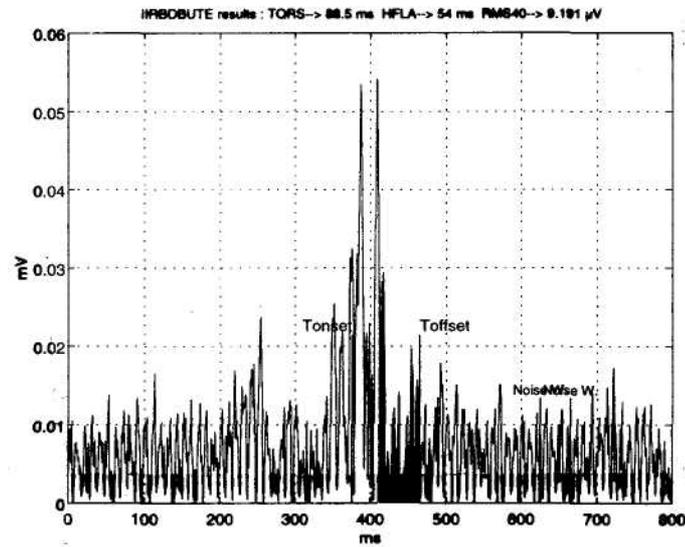
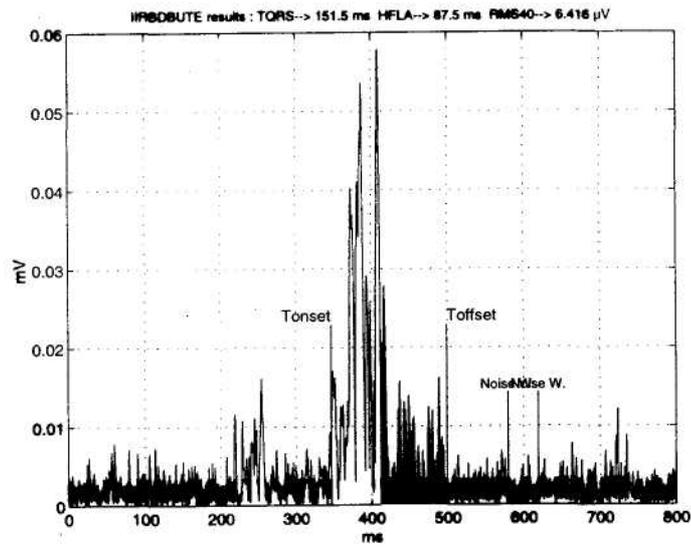


Figura 5.3 (a) Módulo del latido promediado y filtrado paso alto, con los parámetros característicos extraídos, (b) Igual que (a) con una interferencia de red añadida al latido promediado, (c) Igual que (b) después de aplicar el filtro espectral al latido promediado.

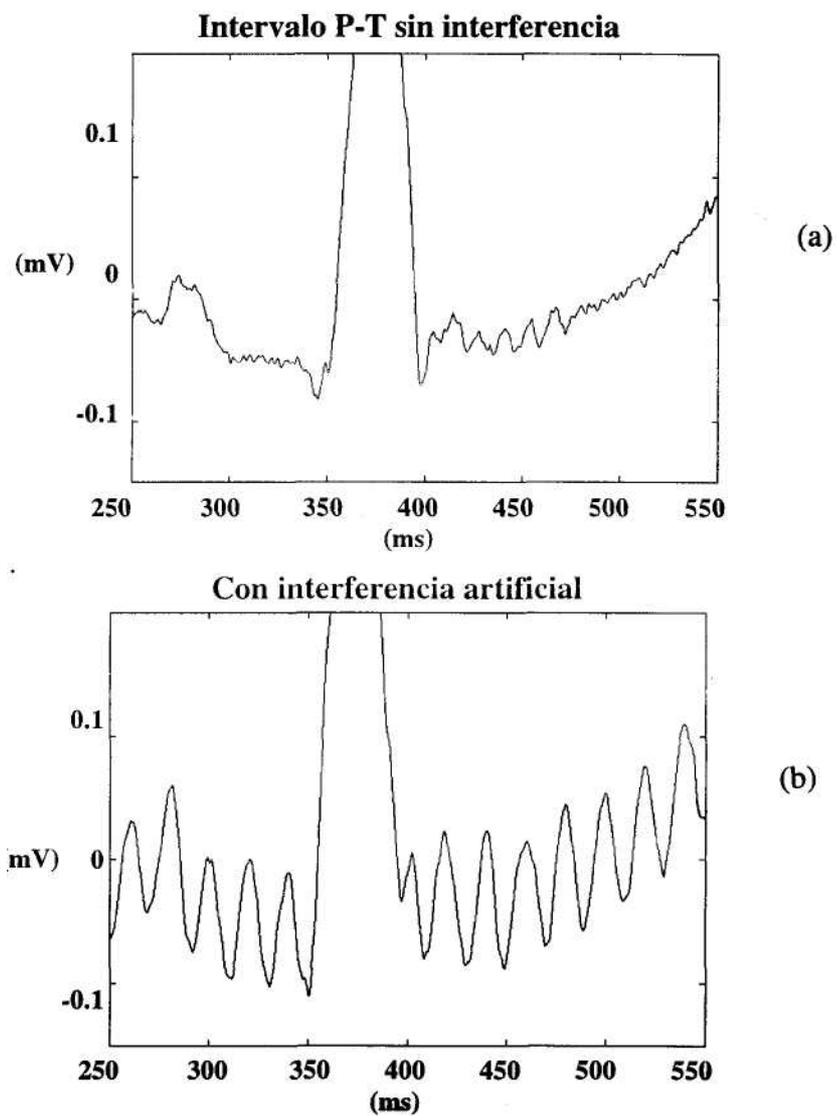


Figura 5.4 (a) Latido promediado con PVT añadidos, (b) Latido anterior con interferencia de red añadida.

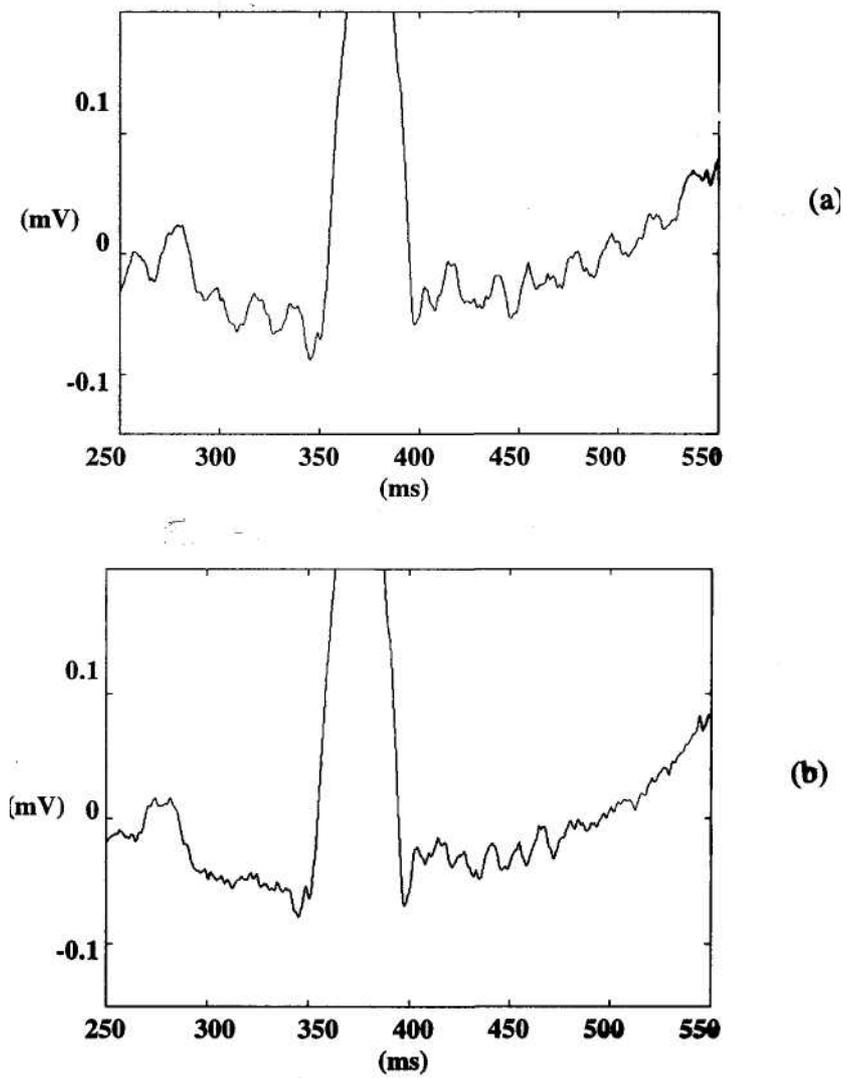


Figura 5.5 (a) Latido promediado con PVT e interferencia de red, filtrado con el filtro de banda eliminada, (b) Latido anterior filtrado con el filtro espectral.

5.4 Aplicación del promediado ponderado

Cuando el ruido en los registros no es estacionario, las técnicas de promediado convencionales no ofrecen buenos resultados. Como alternativa proponemos el promediado ponderado. El ruido no estacionario se ha simulado añadiendo a los 30 primeros latidos de un registro de 65 latidos un ruido blanco gaussiano de $100 \mu V_{ef}$. Bataillou et al. (1991) añadieron al mismo latido ruido blanco con diferentes variancias conocidas. También en este caso la simulación nos permitirá un mayor control sobre las características del ruido no estacionario que si utilizáramos registros con ruido no estacionario real. En la figura 5.6 se muestra el valor eficaz del ruido en función del número del latido antes y después de añadir el ruido a los primeros 30 latidos. En la figura 5.7a se muestra un latido con PVT (de 250 ms a 300 ms y $10 \mu V$ de amplitud) obtenido mediante promediado no ponderado, después de filtrar paso alto y hallar el módulo. En la figura 5.7b se muestra el latido anterior cuando se ha añadido el ruido no estacionario. Vemos que no se han detectado los PVT. En la figura 5.7c se ha aplicado el promediado ponderado. En este caso sí que se han detectado correctamente los PVT, dando unos valores de los parámetros parecidos a los obtenidos antes de añadir el ruido no estacionario.

Para acabar veremos la aplicación conjunta del filtro espectral y el promediado ponderado. En un registro de 2 minutos de duración (121 latidos) se simuló la interferencia de red mediante una senoide de 49,9 Hz y $100 \mu V$ de amplitud. Se añadió ruido blanco gaussiano de $100 \mu V_{ef}$ en el segundo minuto del registro. Se aplicó un filtro de banda eliminada (Laakso, 1994) y promediado clásico. El resultado puede verse en la figura 5.8a (después de aplicar el filtro bidireccional al latido promediado y hallar el módulo). Los PVT se simularon mediante una senoide de 80 Hz, $5 \mu V$ de amplitud y 100 ms de duración (200 ms - 300 ms). Vemos que no se han detectado los PVT. Por otra parte, se aplicó el filtro espectral y el promediado ponderado. Los pesos se calcularon a partir de un intervalo de 100 ms en el segmento ST (300 ms - 400 ms) filtrado mediante un filtro de Butterworth de segundo orden paso alto aplicado en sentido directo e inverso en el tiempo. La frecuencia de corte fue de 40 Hz. El resultado

(después de aplicar el filtro bidireccional al latido promediado y hallar el módulo) se encuentra en la figura 5.8b. Vemos que los PVT se han detectado correctamente.

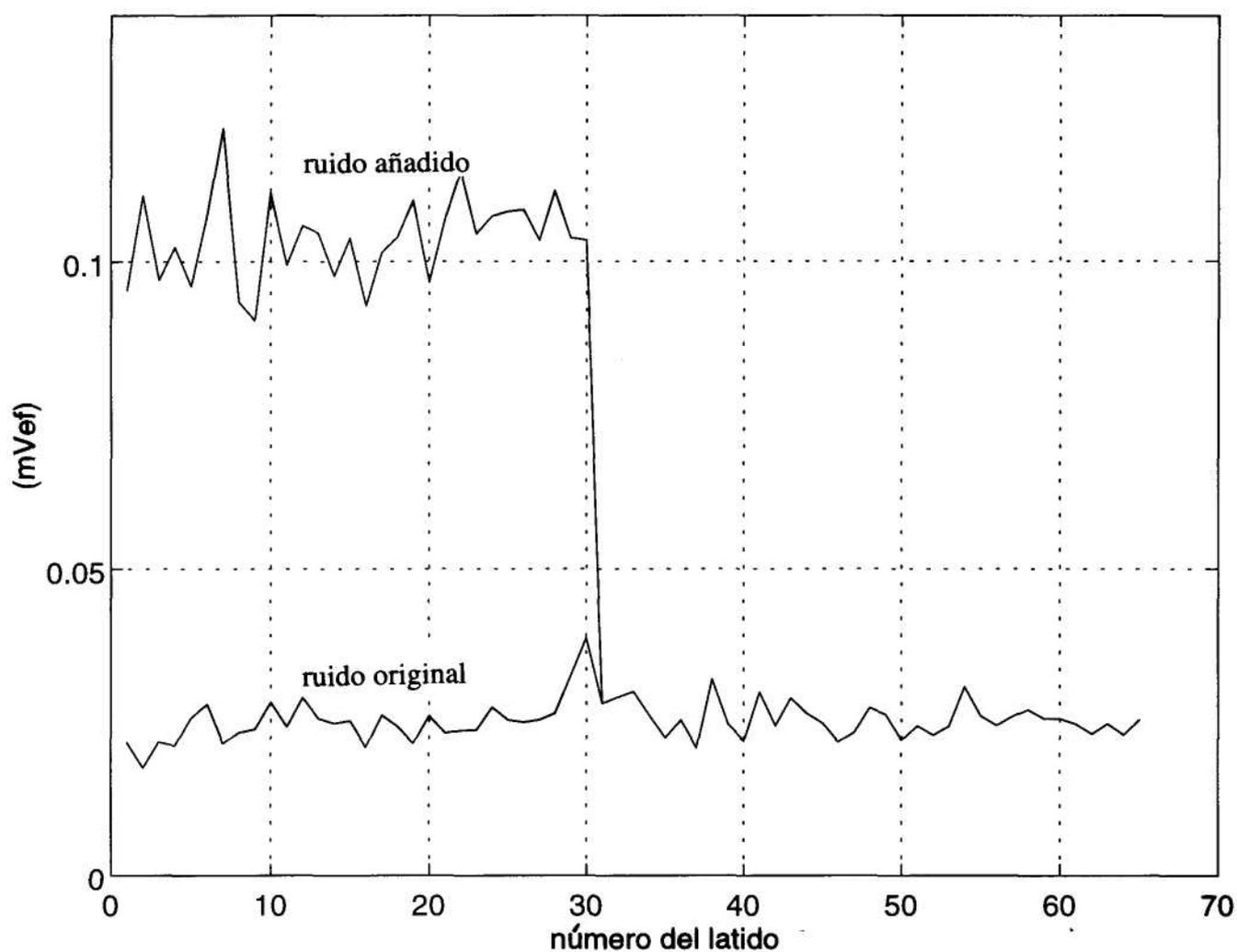


Figura 5.6 Tensión eficaz de ruido estimada en un intervalo de 50 ms del segmento ST antes y después de añadir ruido a los 30 primeros latidos.

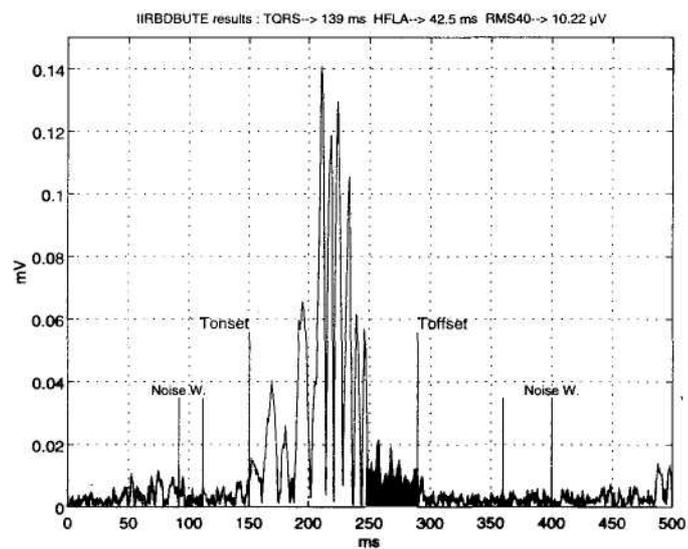
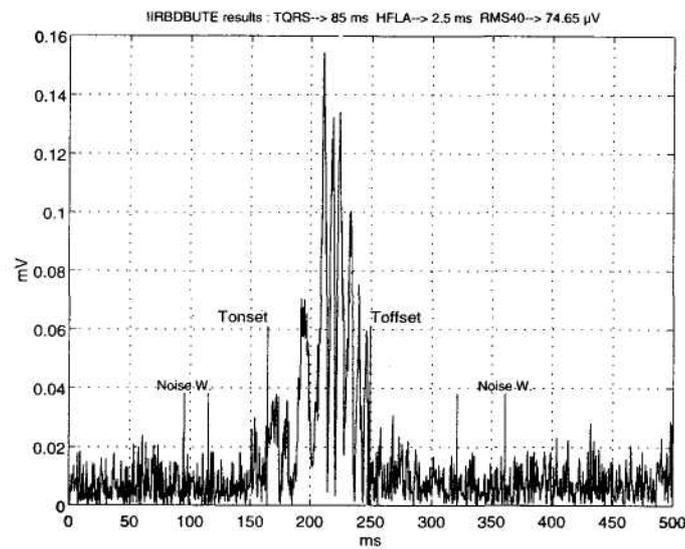
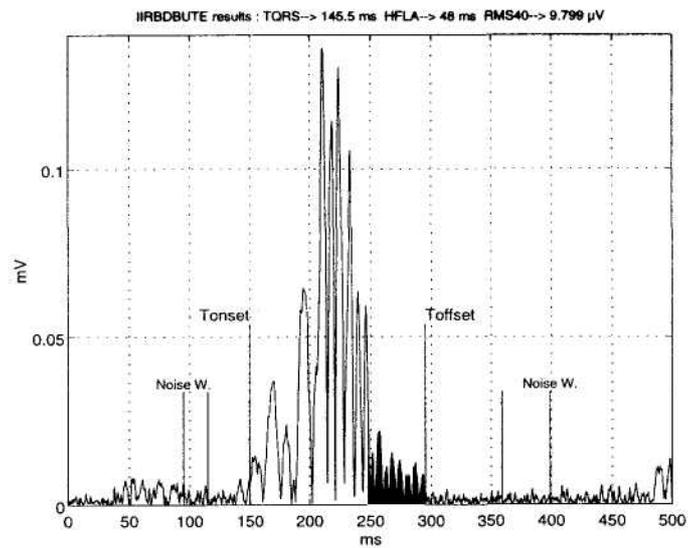


Figura 5.7 (a) Módulo del latido promediado (sin ponderar) con PVT (80 Hz, 250 ms - 300 ms, $10 \mu V_p$) después de filtrar paso alto (b) Igual que (a) con ruido añadido a los primeros 30 latidos, (c) Igual que (b) aplicando promediado ponderado.

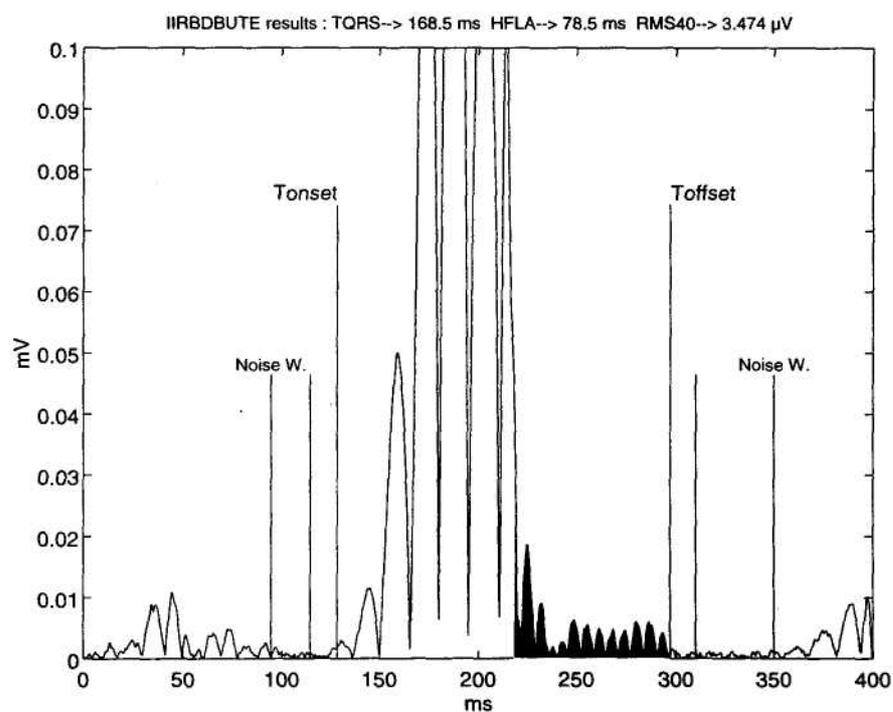
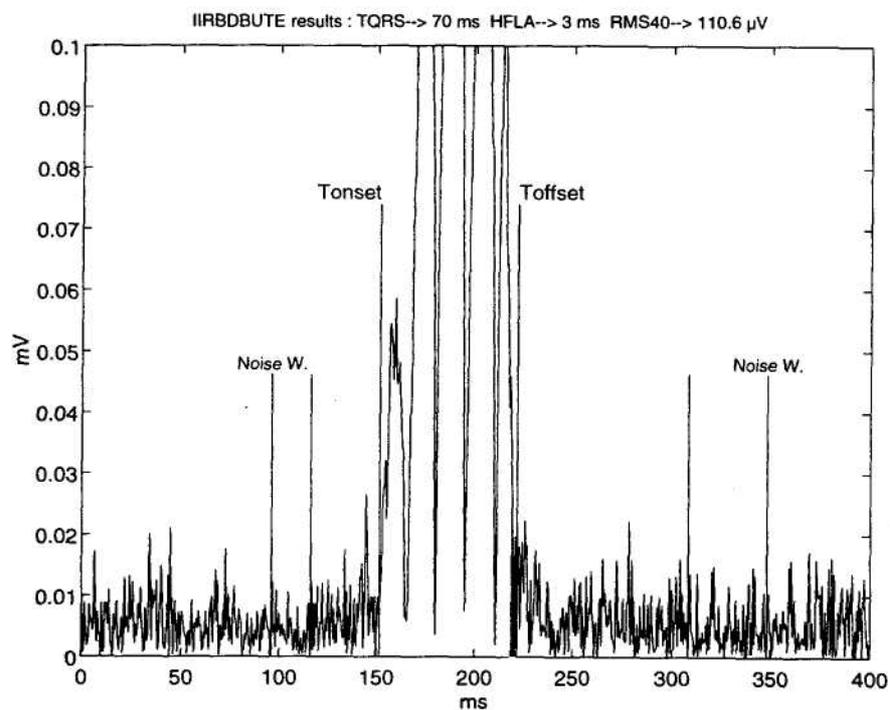


Figura 5.8 (a) Aplicación de un filtro de banda eliminada y promediado clásico a un registro contaminado por interferencia de red y ruido no estacionario, (b) Aplicación del filtro espectral y del promediado ponderado al mismo registro.

5.5 Conclusiones

Hemos visto en este capítulo que los resultados del capítulo anterior siguen siendo válidos en presencia de PVT. Se ha mostrado que en determinadas condiciones el filtro espectral permite la correcta detección de PVT, mientras que un filtro habitual de banda eliminada no. También se ha demostrado que el promediado ponderado presenta ventajas sobre el promediado clásico en caso de registros con un alto grado de no estacionariedad. Finalmente hemos verificado que es posible aplicar conjuntamente el filtro espectral y el promediado ponderado y, como era de esperar, la ventaja que representa esta técnica frente a la aplicación de un filtro de banda eliminada y el promediado clásico.