

# EVALUACIÓN DE MÉTODOS DE DETECCIÓN DINÁMICA DE ALTERNANCIAS DE ONDA T. ESTUDIO BASADO EN UN SIMULADOR.

*Juan Pablo Martínez Cortés, Salvador Olmos Gassó, Pablo Laguna Lasaosa*

Departamento de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones  
Universidad de Zaragoza. María de Luna, 3. 50015 Zaragoza  
[jpmart@posta.unizar.es](mailto:jpmart@posta.unizar.es)

## ABSTRACT

The presence of T-wave alternans (TWA) in surface electrocardiogram (ECG) is recognized as a marker of electrical instability, and is related with patients at increased risk of suffering malignant ventricular arrhythmias.

In this paper we present a simulation study allowing the performance comparison in terms of sensitivity, positive predictivity and amplitude RMS error of the various methods proposed up to date for TWA detection. The selected methods were: complex demodulation (CD), correlation method (CM), as well as two variants: Capon statistical filtering (CF) and a method based on the Karhunen-Loève (KL) transformation.

Detection parameters were evaluated, as well as the ability to recover the TWA waveform. It was observed that for low amplitude TWA, CM performed worse than the other methods, which showed a similar performance.

## 1. INTRODUCCIÓN

La muerte súbita cardiaca (SCD) es la causa principal de mortalidad en los países desarrollados. Actualmente no existe ningún método efectivo para identificar pacientes con alto riesgo de padecer SCD. El desafío actual consiste en desarrollar pruebas no invasivas que permitan identificar a estos pacientes antes de que experimenten episodios graves de arritmia. Recientemente, una parte importante de esta investigación se ha centrado en las alternancias de onda T, consideradas un indicador prometedor para estratificar el riesgo de padecer arritmias malignas.

Las alternancias de onda T consisten en una variación consistente en la morfología, amplitud o duración de la onda T, que se produce cada dos latidos. Se pueden encontrar episodios en muy variadas situaciones clínicas, que denotan inestabilidad eléctrica (síndrome de QT largo, isquemia, infarto...). Si bien los episodios visibles de TWA son infrecuentes, el procesado digital de la señal ha permitido la identificación de alternancias no visibles (del nivel de microvoltios), que son mucho más frecuentes.

El objetivo de este trabajo es la evaluación de los distintos métodos de detección propuestos, diseñando para ello un simulador de señal ECG con episodios de TWA.

## 2. MÉTODOS

### 2.1. Simulación de TWA.

Puesto que en señales ECG se desconocen amplitud y duración de los episodios de TWA, proponemos un estudio de simulación

que permite cuantificar las prestaciones de los detectores en señales simuladas bajo condiciones de ruido diversas.

La señal ECG limpia se obtiene a partir de la repetición periódica de un único latido. A esta señal se le añade ruido aditivo y episodios de alternancia. Se consideran 4 fuentes de ruido: ruido blanco gaussiano y tres registros de ruido fisiológico de la *MIT-BIH Noise Stress Test Database* correspondientes a: desviaciones de línea de base ('bw'), movimiento de electrodos ('em') y ruido de actividad muscular ('ma'). Los episodios de TWA se simulan sumando y restando alternativamente una forma de onda de los complejos ST-T del ECG simulado. La amplitud de esta forma de onda está modulada a su vez por la "evolución del episodio". Por tanto, los parámetros de una simulación son: el tipo y nivel de ruido, la forma de onda alternante, la forma del episodio, su duración y su amplitud máxima.

### 2.2. Detección de TWA.

Los detectores de TWA presentan tres bloques: preprocesado, estimación espectral y regla decisora.

El objetivo del preprocesado es obtener una matriz de complejos ST-T alineados (una fila para cada latido) donde se ha eliminado la información que no corresponde a la repolarización cardiaca. Se han considerado las siguientes etapas: detección de QRS, eliminación de línea de base, y segmentación y alineación de los complejos ST-T.

El segundo bloque se encarga de realzar las componentes alternantes con frecuencia 0.5 ciclos/latido, presentes en las series temporales, una por cada muestra dentro del complejo.

De entre los métodos barajados en la literatura, se ha descartado en este trabajo el método espectral [1], que es el más extendido, ya que no proporciona valores de alternancia latido a latido, y no es adecuado para el análisis de episodios no estacionarios.

Los métodos implementados y evaluados en este trabajo han sido: Demodulación Compleja (CD) [2], Método de la Correlación (CM) [3] y junto con dos variantes: Filtrado estadístico de Capon (CF) y esta misma técnica tras aplicar reducción de rango con la transformada de KL. La descripción de los dos primeros puede encontrarse en la bibliografía.

El Filtrado de Capon es una variación del método CD. Se define un filtro de Capon dependiente de los datos, que minimice la energía a su salida, con la restricción de que debe tener respuesta unidad a la frecuencia de la alternancia (0.5 ciclos/latido). De esta manera, el filtro se adapta a la estadística de la señal.

La segunda propuesta consiste en realizar una transformación de los complejos ST-T mediante la transformada de KL, reduciendo de esta manera los datos a 4 componentes principales por latido. El método CF se aplica posteriormente a las 4 series de KL.

El tercer bloque consiste en un decisor basado en umbrales de amplitud y de duración a la serie temporal de amplitud de TWA.

### 3. RESULTADOS

Se han simulado señales ECG monoderivacionales de 30 minutos con distintos tipos y niveles de ruido (SNR = 5, 10, 15 y 20 dB), utilizando una ventana de Hanning como forma de onda alternante, y con episodios triangulares (la alternancia aumenta de forma lineal hasta llegar a un máximo, a partir del cual descende), con una duración de 31 latidos, simulando un total de 20 TWA en cada registro. Se han simulado amplitudes alternantes desde 25  $\mu\text{V}$  hasta 400  $\mu\text{V}$  rms.

Los parámetros utilizados en la evaluación de los métodos han sido: Sensibilidad (S) y Valor Predictivo Positivo (+P) en la detección de episodios de TWA, Sensibilidad ( $S_d$ ) y Valor Predictivo Positivo ( $+P_d$ ) en la determinación de latidos alternantes (parámetros de duración), y el error rms en la estimación de la amplitud de TWA latido a latido.

A modo de ejemplo, mostramos en la Figura 1 los resultados de S y +P para ruidos 'em' y 'ma' con amplitud de TWA de 25  $\mu\text{V}$ .

Podemos distinguir dos situaciones: Para amplitudes de alternancias mayores de 50  $\mu\text{V}$ , obtenemos S y +P cercanas al 100 % para SNR > 5 dB con todos los métodos evaluados. Sin embargo, para niveles más bajos de alternancia, como los 25  $\mu\text{V}$  de la Figura 1, se observa que las prestaciones del CM son claramente peores que los otros 3 métodos. También en la medida del error rms en la estimación de la amplitud de los episodios de TWA se aprecia el peor comportamiento del método CM respecto a los otros tres.

Otro aspecto considerado en este trabajo ha sido la recuperación de la forma de onda alternante a lo largo del complejo ST-T. Esta forma puede proporcionar información de la localización espacial de la fuente alternante en el corazón. De entre los métodos estudiados, el método CM es el único que no permite la estimación de la forma de onda alternante. En la Figura 2 se muestran las estimaciones obtenidas para distintas formas de onda alternante simuladas (Hanning y sinusoidal), utilizando los restantes tres métodos (CD, CF y KL+CF), así como el método espectral (FFT).

### 4. CONCLUSIONES

Mediante un estudio de simulación, se han evaluado 4 métodos de detección dinámica de alternancias de onda T. Los resultados indican buenas prestaciones para todos los métodos en detección de TWA mayores de 50  $\mu\text{V}$ . Sin embargo, en detección de alternancias de pequeña amplitud (25  $\mu\text{V}$ ), la capacidad del método de la correlación es mucho menor que los métodos basados en el filtrado, no encontrándose diferencias notables entre los restantes 3 métodos. Esto nos lleva a preferir, por sencillez, el método de la Demodulación Compleja.

Se ha considerado también la estimación de la forma de onda alternante durante los episodios con las diferentes técnicas.

**Agradecimientos** Este trabajo ha sido financiado por los proyectos 2FD97-1197-CO2-01 (FEDER) y P40/98 (DGA), así como una beca postdoctoral en el extranjero a S. Olmos (MEC PF 00 21479412).

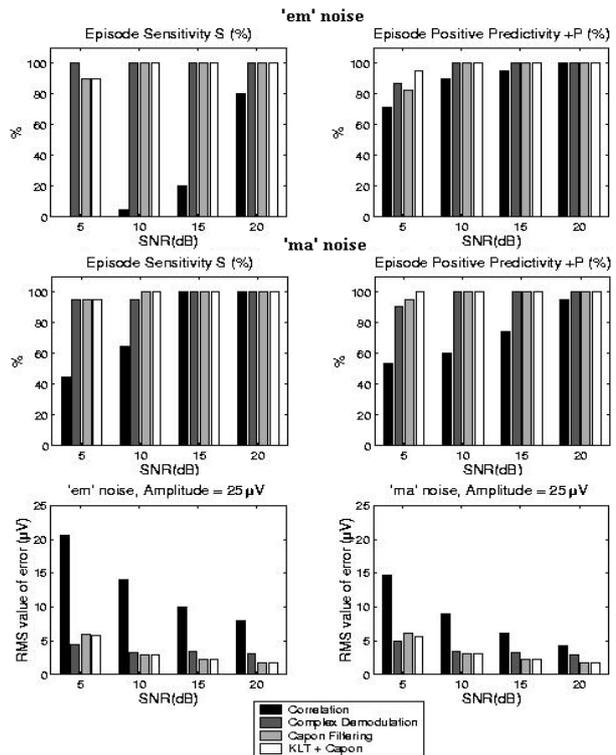


Figura 1. Parámetros de detección obtenidos con TWA de 25  $\mu\text{V}$ .

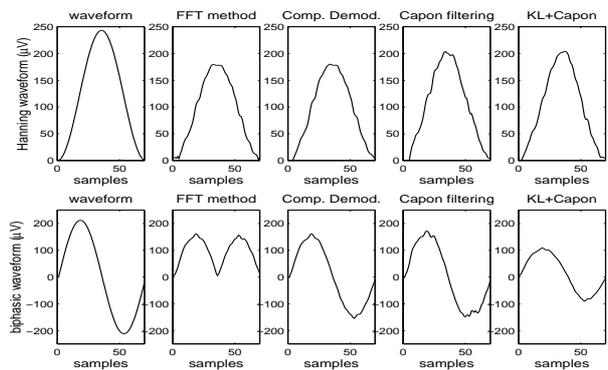


Figura 2. Estimación de la forma de onda alternante con ruido 'ma' y amplitud de TWA 25  $\mu\text{V}$ .

### 5. REFERENCIAS

- [1] Rosebaum, D.S., Jackson, L.E., Sith, J.M., Garan, H., Ruskin, J.N. and Cohen, R.J., "Electrical alternans and vulnerability to ventricular arrhythmias", *The New England Journal of Medicine*, vol. 330, pp. 235-241, January 1994.
- [2] Nearing, B.D. and Verrier, R.L., "Personal computer system for tracking cardiac vulnerability by complex demodulation of the T-wave," *Journal of Applied Physiology*, vol.74, pp. 2607-2616, 1993.
- [3] Burattini, L, Zareba, W, Courdec, J, Titlebaum, E and Moss, A. "Computer detection of non-stationary T-wave alternans using a new correlation method," in *Computers in Cardiology*, vol. 24, pp. 657-660, 1997.