

# Desarrollo de una aplicación de software libre incorporando técnicas avanzadas de procesamiento de la señal Electrocardiográfica (ECG).

**Jhosmary Cuadros<sup>a</sup>, Rubén Medina<sup>b</sup>, Rubén  
Rojas<sup>b</sup>, Tulio Nuñez<sup>c</sup>**

*<sup>a</sup>Postgrado de Ingeniería Biomédica. Universidad de los Andes,  
Mérida 5101, Venezuela*

*<sup>b</sup>Escuela de Ingeniería Eléctrica. Facultad de Ingeniería. Universidad  
de los Andes, Mérida 5101, Venezuela*

*<sup>c</sup>Hospital Universitario de la Universidad de los Andes, Centro  
Cardiovascular, Mérida 5101, Venezuela.*



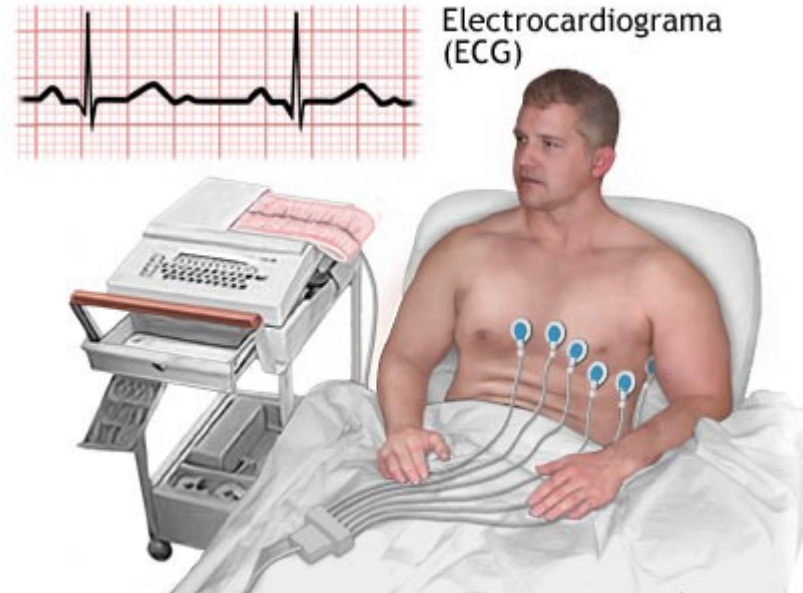
## Introducción

---

- Las enfermedades cardiovasculares se destacan como una de las principales causas de mortalidad en la población adulta de Venezuela.
- Las enfermedades cardiovasculares más comunes son: Hipertensión Arterial, Diabetes, Cardiopatía Isquémica y la Isquemía Cerebral.
- Según registros del Corposalud Mérida, en el 2008 se registraron 23.381 casos de morbilidad por enfermedades cardiovasculares de los cuales 1.126 casos fueron por enfermedad isquémica del corazón y 17.475 por hipertensión arterial.
- El uso y desarrollo de técnicas no invasivas como la electrocardiografía abre una perspectiva útil para el diagnóstico y tratamiento en este tipo de pacientes.

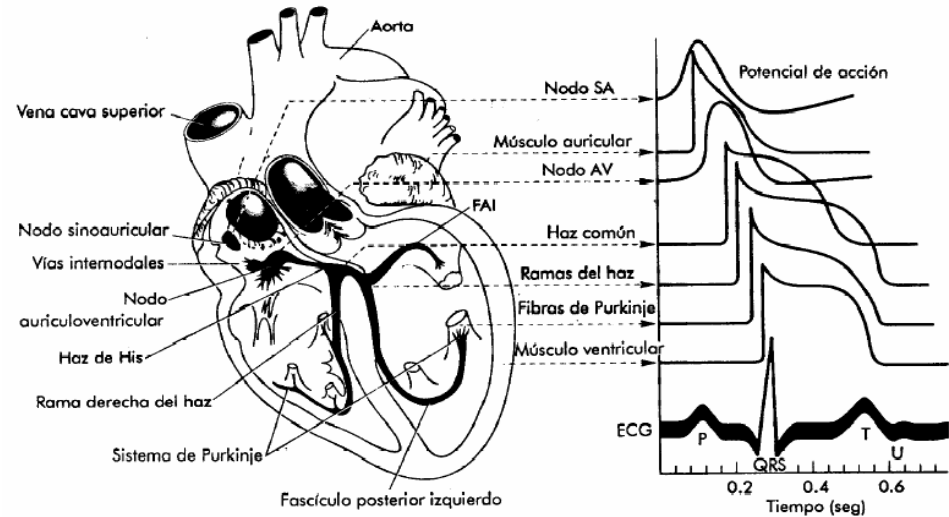
## Electrocardiograma(ECG)

- Es la representación gráfica de la actividad eléctrica del corazón.
- Se obtiene a través de un electrocardiógrafo.
- Tiene gran valor clínico para diagnosticar infartos de miocardio recientes o antiguos, efecto de medicamentos cardíacos y no cardíacos y desequilibrios, entre otros.



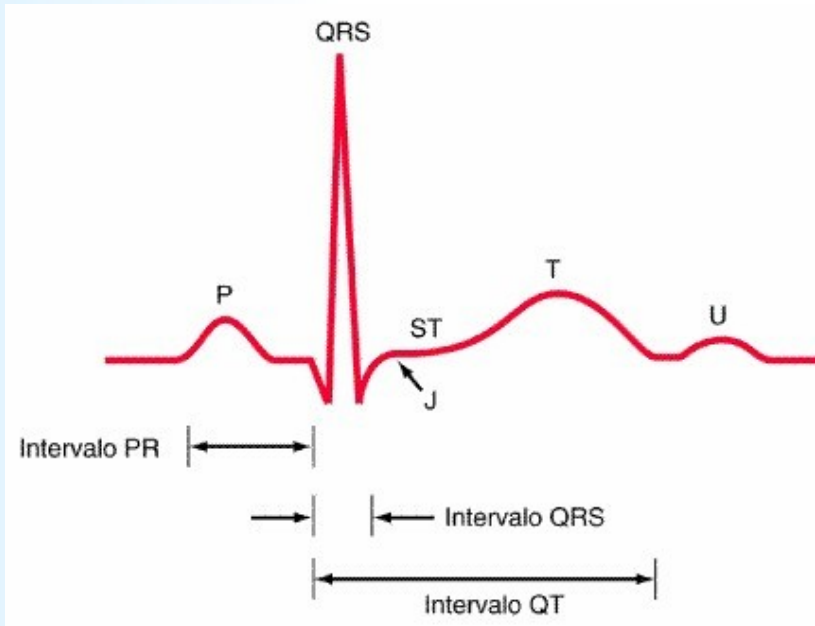
## Ondas del Electrocardiograma

- El trazado típico de un electrocardiograma registrando un latido cardíaco normal consiste en una onda P, un complejo QRS y una onda T.
- Los intervalos de tiempo entre las diferentes ondas del ECG reflejan procesos electrofisiológicos y tienen implicaciones clínicas cuando están fuera del margen de variación normal.



Señal de biopotencial en el corazón.  
Ganong W., 2001, Cap. 28.

## Intervalo QT



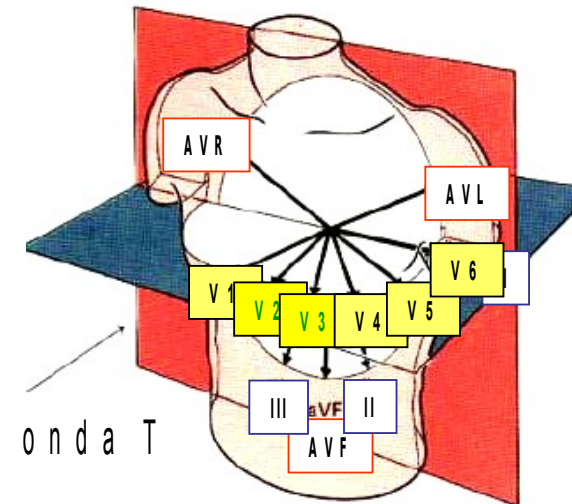
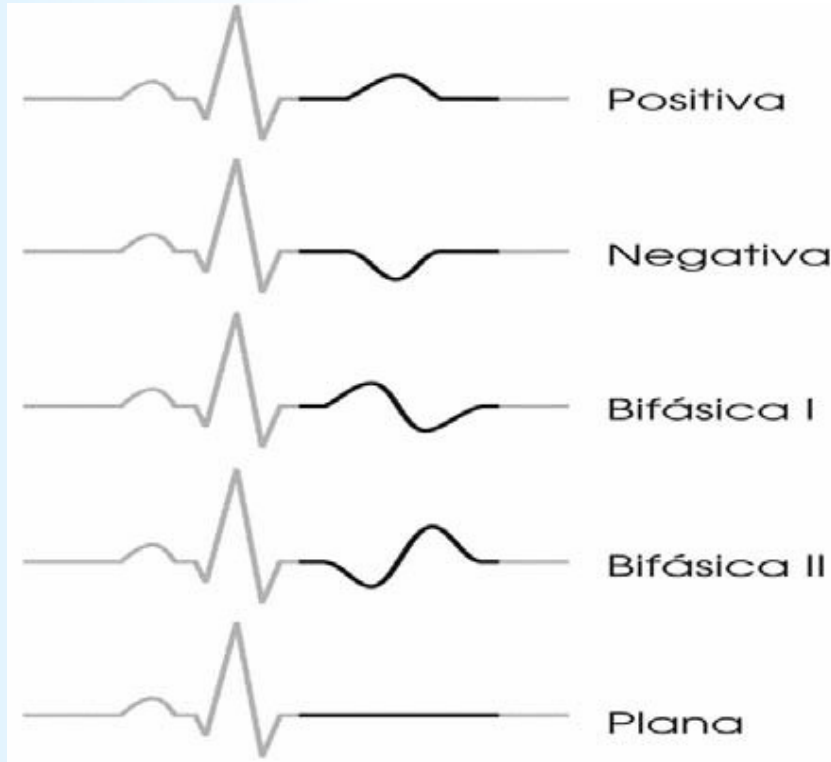
**Intervalo QT:** onda Q hasta el final de la onda T (0.36 seg). Exactitud en la detección.

➤ Marcador de arritmias ventriculares cardíacas así como de infarto agudo de miocardio. Estimador del efecto de diversas drogas para tratamientos cardíacos.

➤  $QTc > 0.44$  s (anomalía del QT)

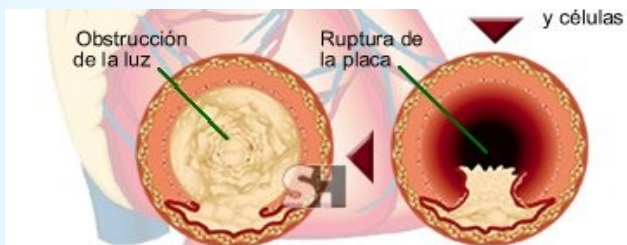
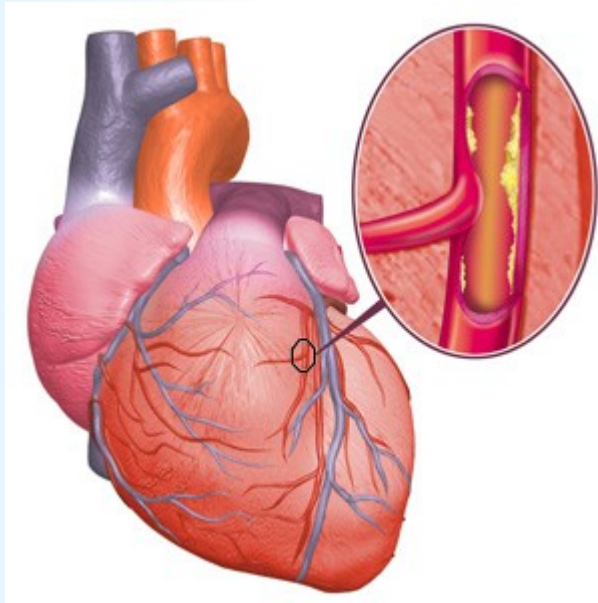
➤ Dispersión del intervalo QT ( $QT_{max} - QT_{min}$ ) marcador de la dispersión de la repolarización.

## Morfología de la Onda T



Se observa mejor final de la onda T

## Cardiopatía Isquémica

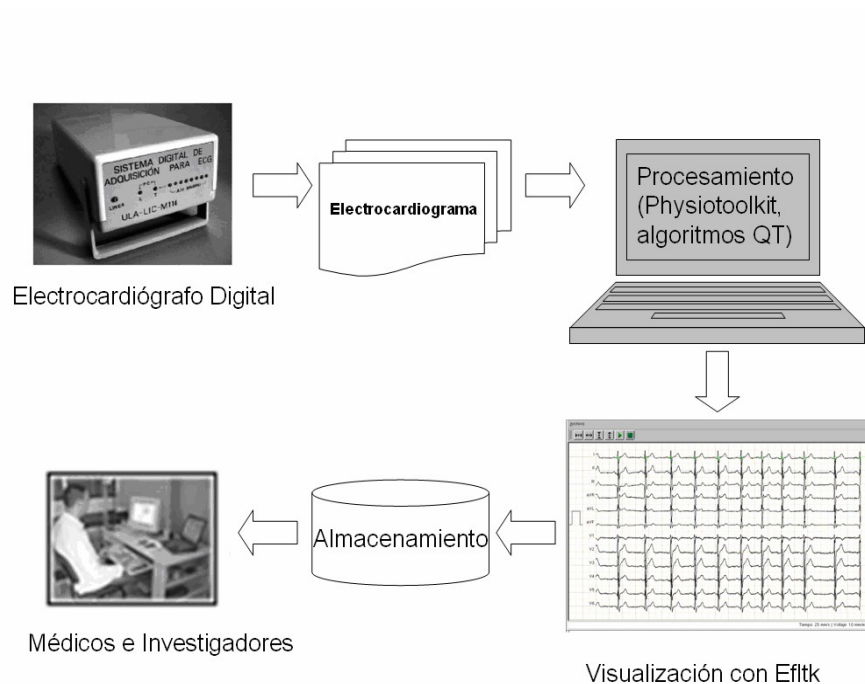


- **Cardiopatía**, enfermedad que afecta el funcionamiento normal del corazón.
- **Isquemia**, no está recibiendo suficiente sangre y oxígeno.
- Incluye el infarto agudo de miocardio, la muerte súbita.
- Incrementa el intervalo QT.

## Objetivos

### General

Desarrollar una aplicación que incluye técnicas avanzadas de procesamiento de la señal ECG aplicables a pacientes con enfermedades arteriales coronarias como la isquemia y el infarto de miocardio (MI) bajo la perspectiva de software libre.





## Objetivos Específicos

---

1. Adaptar la plataforma para el procesamiento de los datos ECG.
2. Desarrollar algoritmos para analizar la variabilidad QT.
3. Desarrollar algoritmos para el estudio de la morfología de la onda T usando Análisis de Componentes Principales (PCA).
4. Validar los algoritmos desarrollados con datos de pacientes que padecen cardiopatía isquémica y sujetos de control pareados por edad y sexo.
5. Analizar estadísticamente los resultados.

## Resultados

### Instalaciones



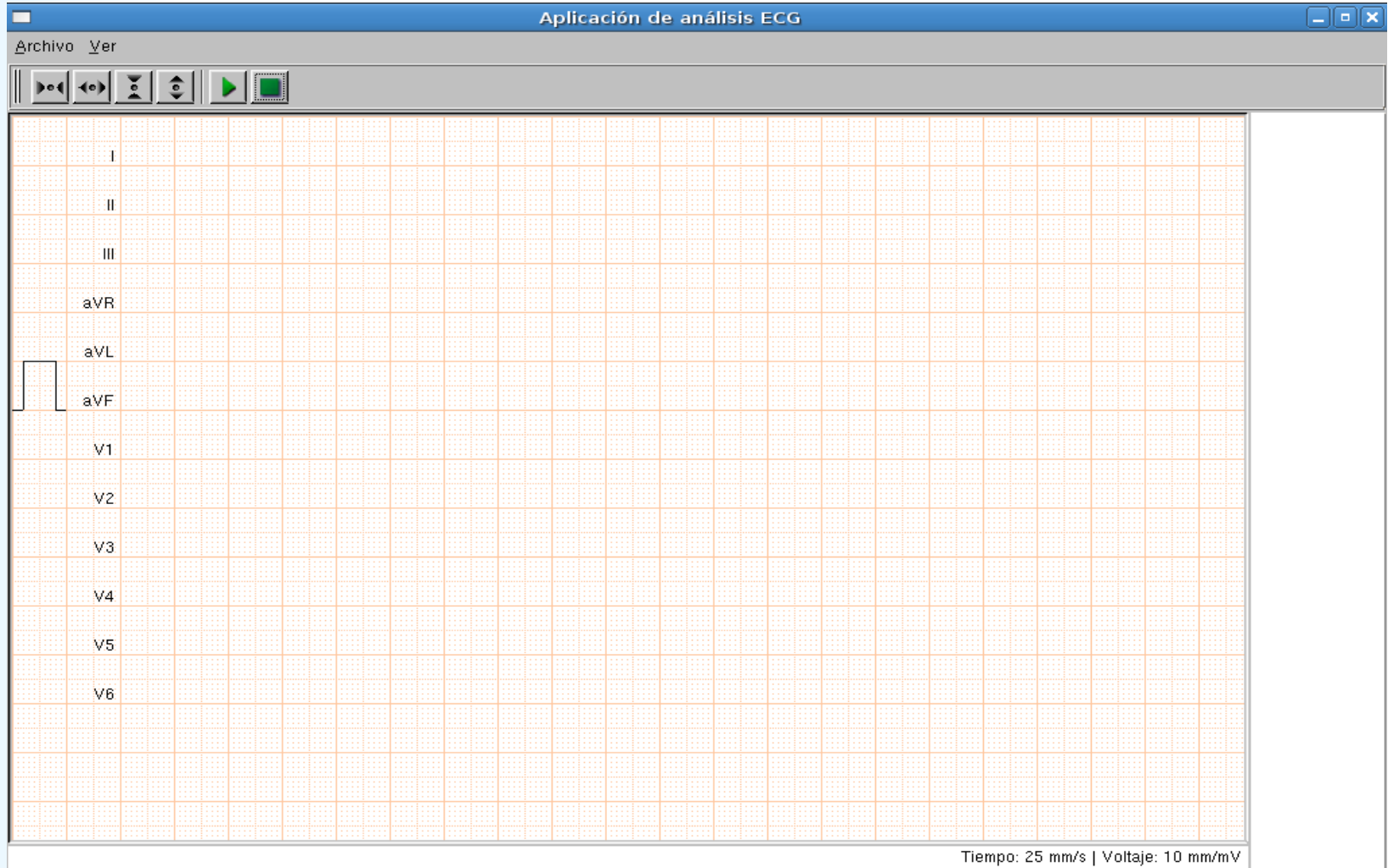
## Resultados

---

# Visualización del Registro ECG.

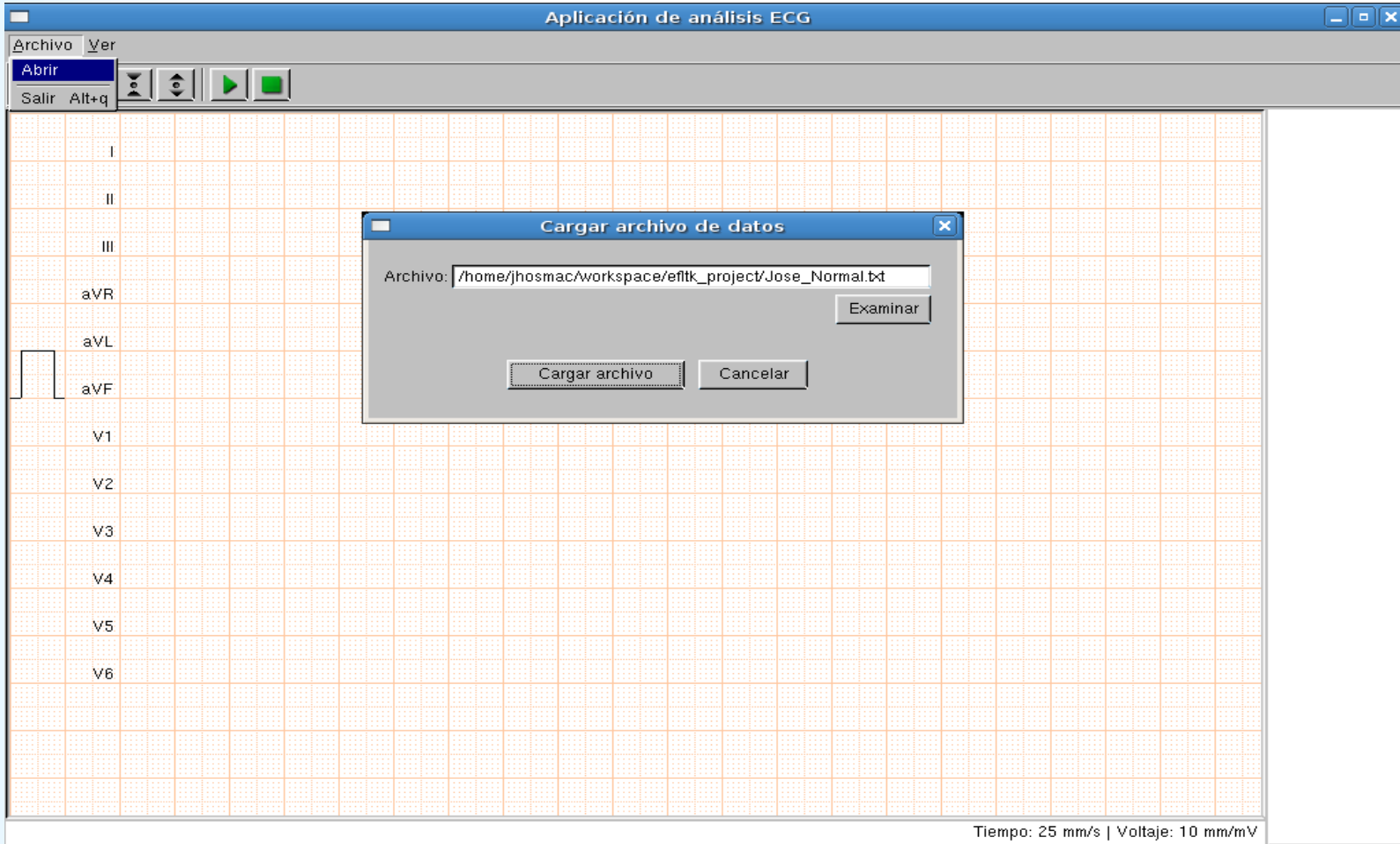
## Resultados

### Visualización del Registro ECG.



## Resultados

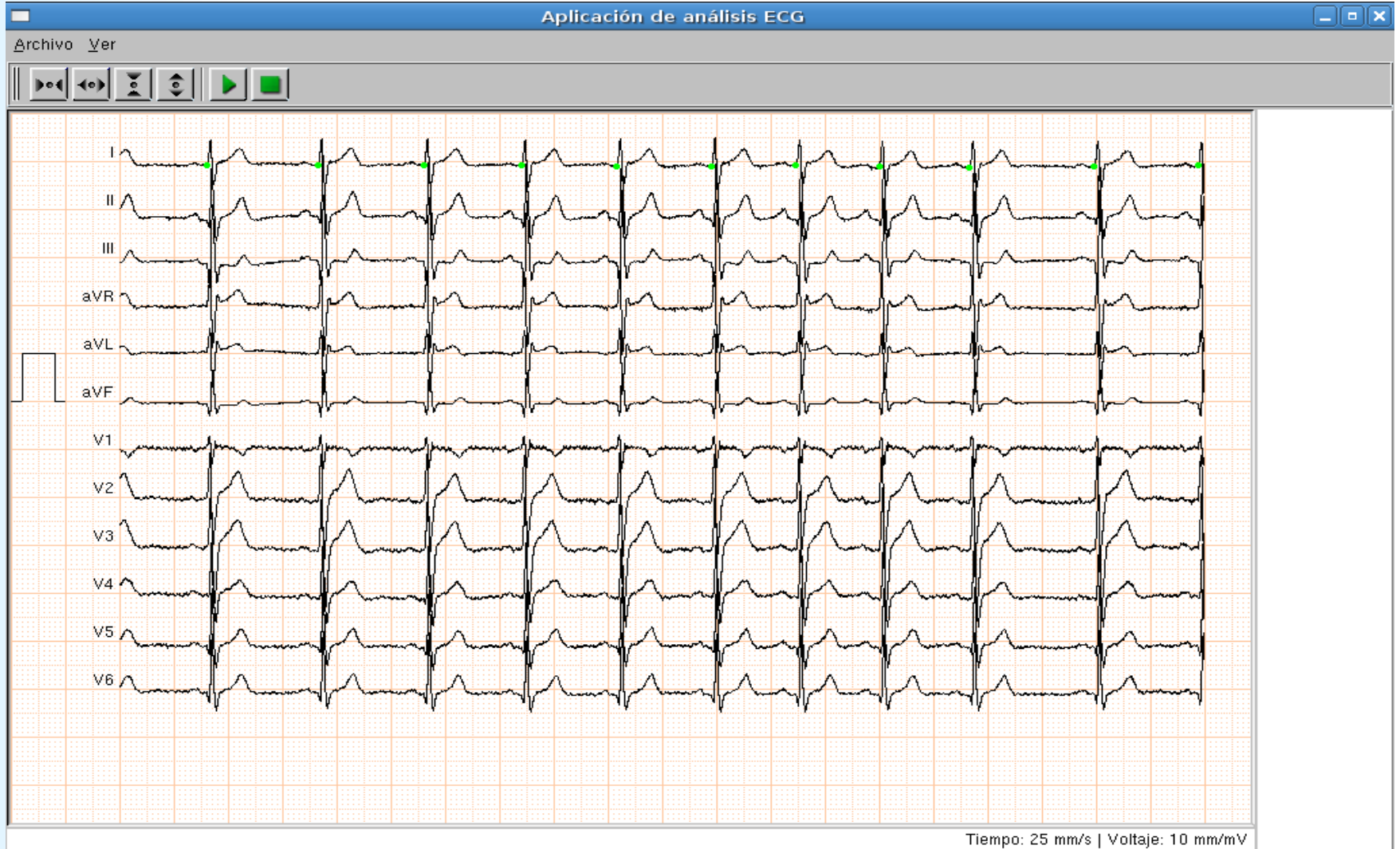
### Apertura del Registro ECG.



The screenshot displays a software window titled "Aplicación de análisis ECG". The window features a menu bar with "Archivo" and "Ver", and a toolbar with "Abrir" and "Salir Alt+q". The main area is a grid with labels for ECG leads: I, II, III, aVR, aVL, aVF, V1, V2, V3, V4, V5, and V6. A dialog box titled "Cargar archivo de datos" is open, showing the file path "/home/jhosmac/workspace/efltk\_project/Jose\_Normal.txt" and buttons for "Examinar", "Cargar archivo", and "Cancelar". At the bottom right of the application window, the settings "Tiempo: 25 mm/s | Voltaje: 10 mm/mV" are visible.

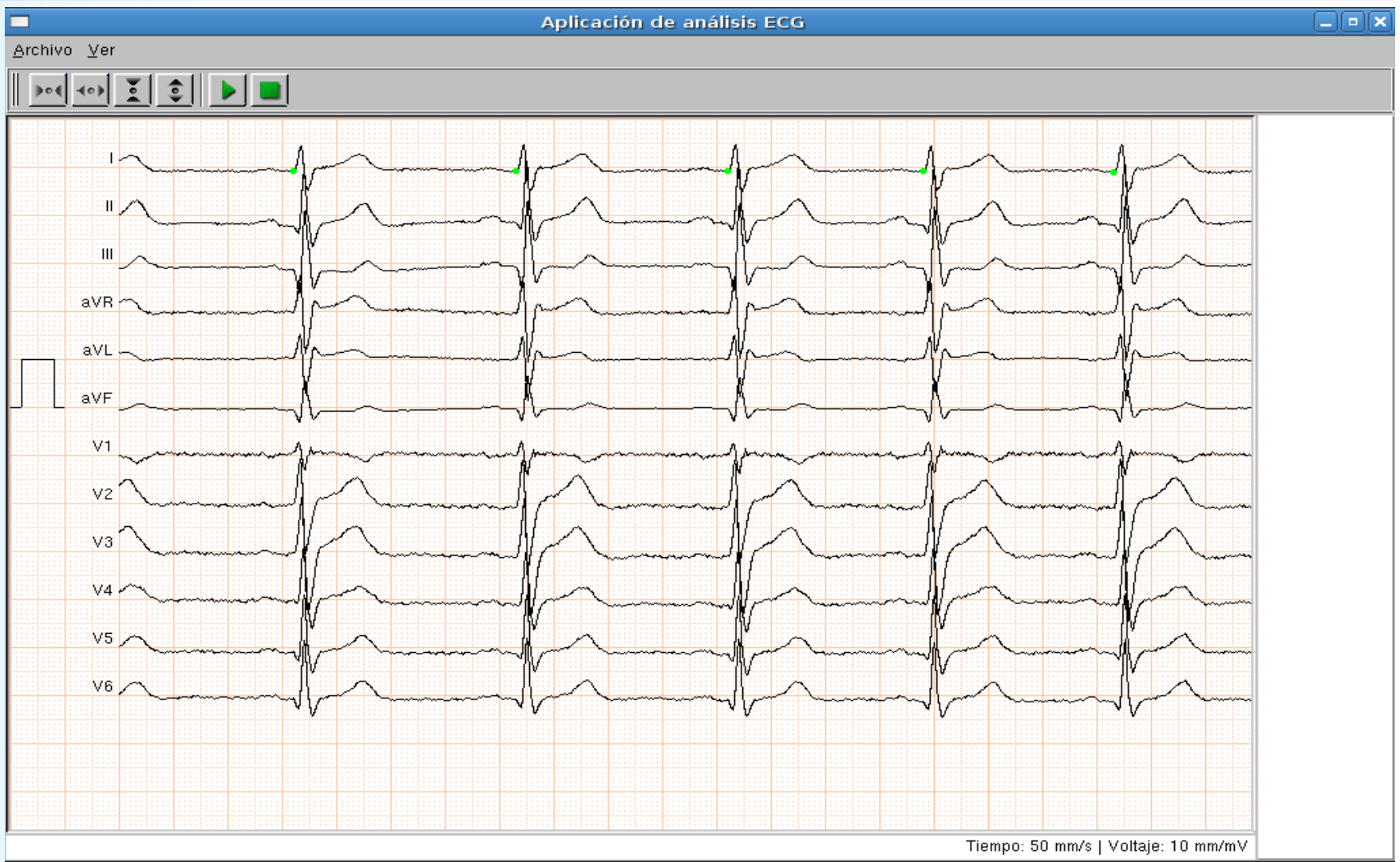
## Resultados

### Visualización del Registro ECG.



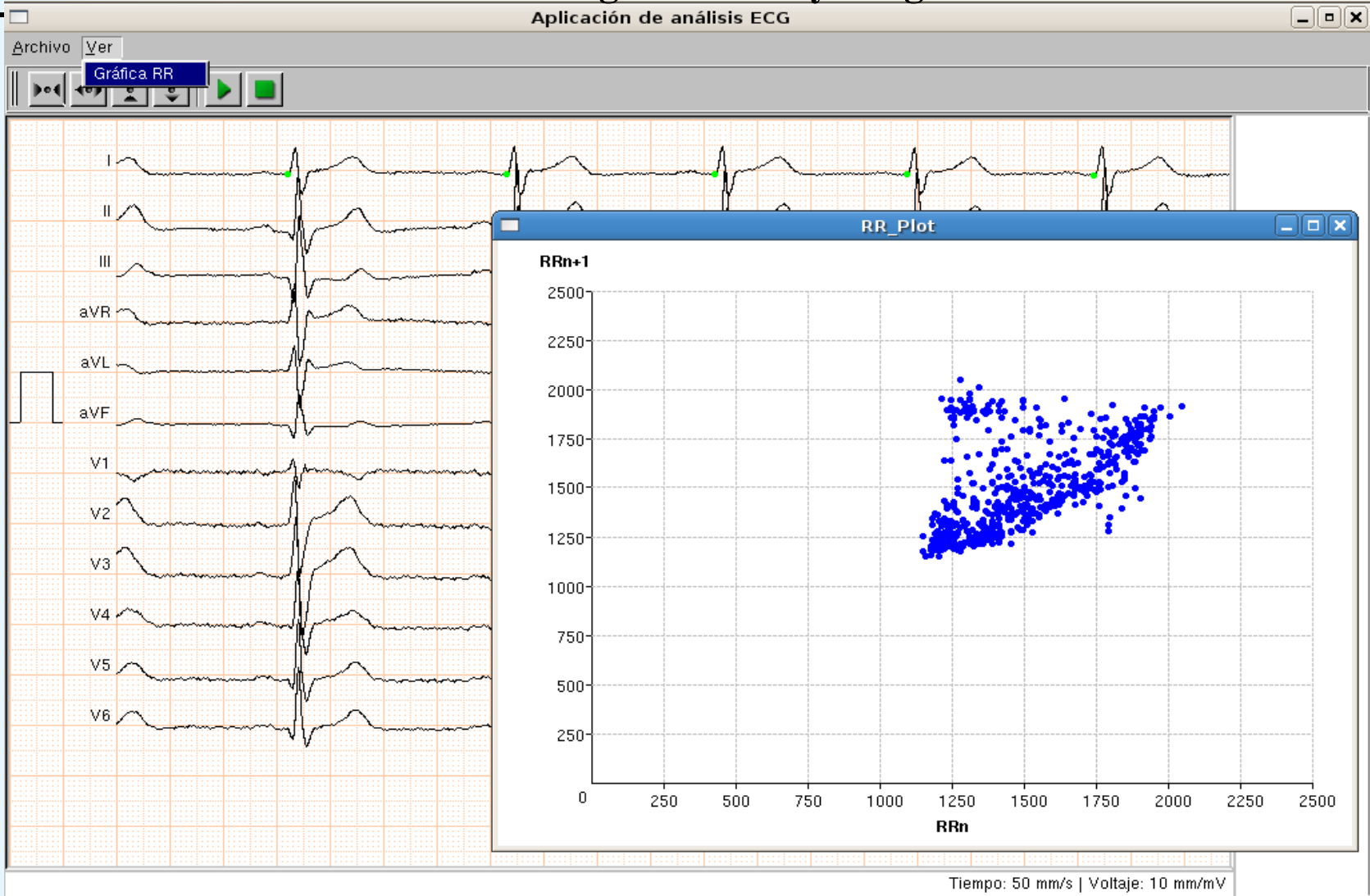
## Resultados

Aumentar la visualización del registro ECG.



## Resultados

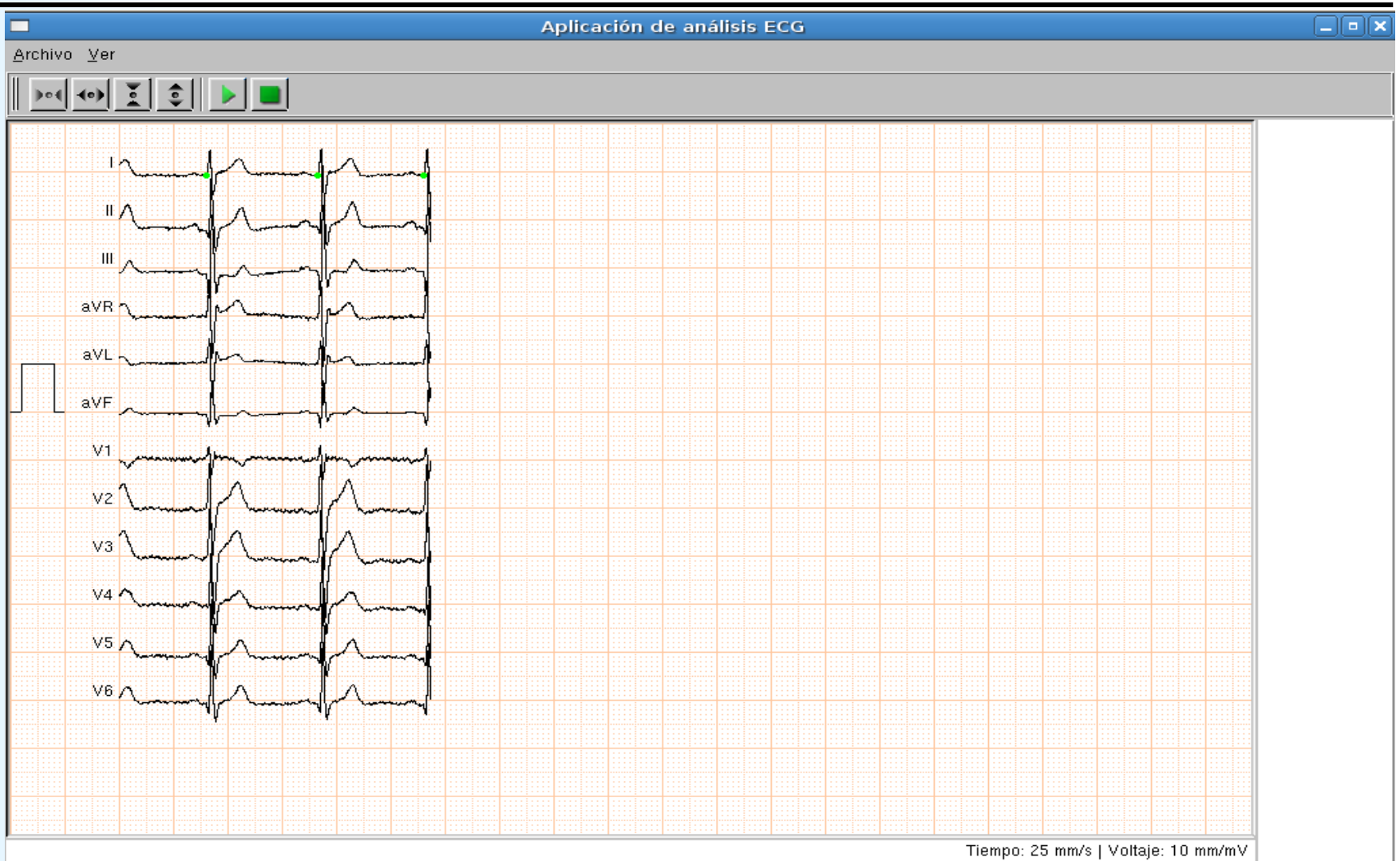
### Visualización del Registro ECG y Diagrama de Poincaré.





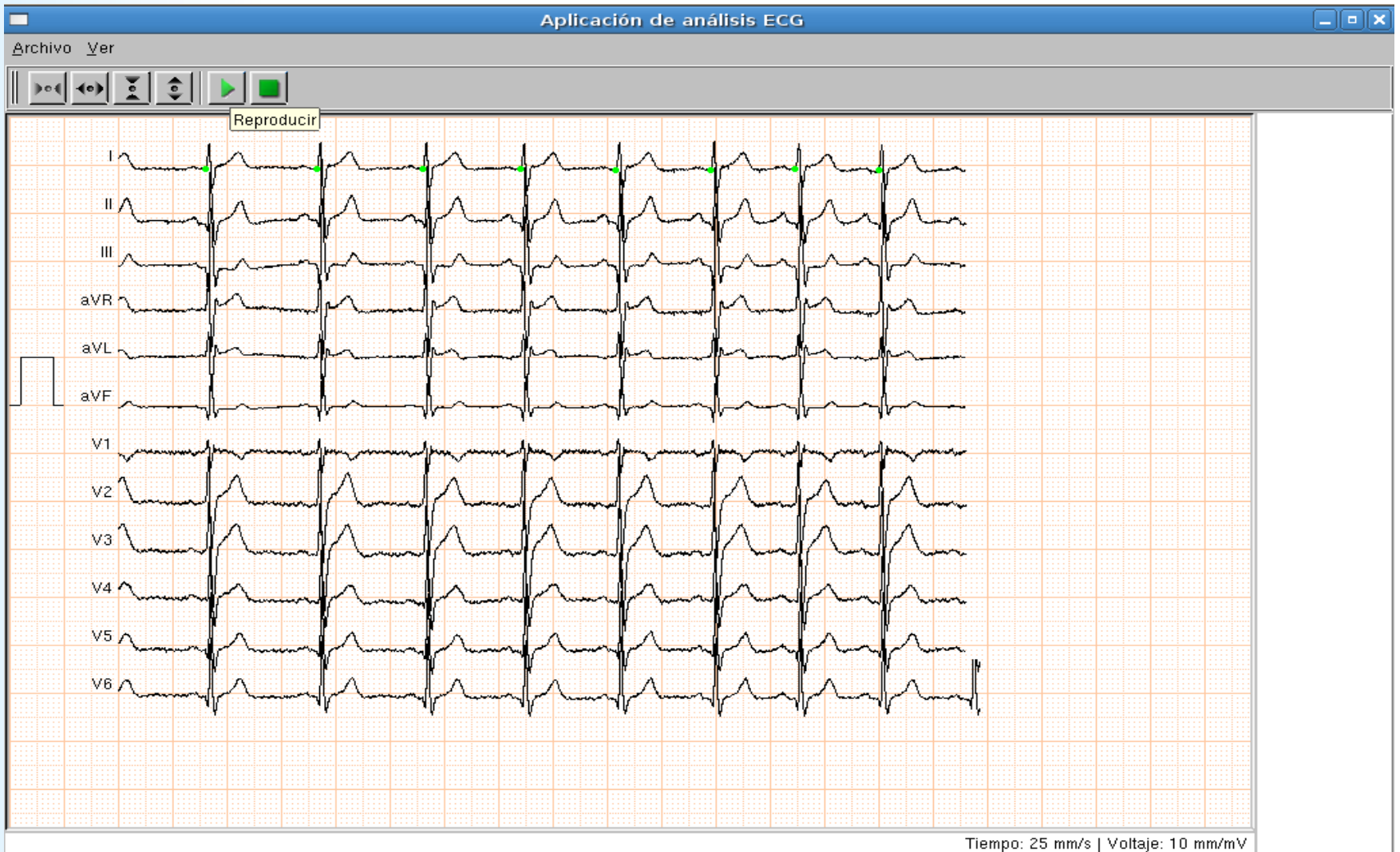
## Resultados

### Desplazamiento automático de la señal.



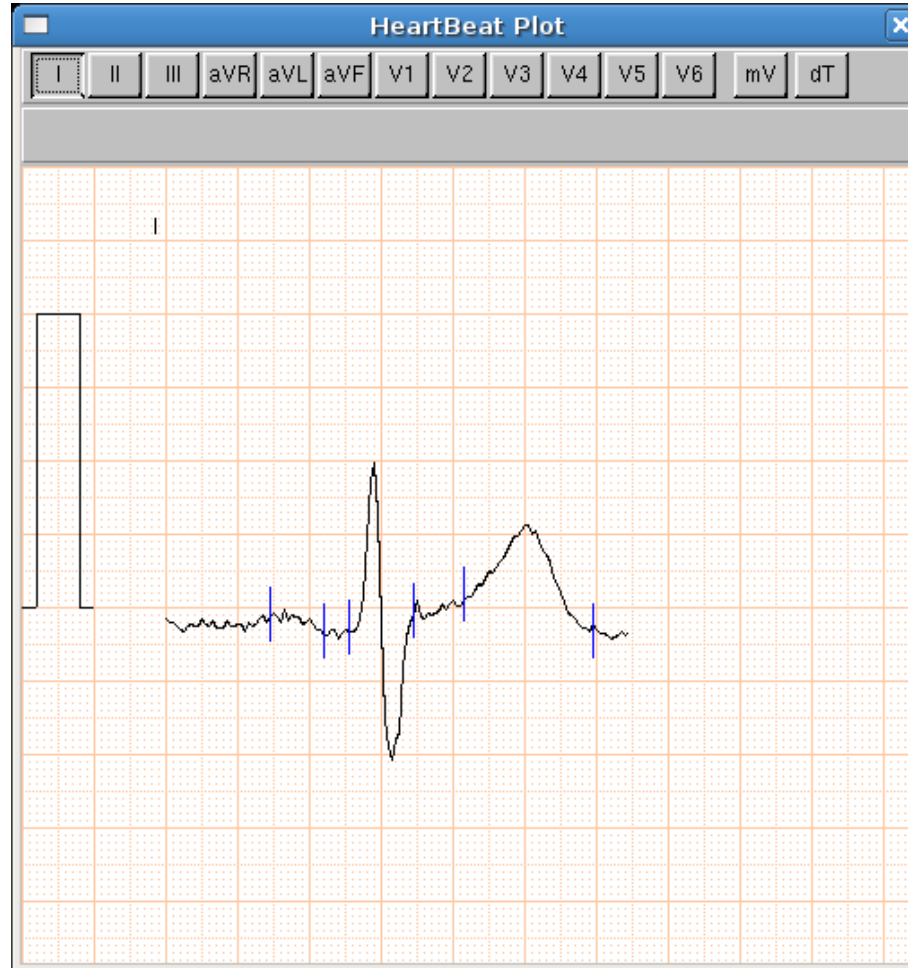
## Resultados

### Desplazamiento automático de la señal.



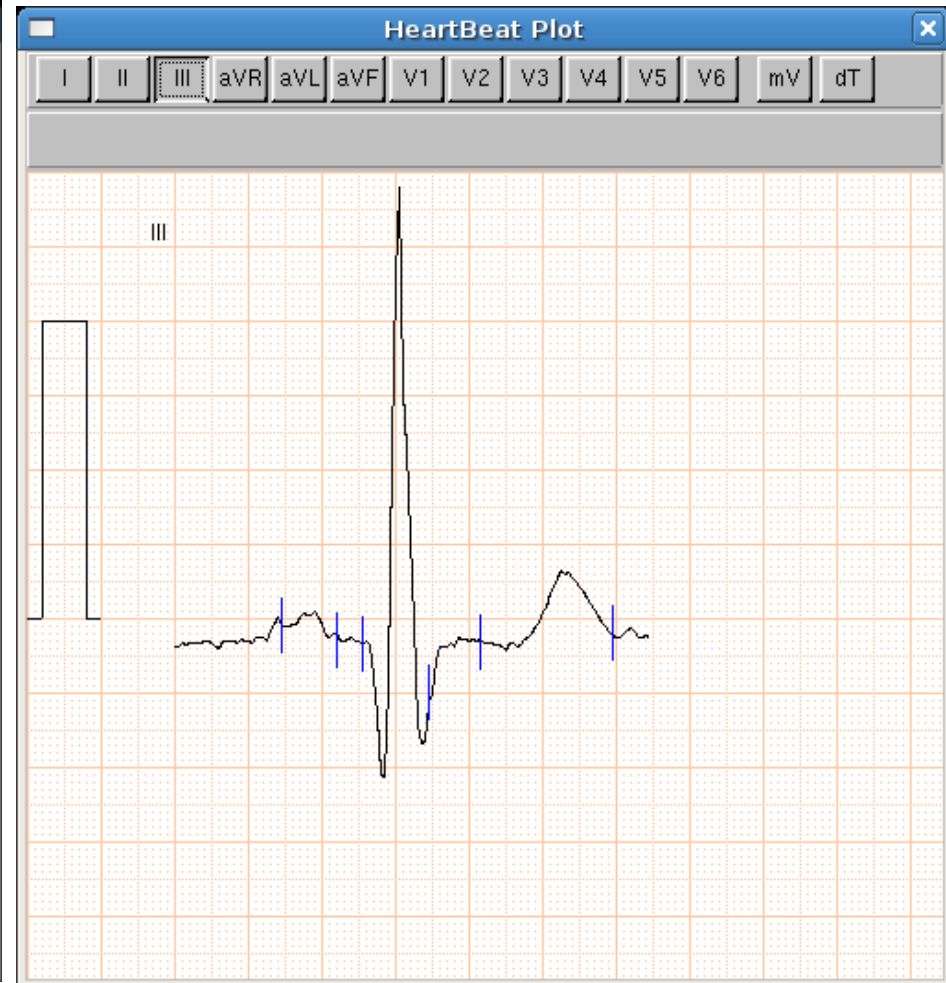
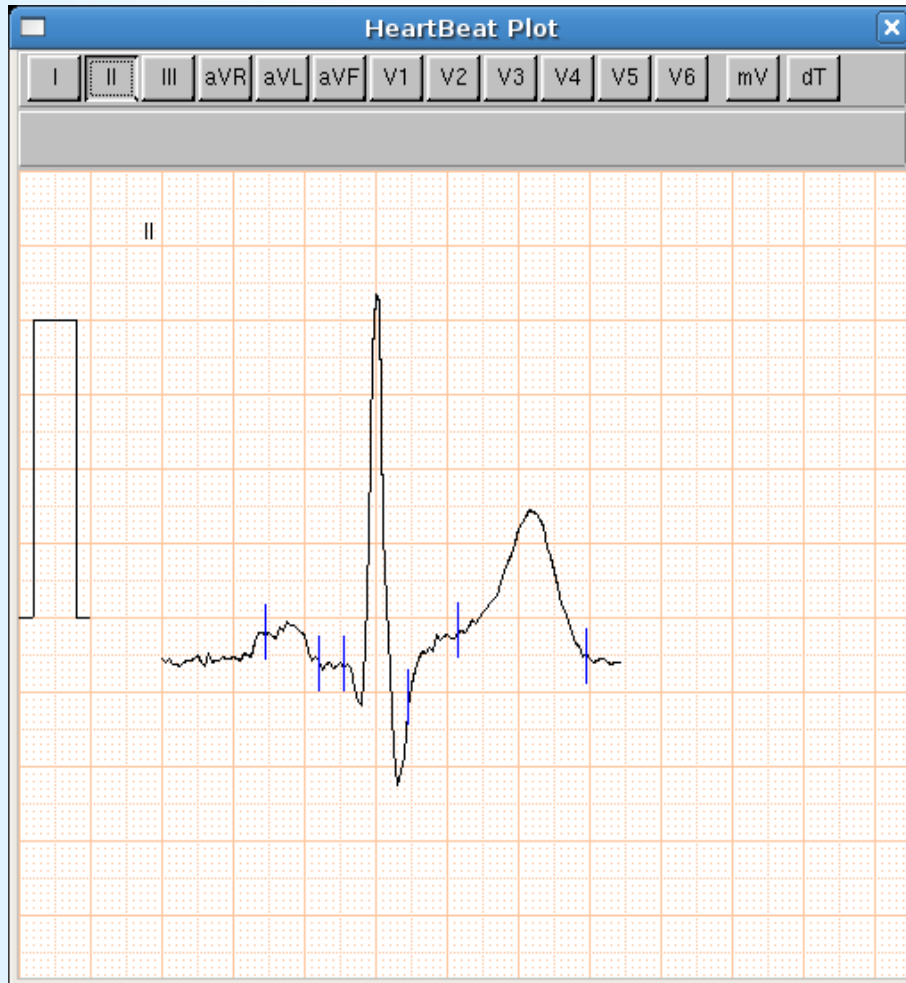
## Resultados

Segmentación de latidos para realizar mediciones.



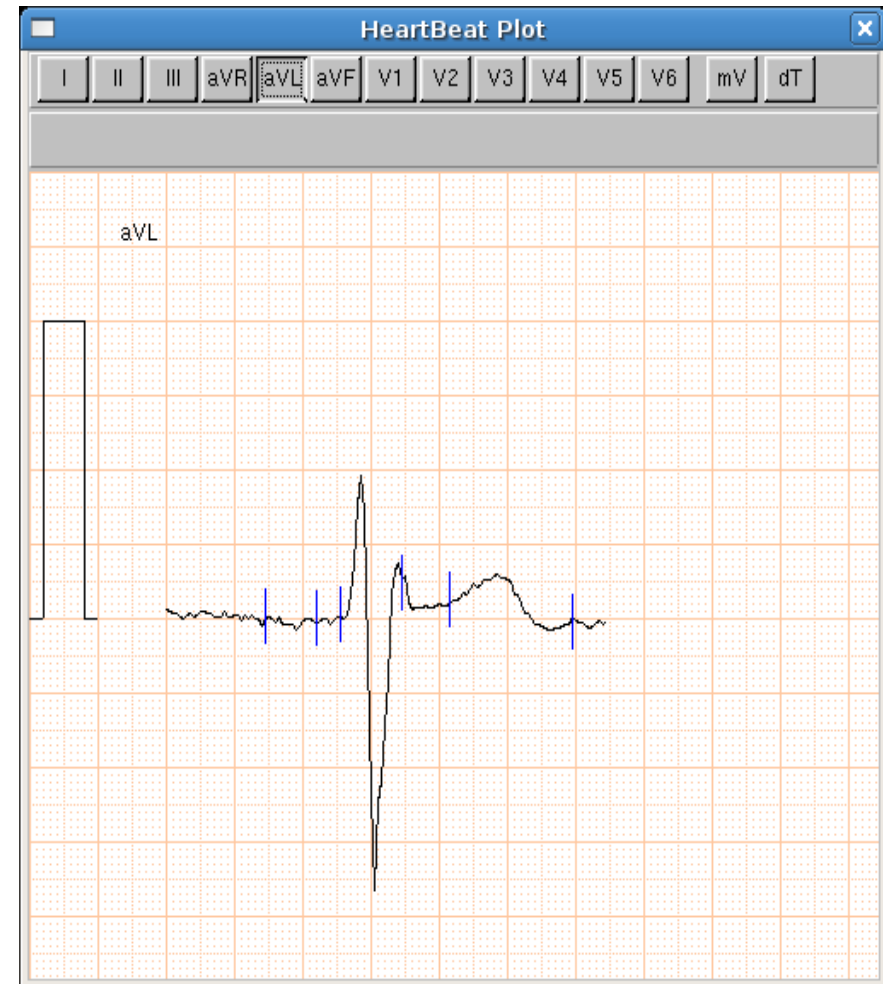
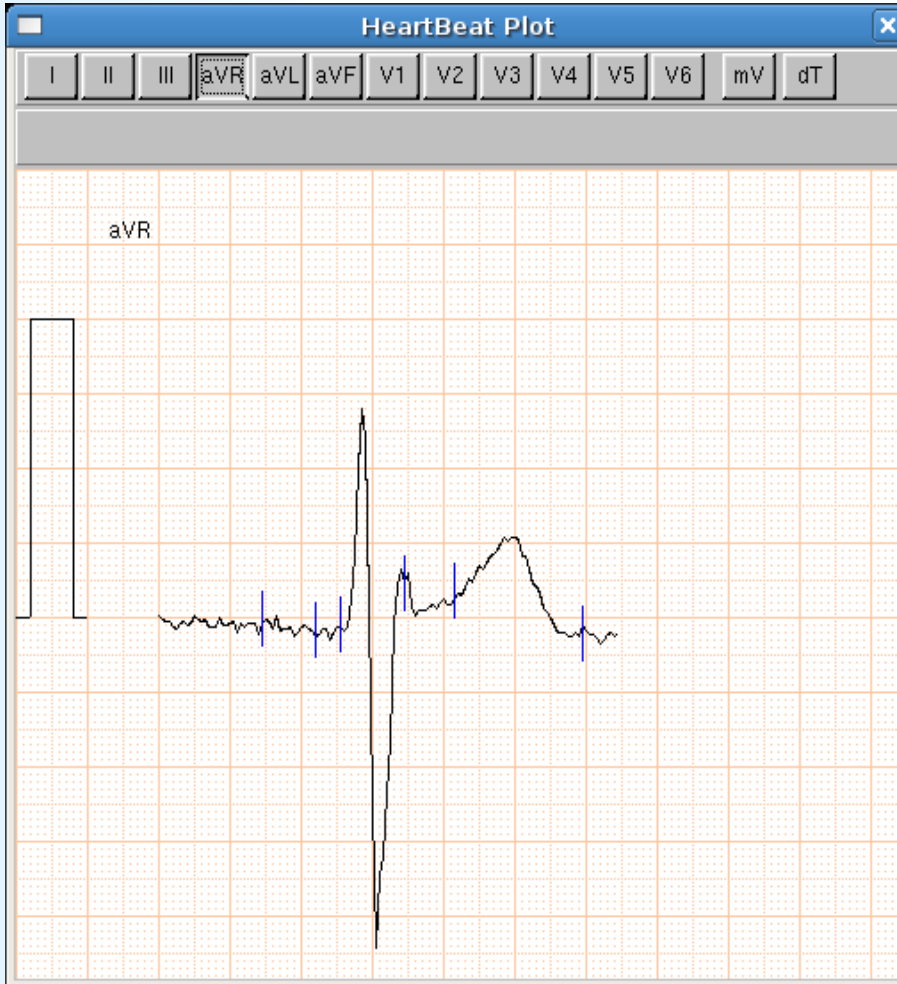
## Resultados

Segmentación de latidos para realizar mediciones.



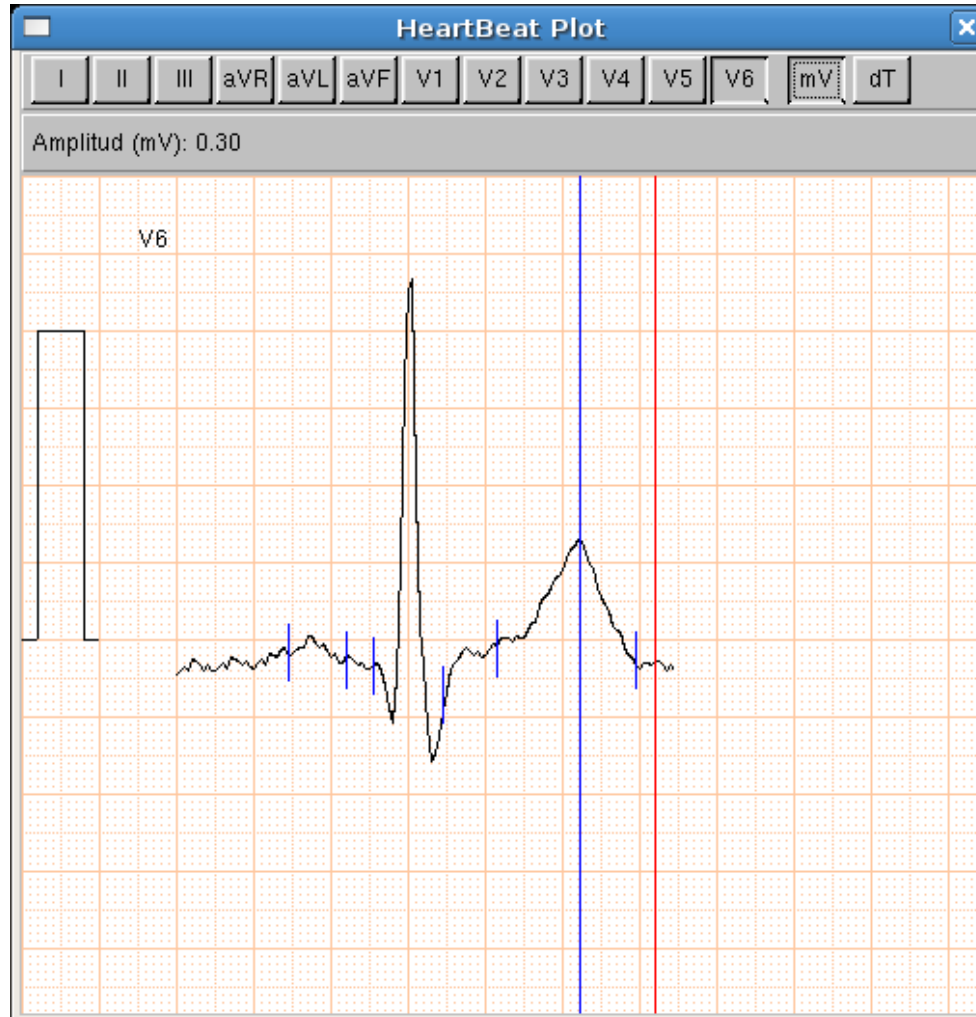
## Resultados

Segmentación de latidos para realizar mediciones.



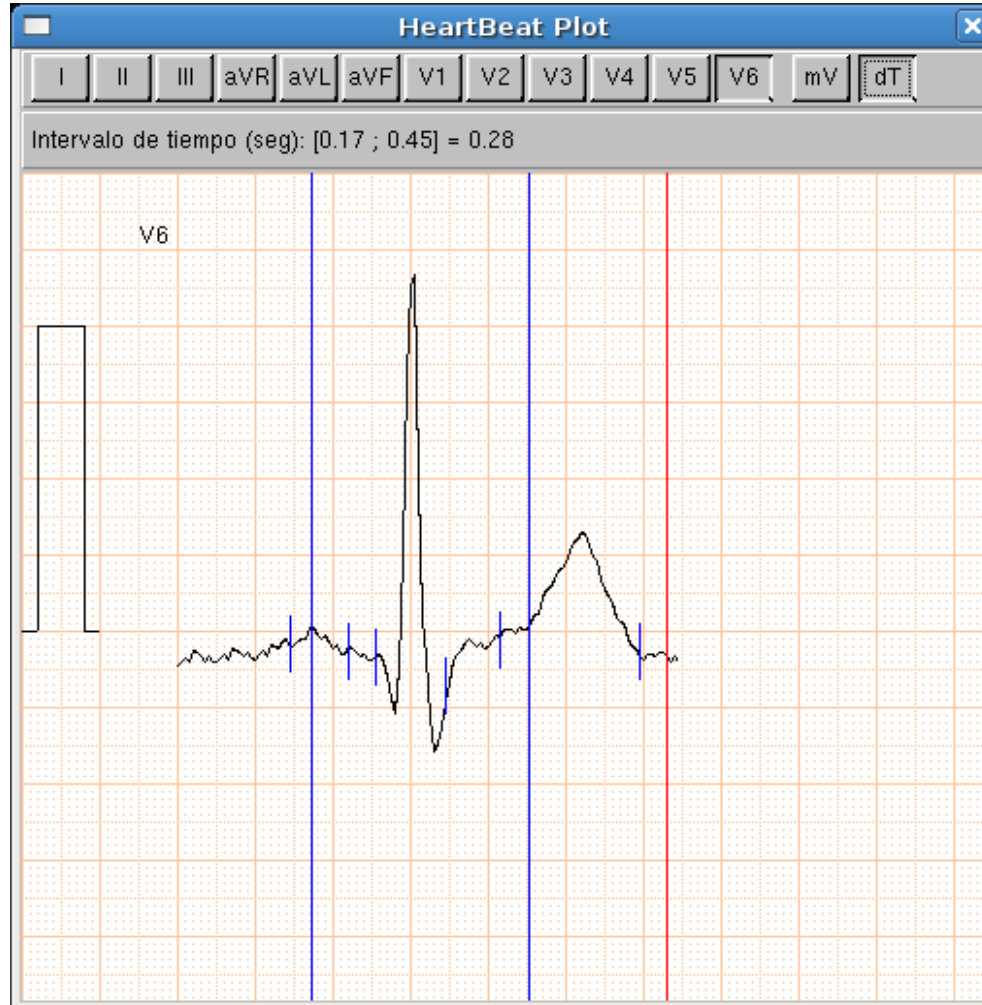
## Resultados

### Mediciones de Amplitud en el latido seleccionado.



## Resultados

### Mediciones de Tiempo entre puntos característicos del latido.



## **Resultados**

---

**Detección de los puntos Q y T  
por diferentes técnicas**



## Algoritmos para calcular el intervalo QT.

### Resultados

Qiuzhen Xue, PhD, and Shankara Reddy, PhD

➤ **Detección Fin de la onda T** (es la tarea más crítica para realizar la medición del intervalo QT)

Los métodos para determinar el fin de la onda T, pueden agruparse en dos clases:

#### 1. Métodos basado en Umbral

- Umbral basado en cierto % (5-20%) del máximo pico
- Umbral basado en cierto % (5-20%) de la máxima derivada
- Por área (triangulación, trapecio)

#### 2. Métodos basados en la máxima pendiente

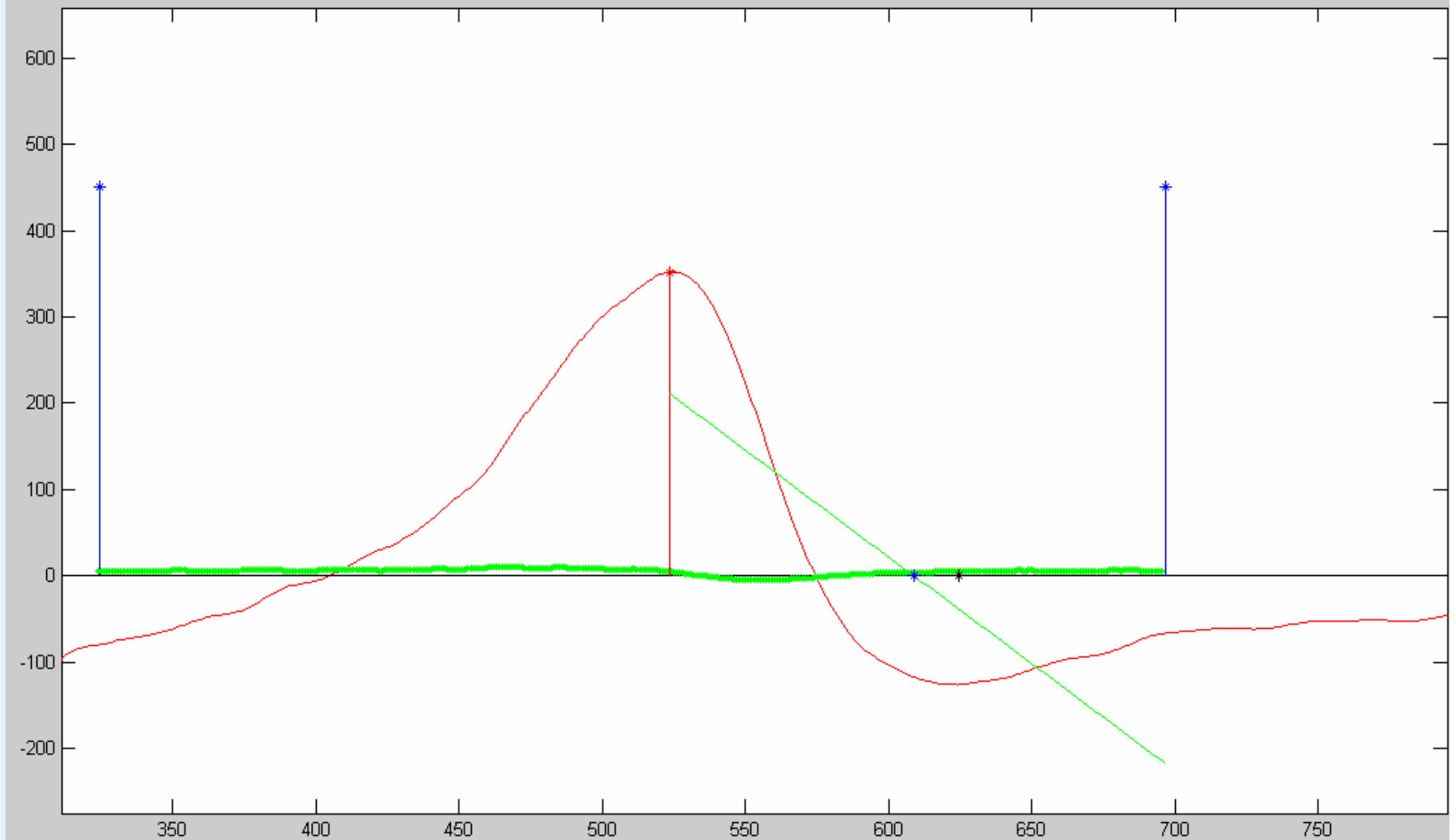
- Tangente al punto de máxima pendiente de la onda T
- Línea de mínimos cuadrados alrededor de la región de máxima pendiente

## Resultados

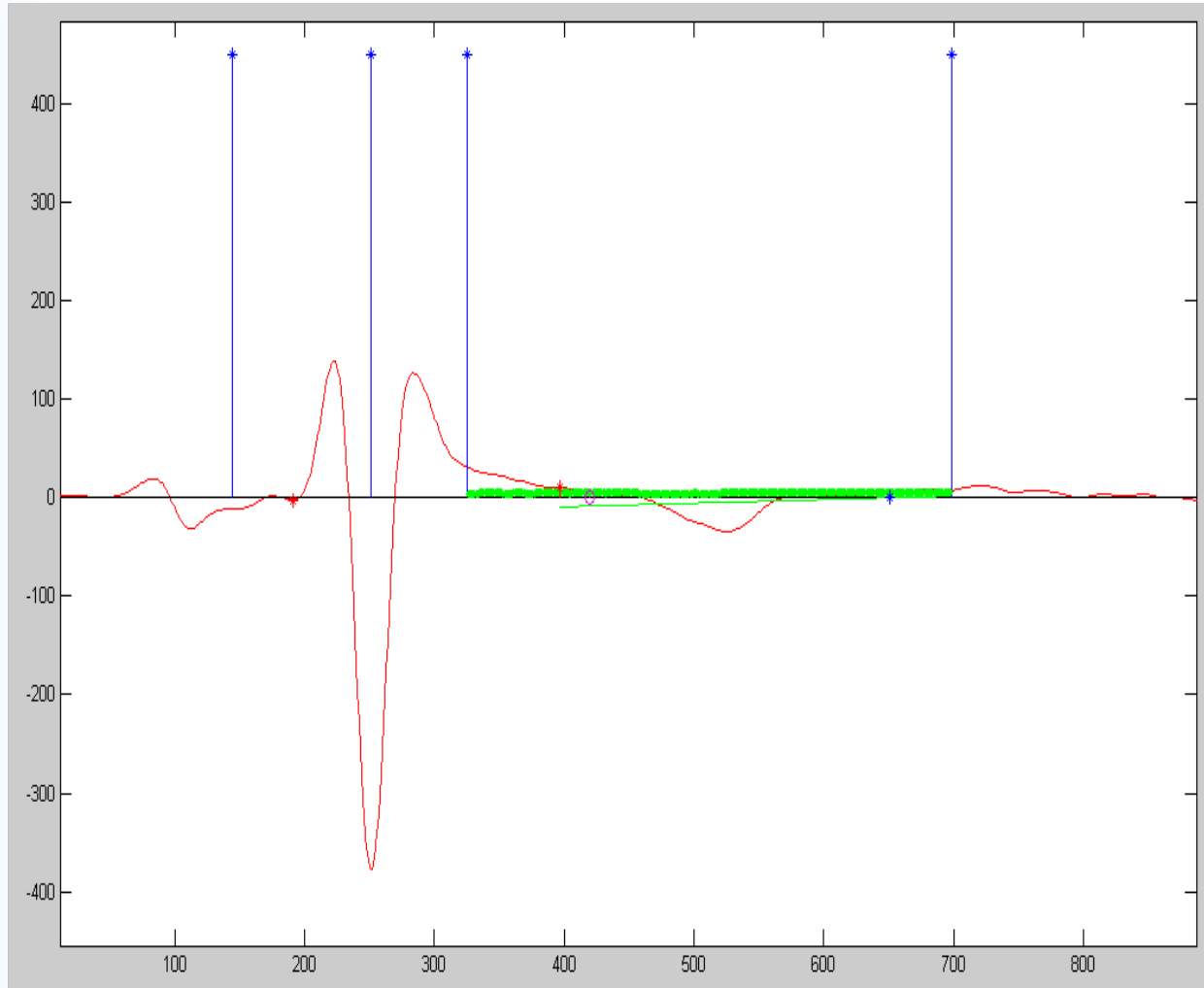
### Ventajas y Desventajas de los métodos estudiados anteriormente.

Ventajas	Desventajas
Tienen buenas prestaciones para procesamiento on-line u off-line en monitorización ambulatoria.	Están afectados por el ruido y son dependientes del umbral escogido. El ruido puede deberse a la presencia de onda T plana, retorno a la línea base contaminada con ruido, fusión de la onda T con la onda U.
Se caracterizan por su simplicidad	La intersección de pendientes depende del criterio de selección de pendiente.

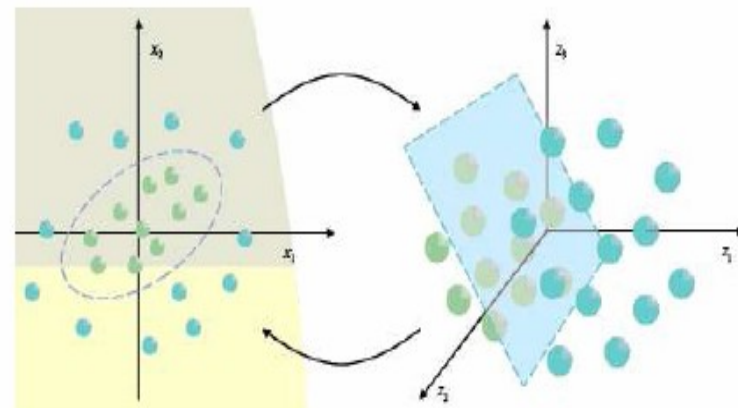
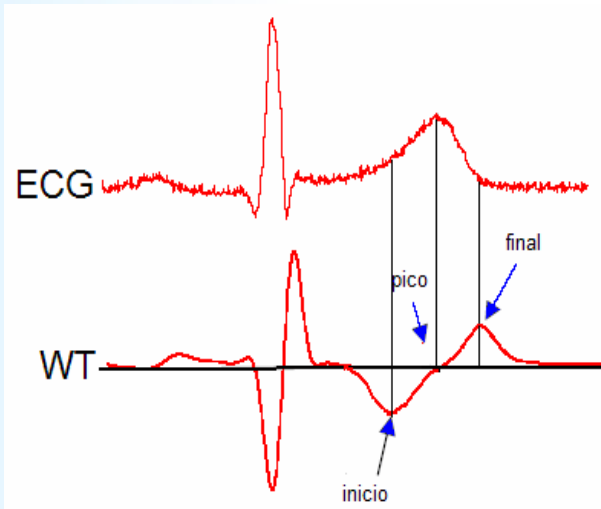
## Resultados



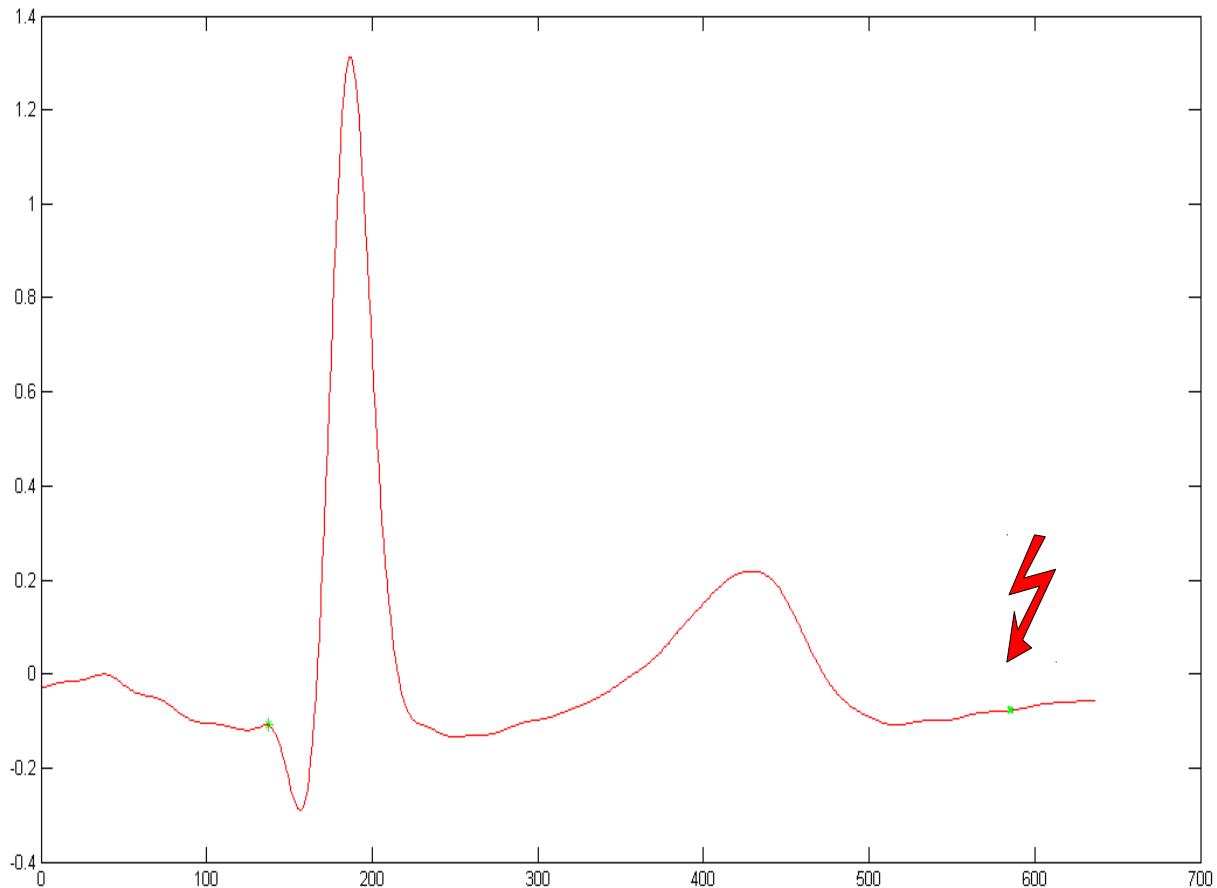
## Resultados



## Resultados (Técnica Máquina de Soporte y Wavelet)

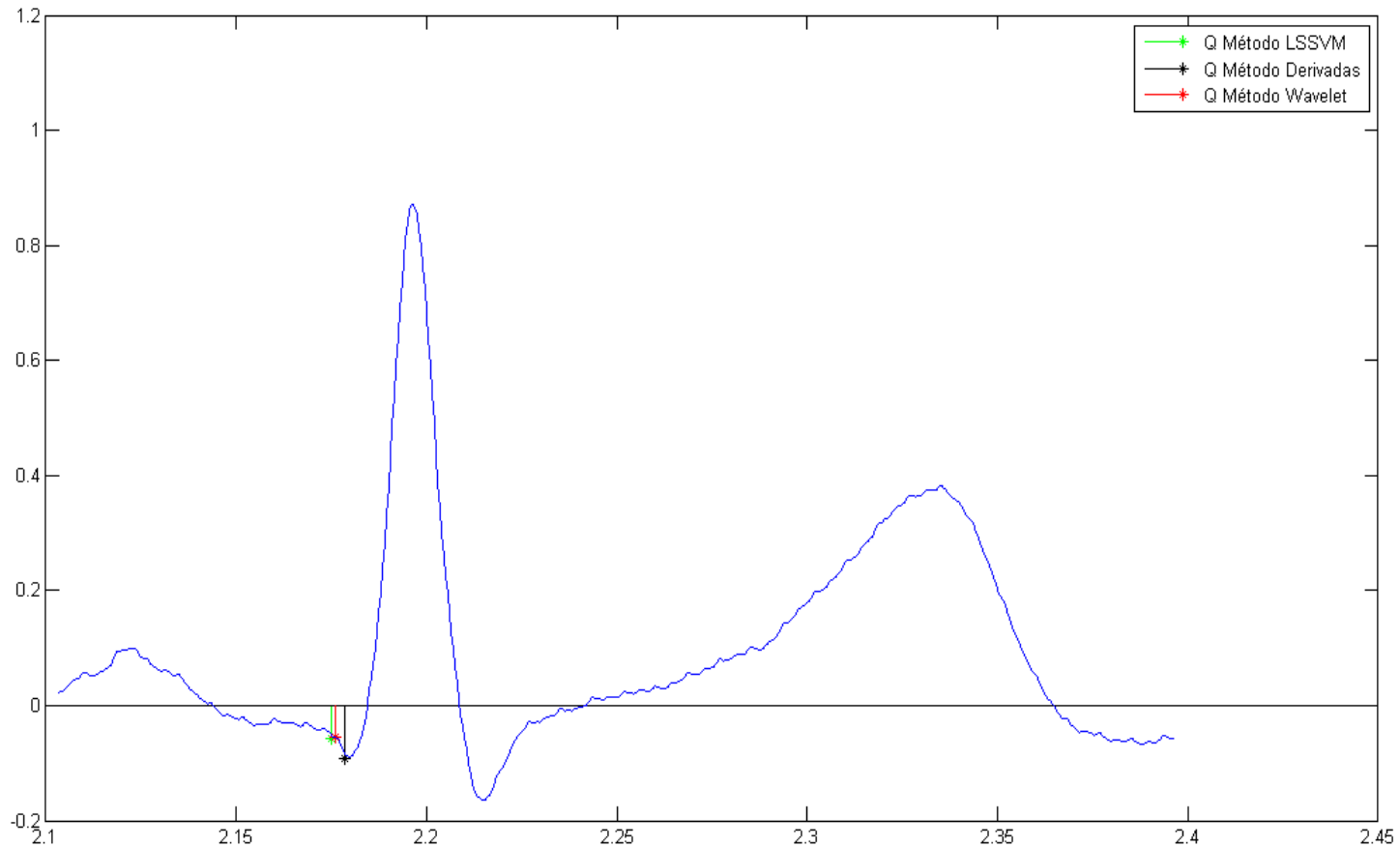


## Resultados (Técnica Máquina de Soporte y Wavelet)



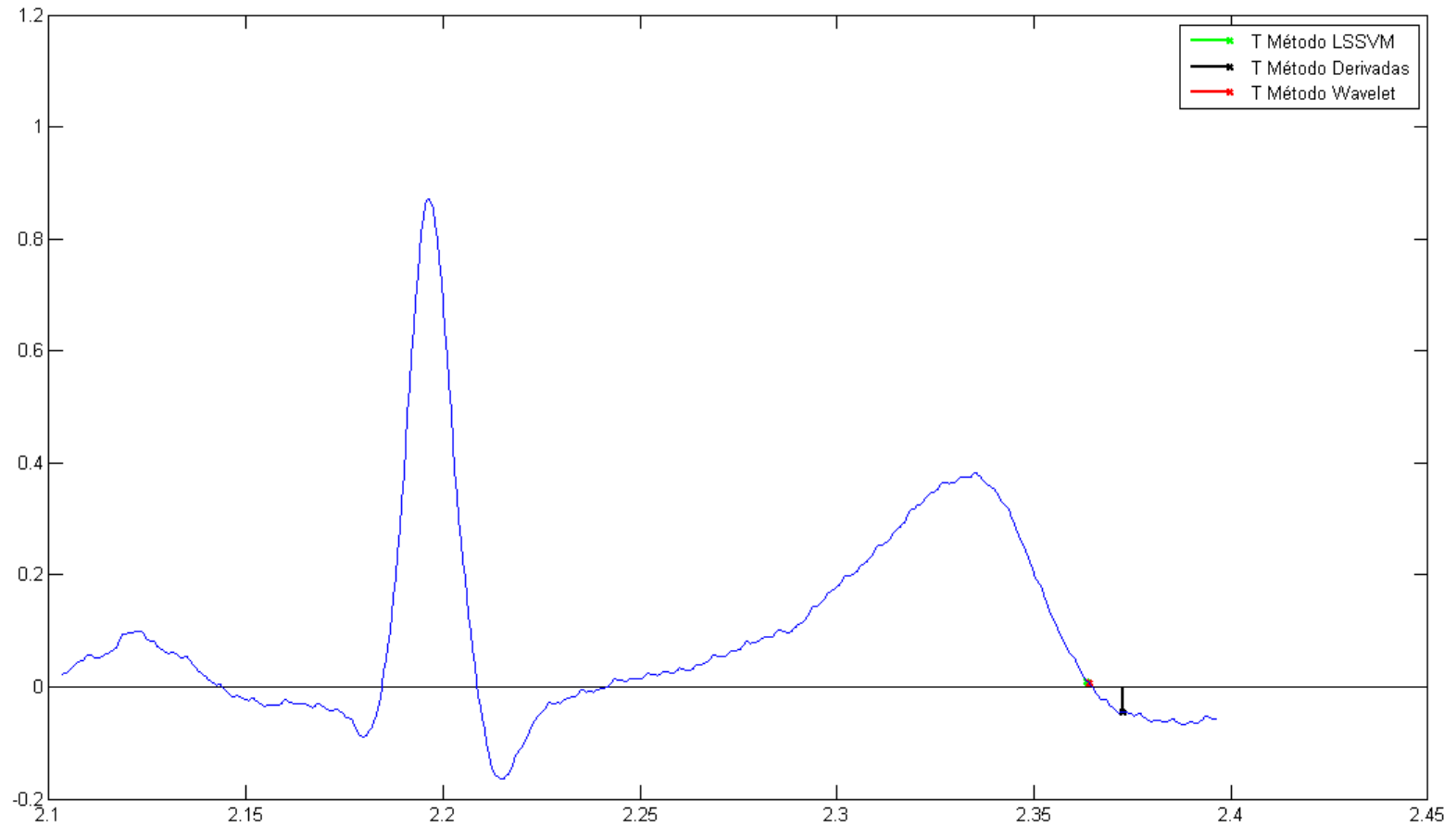
## Resultados

### Detección del punto Q



## Resultados

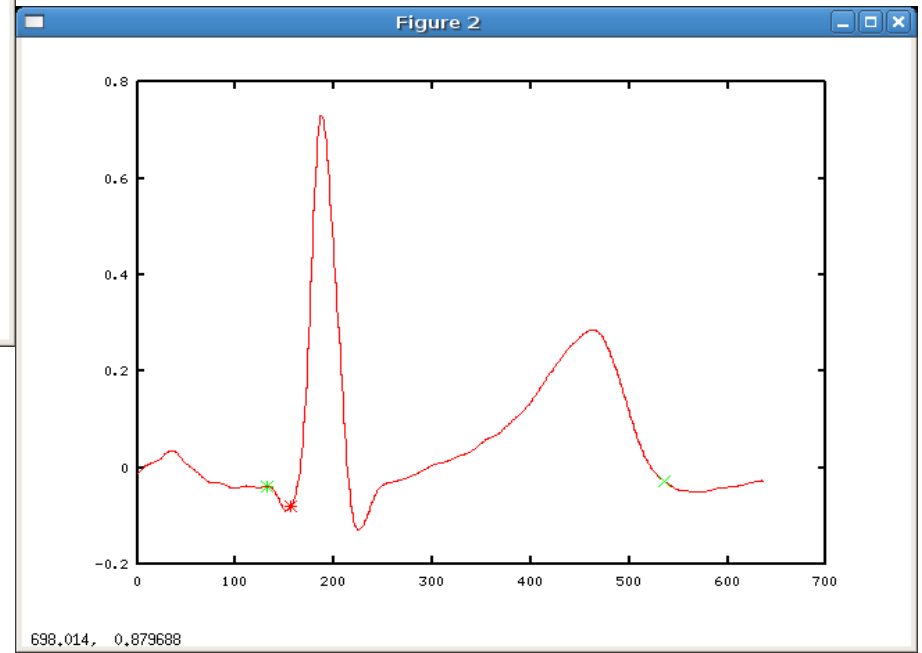
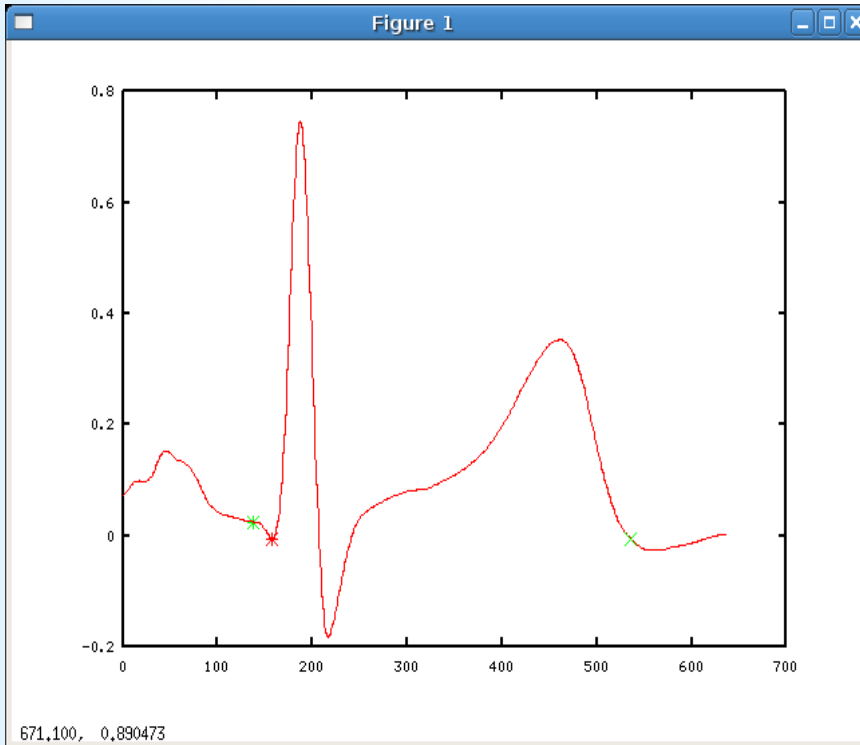
### Detección del punto T





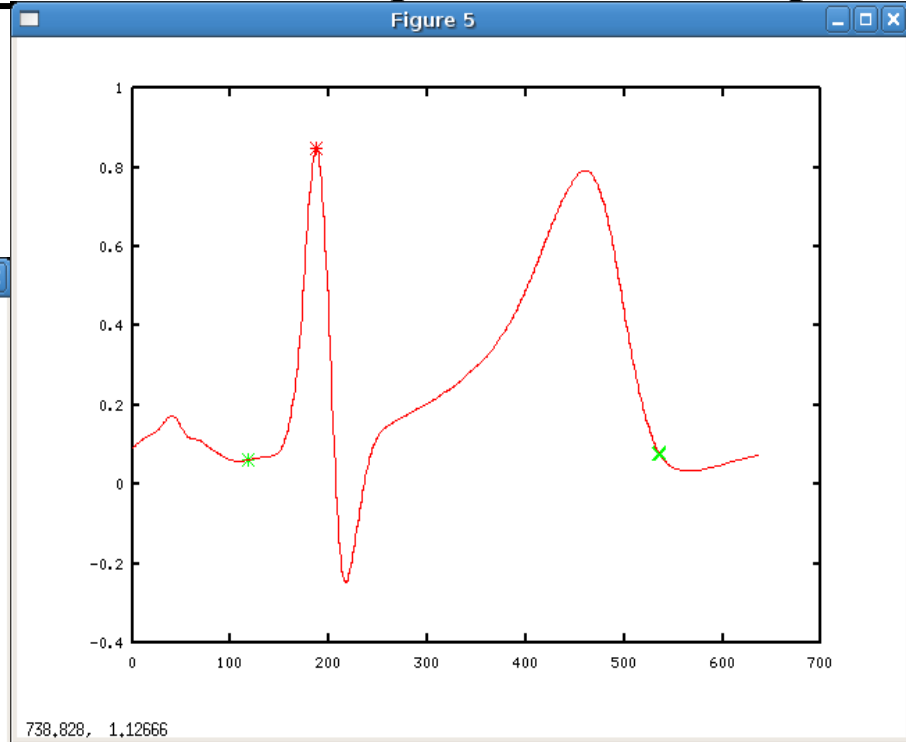
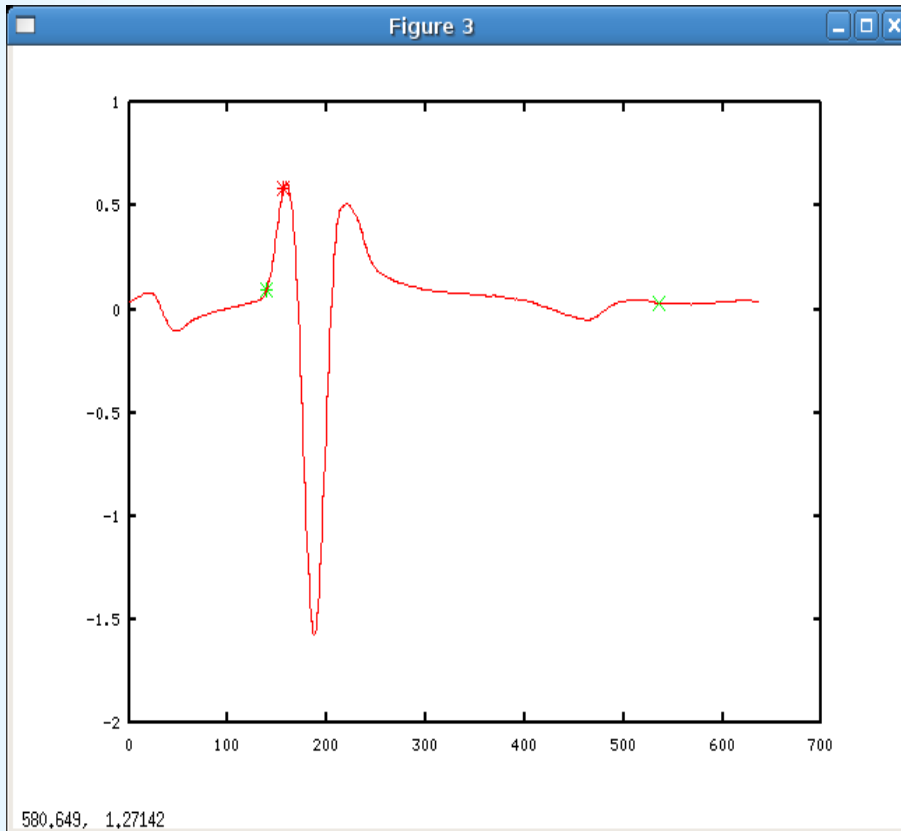
## Resultados

Detección del punto Q y T por el método de máquinas de vector soporte.



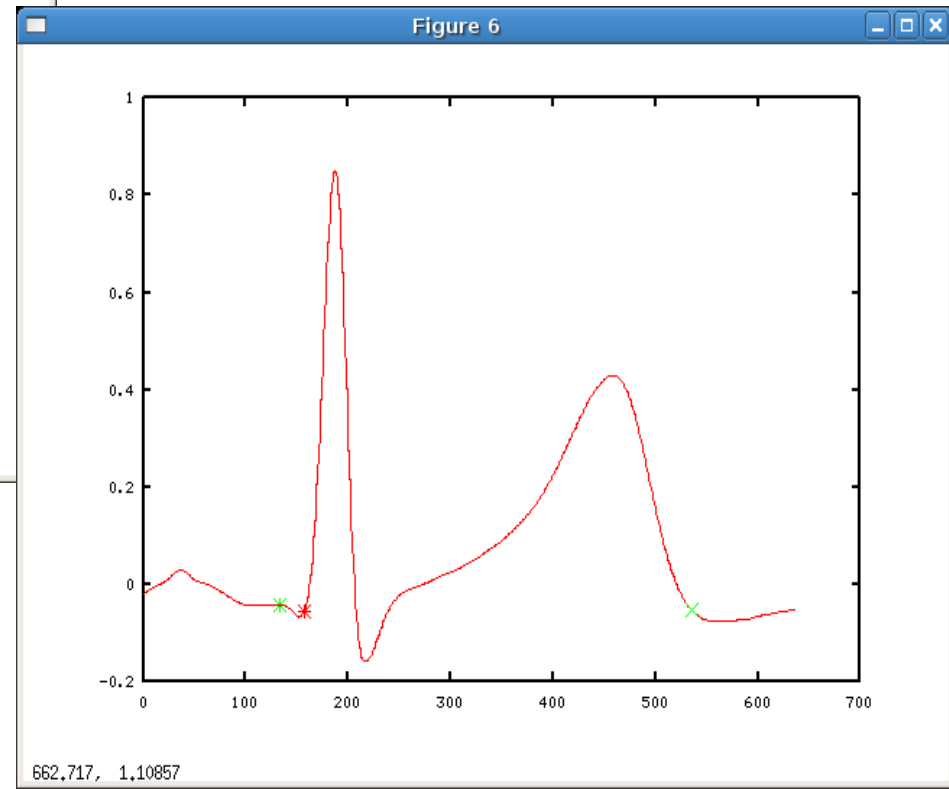
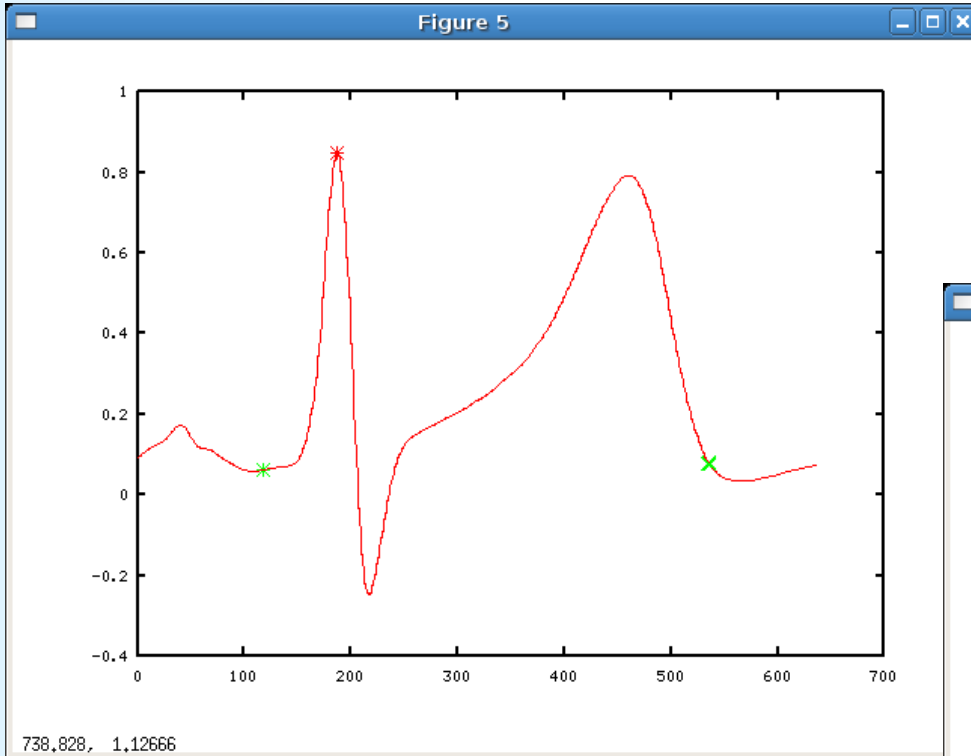
## Resultados

### Detección del punto Q y T por el método de máquinas de vector soporte.



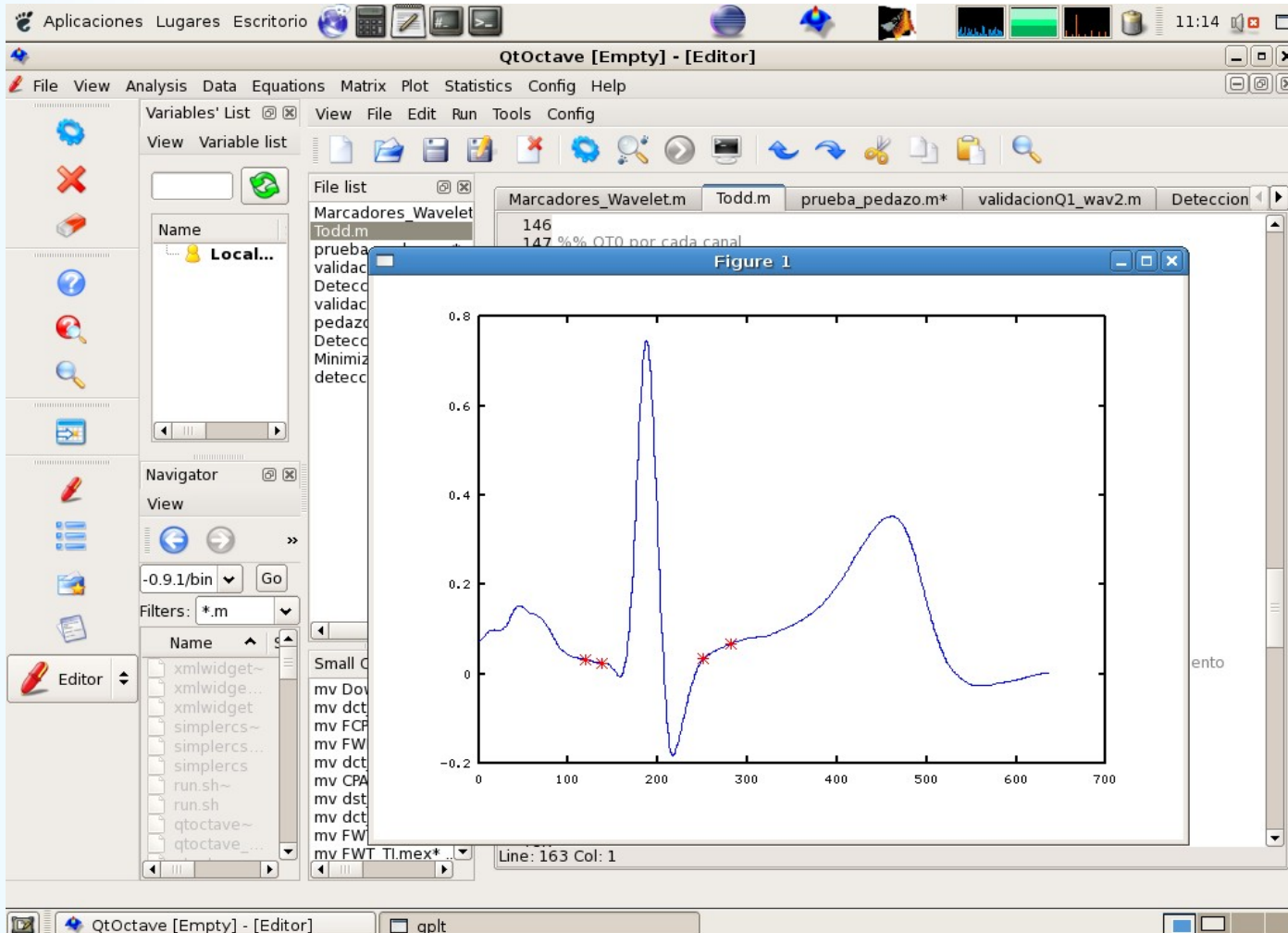
## Resultados

### Detección del punto Q y T por el método de máquinas de vector soporte.



## Resultados

### Detección del punto Q y T por el método de máquinas de vector soporte.



## Resultados

Valor de parámetros de estudio entre pacientes con cardiopatía y sujetos sanos.

Parámetro	Grupo Cardiopatía (N = 15)	Grupo Control (N = 15)	p
QT	0,429 ± 0,068	0,394 ± 0,040	0,000
QTc	0,466 ± 0,041	0,412 ± 0,022	0,000
Dispersión QT	0,156 ± 0,111	0,144 ± 0,062	0,730
TWR	0,079 ± 0,076	0,015 ± 0,008	0,003

Parámetros de variabilidad del intervalo QT (Media ± SD)

## Resultados

---

**Página WEB**

## Resultados

### Desarrollo de Página Web para difundir los resultados

<http://proyectoecg.site11.com/>




Desarrollo de una Aplicación que incluya técnicas avanzadas de procesamiento de la señal Electrocardiográfica (ECG)
UNIVERSIDAD DE LOS ANDES VENEZUELA

Universidad de los Andes - Mérida, Venezuela

<p><b>Inicio</b></p> <p><b>Aspectos generales</b> <input type="checkbox"/></p> <p>Justificación</p> <p>Objetivos</p> <p>Antecedentes</p> <p>Impacto</p> <p>Valor agregado</p> <p>Beneficiarios</p> <p>Definiciones</p> <p>Bibliografía</p> <p><b>Participantes</b></p> <p><b>Resultados</b></p>	<p><b>Participantes en el Proyecto:</b></p> <p>Los miembros del presente proyecto se reseñan en la siguiente tabla incluyendo su estatus universitario y tipo de afiliación al Grupo de Ingeniería Biomédica (GIBULA) de la Universidad de los Andes. Es de hacer resaltar que se cuenta con un número adecuado de investigadores involucrados en el área de estudio (procesamiento de señales electrocardiográficas) y adicionalmente se cuenta con un investigador en periodo de formación, el cual desarrolla estudios de postgrado a nivel de maestría.</p> <table border="1" style="width: 100%; border-collapse: collapse; text-align: center;"> <thead> <tr style="background-color: #f4a460;"> <th>Nombre</th> <th>Categoría</th> <th>Dedicación</th> <th>Facultad</th> <th>Escuela o Dpto.</th> <th>Estatus en GIBULA</th> <th>Participación en el Proyecto</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>Dr. Diego Jugo</td> <td>Titular</td> <td>Jubilado</td> <td>Ingeniería</td> <td>Ing. Eléctrica</td> <td>Miembro</td> <td rowspan="4">                     Proporcionar conocimiento en las áreas de:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Procesamiento de señales ECG.</li> <li>Algoritmos para medir la variabilidad del intervalo QT.</li> <li>Morfología de la onda T.</li> <li>Desarrollo de interfaz gráfico orientado al área de la salud.</li> <li>Validación de los resultados obtenidos en cada una de las fases del proyecto.</li> </ul> </td> </tr> <tr> <td>Dr. Rubén Medina</td> <td>Titular</td> <td>Jubilado</td> <td>Ingeniería</td> <td>Ing. Eléctrica</td> <td>Miembro</td> </tr> <tr> <td>Dr. José Luis Paredes</td> <td>Asociado</td> <td>Exclusiva</td> <td>Ingeniería</td> <td>Ing. Eléctrica</td> <td>Miembro</td> </tr> <tr> <td>Dr. Rubén Rojas</td> <td>Titular</td> <td>Exclusiva</td> <td>Ingeniería</td> <td>Ing. Eléctrica</td> <td>Miembro</td> </tr> <tr> <td>Dr. Tulio Núñez</td> <td>Asociado</td> <td>Exclusiva</td> <td>Medicina</td> <td>Cardiología</td> <td>Colaborador</td> <td>                     Además el Dr. Medina es actualmente el tutor de la tesis.   Proporcionar conocimiento en las áreas de:                     <ul style="list-style-type: none"> <li>Relación entre variabilidad del intervalo QT y patologías presentes.</li> <li>Relación entre cambios en la morfología de la onda T y patologías presentes.</li> <li>Validación de los resultados de la aplicación desde el punto de vista médico</li> </ul> </td> </tr> </tbody> </table>	Nombre	Categoría	Dedicación	Facultad	Escuela o Dpto.	Estatus en GIBULA	Participación en el Proyecto	Dr. Diego Jugo	Titular	Jubilado	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro	Proporcionar conocimiento en las áreas de: <ul style="list-style-type: none"> <li>Procesamiento de señales ECG.</li> <li>Algoritmos para medir la variabilidad del intervalo QT.</li> <li>Morfología de la onda T.</li> <li>Desarrollo de interfaz gráfico orientado al área de la salud.</li> <li>Validación de los resultados obtenidos en cada una de las fases del proyecto.</li> </ul>	Dr. Rubén Medina	Titular	Jubilado	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro	Dr. José Luis Paredes	Asociado	Exclusiva	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro	Dr. Rubén Rojas	Titular	Exclusiva	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro	Dr. Tulio Núñez	Asociado	Exclusiva	Medicina	Cardiología	Colaborador	Además el Dr. Medina es actualmente el tutor de la tesis. Proporcionar conocimiento en las áreas de: <ul style="list-style-type: none"> <li>Relación entre variabilidad del intervalo QT y patologías presentes.</li> <li>Relación entre cambios en la morfología de la onda T y patologías presentes.</li> <li>Validación de los resultados de la aplicación desde el punto de vista médico</li> </ul>
Nombre	Categoría	Dedicación	Facultad	Escuela o Dpto.	Estatus en GIBULA	Participación en el Proyecto																																		
Dr. Diego Jugo	Titular	Jubilado	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro	Proporcionar conocimiento en las áreas de: <ul style="list-style-type: none"> <li>Procesamiento de señales ECG.</li> <li>Algoritmos para medir la variabilidad del intervalo QT.</li> <li>Morfología de la onda T.</li> <li>Desarrollo de interfaz gráfico orientado al área de la salud.</li> <li>Validación de los resultados obtenidos en cada una de las fases del proyecto.</li> </ul>																																		
Dr. Rubén Medina	Titular	Jubilado	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro																																			
Dr. José Luis Paredes	Asociado	Exclusiva	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro																																			
Dr. Rubén Rojas	Titular	Exclusiva	Ingeniería	Ing. Eléctrica	Miembro																																			
Dr. Tulio Núñez	Asociado	Exclusiva	Medicina	Cardiología	Colaborador	Además el Dr. Medina es actualmente el tutor de la tesis. Proporcionar conocimiento en las áreas de: <ul style="list-style-type: none"> <li>Relación entre variabilidad del intervalo QT y patologías presentes.</li> <li>Relación entre cambios en la morfología de la onda T y patologías presentes.</li> <li>Validación de los resultados de la aplicación desde el punto de vista médico</li> </ul>																																		

## Resultados

### Desarrollo de Página Web para difundir los resultados

Desarrollo de una Aplicación que incluya técnicas avanzadas de procesamiento de la señal Electrocardiográfica (ECG)

UNIVERSIDAD DE LOS ANDES VENEZUELA



Universidad de los Andes - Mérida, Venezuela

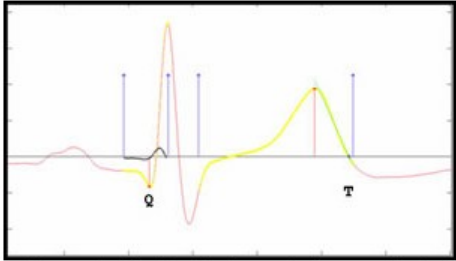
<div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Inicio</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px; font-weight: bold;">Aspectos generales</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Justificación</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Objetivos</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Antecedentes</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Impacto</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Valor agregado</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Beneficiarios</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Definiciones</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px;">Bibliografía</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px; font-weight: bold;">Participantes</div> <div style="background-color: #004a99; color: white; padding: 2px; font-weight: bold;">Resultados</div>	<p>pendiente, derivadas y máquinas de soporte vectorial para la medición del intervalo QT.</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Método basado en la máxima pendiente           <p style="margin-left: 20px;">Antes de medir el intervalo QT se buscaron los siguientes puntos fiduciales: onda Q (Q) y fin de la onda T (Tf) con métodos de búsqueda de máximos y mínimos en una ventana como la desarrollada en [13]. Los puntos fiduciales se detectaron analizando la primera y segunda derivada de los ECGs anteriormente preprocesadas. Luego se construyó una función lineal y se la hizo tangente al valor de máxima pendiente entre el pico y el fin de la onda T. Luego el fin de la onda T se ubicó temporalmente en el instante de tiempo donde se cruzan la función lineal y la línea isoelectrónica del ECG. La onda Q se detectó buscando el cruce por cero con flanco ascendente más cercano a la onda R.</p> <p style="margin-left: 20px;">Este algoritmo se desarrolló en el programa libre para realizar cálculos numéricos denominado Octave, el resultado se puede apreciar en la Fig. 5. <a href="#">Descargar código fuente</a></p> </li> </ul> <div style="text-align: center; margin: 10px 0;">  </div> <ul style="list-style-type: none"> <li>■ Método basado en Máquinas de Soporte Vectorial           <p style="margin-left: 20px;">Los SVM son una herramienta usada en la clasificación de objetos puntuales de dos clases que ha</p> </li> </ul>
---	--

Fig. 5: Detección punto Q y final de la onda T por método de derivadas



## Resultados

---

**Comunicaciones a Congresos**

## Resultados

---

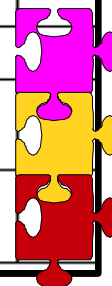
### Comunicaciones a Congresos

- IV Congreso Iberoamericano de Estudiantes de Ingeniería Eléctrica – Cibelec 2010. Mayo 2010, Mérida Venezuela
- X Congreso Internacional de Métodos Numéricos en Ingeniería y Ciencias Aplicadas – Cimenics 2010. Marzo 2010, Mérida Venezuela.
- III Jornadas de Ingeniería Biomédica. Marzo 2010, Mérida Venezuela.



## Cronograma Propuesto

Actividades	Tiempo de ejecución (meses)											
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
<b>Adaptar la plataforma para el procesamiento de los datos ECG.</b>												
Instalación del Sistema Operativo Linux												
Instalación de la librería para el procesamiento de señales fisiológicas Physiotookit	X											
Instalación de la librería para el desarrollo de interfaz gráfica Efitk												
Instalación del entorno de trabajo Eclipse												
Desarrollo de la Interfaz Gráfica de Usuario	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X	X
<b>Desarrollar algoritmos para analizar la variabilidad QT</b>												
Revisar antecedentes de algoritmos para analizar la variabilidad QT.	X	X	X									
Desarrollar e implementar algoritmos para analizar la variabilidad QT	X	X	X	X								



## Cronograma Propuesto

<b>Desarrollar algoritmos para el estudio de la morfología de la onda T usando PCA</b>												
Revisar un estudio bibliográfico de la técnica PCA				X	X	X						
Realizar estudios de los algoritmos existentes para el estudio de la morfología T.				X	X	X	X					
Desarrollar algoritmos para el estudio de la morfología de la onda T usando PCA				X	X	X	X					
<b>Validar los algoritmos desarrollados con datos de pacientes que padecen cardiopatía isquémica y sujetos de control pareados por edad y sexo</b>												
Asistir en la adquisición de señales electrocardiográficas en el Servicio	X	X	X	X	X	X	X	X				

## Cronograma Propuesto

Actividades	Tiempo de ejecución (meses)												
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
de Cardiología del Instituto Autónomo del Hospital de los Andes en Mérida													
Construir la base de datos de control	X	X	X	X	X	X	X	X					
Validar los algoritmos desarrollados con la base de datos							X	X	X				
<b>Analizar estadísticamente los resultados</b>													
Realizar un estudio de las herramientas existentes para realizar el estudio estadístico.								X	X	X			
Seleccionar la herramienta para realizar el estudio estadístico									X	X			
Analizar estadísticamente los resultados										X	X	X	

## Conclusiones

- El producto de la presente investigación es una herramienta para el procesamiento y visualización de señales ECG empleando software libre.
- De los parámetros estudiados, el intervalo QT, QTc y la morfología de la onda T (TWR) son los que mejor permiten discriminar entre pacientes con cardiopatía y sujetos de control.
- Se plantea solicitar una prórroga para realizar una validación con un número mayor de pacientes presentes en la base de adquirida, así como para culminar la integración del módulo de procesamiento de la señal con la interfaz gráfica.

## **Agradecimientos**

**Proyecto Financiado por CDCHT de la Universidad de los Andes**

*“Herramienta de Software para el Procesamiento Avanzado de la Señal Electrocardiográfica”*

**Y por el Centro Nacional de Desarrollo e Investigación en Tecnologías Libres (CENDITEL)**

*“Desarrollo de una Aplicación que incluya técnicas avanzadas de Procesamiento de la Señal Electrocardiográfica”*



# Desarrollo de una aplicación que incluya técnicas avanzadas de procesamiento de la señal Electrocardiográfica (ECG)



**Gracias...**

