

DETECCIÓN SEMIAUTOMÁTICA DE
CONTORNOS EN IMÁGENES DE
ECOCARDIOGRAFÍA MODO M.

Camilo Lamus G-H. *, Elsa M. Nieto P. **, Marcela Hernández Hoyos ***

RESUMEN Este artículo está enfocado en la extracción de contornos miocárdicos (septum, endocardio y epicardio) en imágenes de ecocardiografía modo M. El método propuesto combina dos algoritmos, cada uno desarrollado especialmente para la detección de ciertos contornos. La extracción del epicardio es hecha por medio del algoritmo básico de máxima búsqueda [8]. Para la extracción del endocardio y de la pared izquierda del septum interventricular, se usó un detector de discontinuidades de dos etapas [6]. En la primera etapa se calcula el promedio local de la imagen, y en la segunda etapa se usa la varianza local. La imagen de salida de este detector representa las discontinuidades en la imagen ecocardiográfica modo-M. Adicionalmente, el método permite la corrección manual de los errores en la detección. Ejemplos experimentales son presentados para mostrar el desempeño de la metodología.

ABSTRACT This paper is focused on the extraction of myocardial borders (septum, endocardium and epicardium) on M-mode echocardiograms. The proposed method combines two algorithms, each developed specially to extract certain borders. The extraction of the epicardium is done by means of a basic maximum tracking algorithm [8]. For the extraction of the endocardium and the left wall of the interventricular septum, a 2 stages discontinuity detector [6] is used. In the first stage the local mean of the image is calculated, and for the second stage the local variance is used. The output of this detector represents the discontinuities in the M-mode echocardiographic image. Additionally, the method allows for manually correction of errors in the detection. Experimental examples are presented to test the performance of the methodology.

Recibido el 27 de septiembre de 2004, aprobado el 5 de octubre de 2004

Palabras clave: Procesamiento de imágenes, extracción de contornos miocárdicos, ecocardiografía modo M.

* **Estudiante de Ingeniería Biomédica, Escuela de Ingeniería de Antioquia – Instituto de Ciencias de la Salud CES, bmcalam@eia.edu.co**

** **Profesor Instructor, Ingeniería Mecánica, Universidad de los Andes, el-nieto@uniandes.edu.co**

*** **Profesor Asistente, Ingeniería de Sistemas y Computación, Universidad de los Andes, marc-her-@uniandes.edu.co**

INTRODUCCIÓN

La ecografía es una herramienta para diagnóstico médico muy importante y competitiva, debido a su bajo costo, a su corto tiempo de adquisición y su naturaleza no invasiva. Este hecho ha estimulado una gran cantidad de investigación apuntada a incrementar su potencial diagnóstico [1].

La evolución de las técnicas ecocardiográficas en los últimos diez años ha revolucionado las metodologías de análisis de los estudios ecocardiográficos, de tal manera que la cuantificación se ha convertido en una herramienta fundamental para el diagnóstico [2]. Ejemplos de esta cuantificación pueden verse en trabajos como el realizado por Desco et al. [3] en donde se desarrolló una metodología y una aplicación de software para realizar la segmentación de las capas anatómicas del miocardio. Puede también resaltarse los trabajos realizados por Unser et al. [5], por Liu et al. [6] y por Rabben et al. [7], en los que se presentan diferentes metodologías para la detección automática, o semiautomática, de los contornos miocárdicos en imágenes de ecocardiografía modo-M.

Actualmente, el Grupo de Ingeniería Biomédica de la Universidad de los Andes viene desarrollando una metodología para determinar la contractilidad del ventrículo izquierdo [4], la cual ha sido probada satisfactoriamente en dos pacientes de cardiología pediátrica de la Fundación CardioInfantil. La contractilidad del ventrículo izquierdo es una propiedad determinante en la recuperación de

pacientes que han sido intervenidos con cirugías de reemplazo de válvula mitral. La determinación de parámetros relacionados con dicha propiedad es de gran importancia diagnóstica. Por consiguiente, la generación de herramientas computacionales para la determinación de estos parámetros genera grandes expectativas y retos para la evaluación de pacientes cardiopatas. Estos instrumentos automáticos o semiautomáticos, permiten la pronta valoración de las afecciones cardíacas y constituyen una valiosa ayuda para los especialistas en la determinación de procedimientos terapéuticos adecuados.

El objetivo de este trabajo es el diseño de una metodología y el desarrollo de un software que permita determinar los contornos de las estructuras cardíacas en imágenes ecocardiográficas (contorno del septum, endocardio y epicardio del ventrículo izquierdo), como herramienta para la cuantificación automática de parámetros relacionados con la contractilidad cardíaca.

1 METODOLOGÍA

En la presente investigación, enfrentamos el reto de desarrollar una metodología confiable para la detección de diferentes contornos cardíacos en imágenes ecocardiográficas doppler modo-M. Específicamente, nuestro esfuerzo está encaminado a la detección de la pared izquierda del septum interventricular, el endocardio y el epicardio. Estas estructuras son de gran relevancia debido a que son necesarias para la estimación de parámetros relacionados con la con-

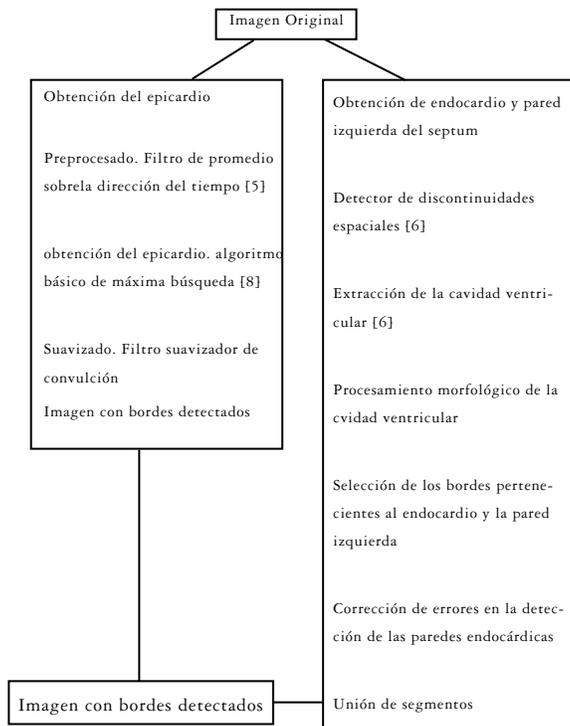


Figura 1. Diagrama de flujo de la metodología diseñada.

tractilidad cardíaca. Para obtener estas estructuras, se propone usar dos métodos diferentes, cada uno diseñado para la detección de ciertas características de los contornos cardíacos. El primero, basado en el método desarrollado por Unser et al. [5], es usado para la detección de epicardio. Adicionalmente a lo descrito por este autor, los contornos obtenidos son suavizados usando un filtro promediador. El

segundo método, el cual es una modificación a lo descrito por Liu et al. [6], es usado para la obtención de la pared izquierda del septum interventricular y del endocardio. En este caso, se modificó el método para extraer la cavidad y adicionalmente se añadió una etapa de procesamiento morfológico de la cavidad cardíaca. Por último, se permite hacer varios tipos de correcciones manuales en las detecciones. La figura 1 muestra un diagrama de flujo de la metodología diseñada para obtener los contornos cardíacos.

1.1 Extracción del epicardio

Debido a la relativa facilidad con la que se encuentra esta estructura cardíaca, se propone utilizar el algoritmo de máxima búsqueda [8] para la obtención del epicardio. Como las imágenes originalmente tienen color debido al efecto doppler, el primer paso para la extracción de epicardio es pasar las imágenes a escala de grises.

1.1.1 Preprocesado

Debido al alto contenido de ruido de las imágenes ultrasónicas, es necesario realizar un filtrado previo a la detección de las estructuras. Para lograr dicho objetivo, [5] propone realizar una mejora selectiva en la dirección del tiempo por medio del uso de un filtro promediador. Basándose en el hecho de que el movimiento de una estructura cardíaca entre una línea de tiempo y la siguiente es limitado, el uso de un filtro promediador de ventana deslizante de 1×3 (1) después de algunas iteraciones (normalmente

4) logra limpiar la imagen sin perder información. Este procedimiento de filtrado es igualmente propuesto por [5].

$$y_{ij} = (x_{i,j-1} + x_{ij} + x_{i,j+1})/3,$$

donde x_i, j es el valor del píxel ubicado en la fila i (profundidad) y la columna j (línea de tiempo).
(1)

1.1.2 Algoritmo básico de máxima búsqueda

El procedimiento básico se basa en el principio según el cual, el movimiento de una estructura entre un tiempo y el siguiente, está reducido a una región pequeña. En este caso, se determina manualmente un punto de partida en el margen izquierdo de la imagen (lo más cercano posible a la primera columna). Posteriormente, el algoritmo busca el punto con la máxima intensidad en la siguiente columna, dentro de una ventana de tamaño w (normalmente 4), centrada en la posición donde se detectó previamente el contorno. Este proceso es repetido hasta que se hayan barrido todas las columnas (líneas de tiempo). La eficiencia de este algoritmo en la detección de epicardio ha sido demostrada por [5]. La figura 2 (a) muestra el resultado de este algoritmo.

1.1.3 Suavizado del contorno obtenido

Una vez el contorno del epicardio ha sido extraído, se suaviza utilizando un filtro promediador, con el fin de hacer continua esta curva (figura 2 (b)). En este caso, se toma la posición (fila, columna) del contorno detectado, y se aplica el filtro sobre el

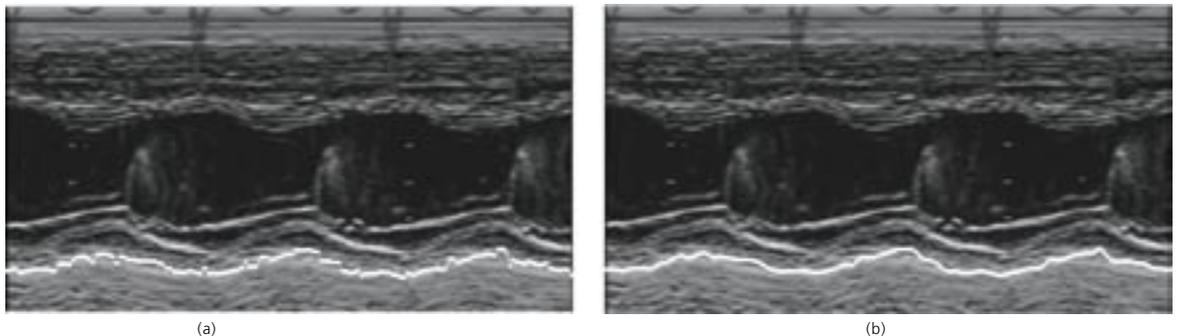
vector que contiene la fila en la que está ubicado el contorno. En este caso específico, el tamaño de la máscara de convolución utilizada es de 1×9 .

1.2 Extracción del endocardio y de la pared izquierda del septum interventricular

Para la extracción de estas dos paredes, nos basamos en la metodología descrita por Liu et al. [6], quien propone el uso de un detector de discontinuidades espaciales en conjunto con un sistema de extracción de la cavidad cardiaca.

1.2.1 Detector de discontinuidades espaciales

Este detector, el cual está compuesto de dos etapas, está diseñado para señales con alto contenido de ruido. La primera etapa del detector estima el momento local de orden k de la señal de entrada. La segunda etapa detecta las variaciones de la salida de la primera etapa. Liu et al. [6] encontraron resultados satisfactorios con $k = 1$. Por lo tanto, la salida de la primera etapa del detector es el valor medio de la señal de entrada, el cual es calculado usando un filtro de media deslizante de 7×7 . La salida de la segunda etapa es la varianza de este valor medio, el cual es igualmente calculado usando una ventana deslizante de 7×7 . El grosor del pico (respuesta del detector a una discontinuidad), es función del tamaño de la ventana deslizante del detector. Esto permite seleccionar, de la salida del detector, los máximos locales, que corresponden a las discontinuidades en la imagen. Se implementó una modificación al método original propuesto por [6] en el



(a)

(b)

Figura 2. Extracción de epicardio. (a) Algoritmo básico de máxima búsqueda. (b) Contorno del epicardio suavizado.

procedimiento de detección de máximos locales. En nuestra implementación, los máximos son seleccionados como tales, solamente si son superiores a un valor umbral. Este valor umbral es calculado con base al nivel de gris de la vecindad del epicardio detectado previamente. Para obtener tal valor, se calculó el promedio (a lo largo del epicardio) de las varianzas locales de una ventana de 7×1 centrada en el epicardio. La imagen resultante contiene un número de líneas las cuales representan las diferentes interfaces acústicas (Figura 3).



Figura 3. Aplicación detector de discontinuidades. Interfaces acústicas.

1.2.2 Extracción de la cavidad ventricular

En el método propuesto por [6], primero se procede a calcular el histograma de la imagen modo-M. Luego se encuentra el primer pico en el histograma, empezando desde nivel de intensidad cero, el cual representa la distribución de intensidad dentro de la cavidad. Posteriormente, se determina como valor umbral el primer mínimo en el histograma después de este pico. Por último, se procede a umbralizar la imagen usando el valor umbral antes calculado. Debido a la presencia de ruido, la imagen um-

bralizada contiene detecciones erróneas fuera de la cavidad que deben ser eliminadas. A diferencia de las detecciones que se encuentran dentro de la cavidad, aquellas que están fuera, son dispersas (las que están adentro se encuentran conectadas). Gracias a esta propiedad, un algoritmo de crecimiento de regiones (a partir de un punto semilla dentro de la cavidad) puede ser utilizado fácilmente para extraer la cavidad. El método original propuesto por [6] fue modificado con el objetivo de obtener varios puntos semilla de manera automática. Esto se logra, buscando en la imagen original los puntos donde hay color, puesto que en la ecocardiografía doppler modo-M, los puntos que presentan color (normalmente rojo y azul) representan el movimiento de la sangre, la cual está contenida dentro de la cavidad ventricular. La figura 4(a) muestra un ejemplo de la cavidad extraída.

1.2.3 Procesamiento morfológico de la cavidad

Con el fin de dar a la cavidad una forma un poco más adecuada y compacta, se realizaron un conjunto de operaciones morfológicas a la imagen resultante del proceso anterior. Como se ilustra en la figura 4 (a), en la parte superior de la cavidad aparece un conjunto de estructuras pequeñas las cuales representan ruido. Para lograr eliminar estas detecciones ruidosas se procedió a aplicar en la parte superior de la imagen una erosión morfológica. Adicionalmente, en la parte inferior, debido a la presencia de estructuras como cuerdas tendinosas y valvas, la cavidad puede verse interrumpida como se aprecia en



Figura 4. Extracción de la cavidad. (a) Cavidad extraída por medio de crecimiento de regiones (b) Procesamiento morfológico de la cavidad.

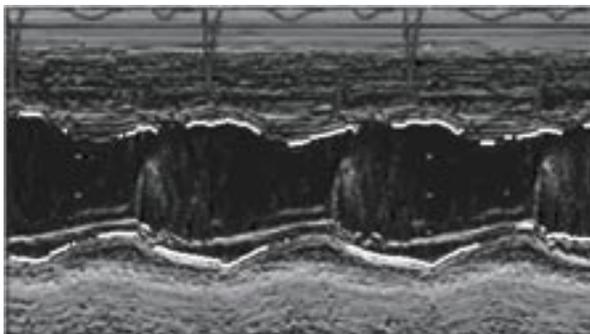
la figura 4 (a). Para lograr obtener sólo una cavidad continua, se usó un cerrado (*closing*) de la imagen en la parte inferior para conectar las regiones que aparecen separadas. La figura 4 (b) muestra el resultado de estas operaciones morfológicas.

1.2.4 Selección de los contornos pertenecientes al endocardio y a la pared izquierda del septum

Una vez encontrada la cavidad, se procede a obtener los contornos cardíacos. Los contornos de la cavidad extraída corresponden aproximadamente a los contornos endocárdicos buscados. Por esto, se asume que los contornos del endocardio pueden ser encontrados buscando en la salida del detector de discontinuidades, los segmentos de contorno que se encuentran más cercanos a los contornos de la cavidad extraída. La figura 5(a) muestra un ejemplo de los más cercanos a la cavidad extraída.

1.2.5 Corrección de los errores en la detección de las paredes endocárdicas

Como se ve en la figura 5(a), debido a la presencia de estructuras como cuerdas tendinosas y valvas, existen algunos segmentos detectados como contornos, los cuales no pertenecen a las paredes endocárdicas. Para sobrellevar esta limitación, se selecciona interactivamente las estructuras que están dentro de la cavidad ventricular para ser eliminadas, y de esta manera se procede a buscar otros segmentos de contornos que se encuentren al exterior de los segmentos detectados erróneamente. Por otro lado, es posible borrar segmentos de contorno parcialmente



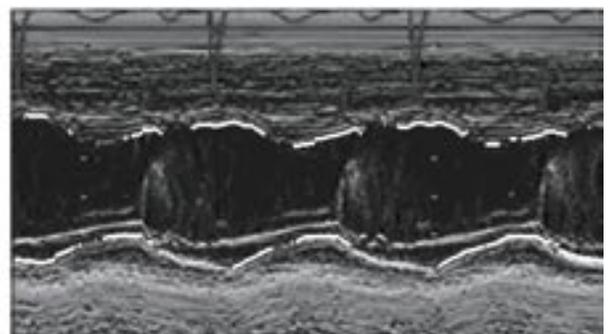
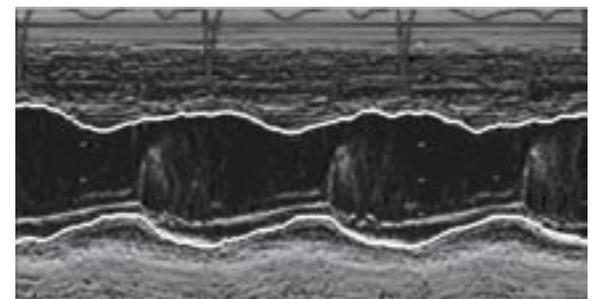
(a)

mal detectados así como seleccionar puntos en la imagen por los cuales se desea obligar a que los contornos endocárdicos pasen. Esto se hace con el fin de mejorar la detección de contornos en imágenes de baja calidad. La figura 5(b) muestra un ejemplo de la corrección de las paredes endocárdicas.

1.2.6 Unión de segmentos

El último paso en la detección de los contornos cardíacos es la unión de los segmentos de contorno anteriormente extraídos. Para lograr esto, se hace una búsqueda de los puntos con mayor gradiente en una ventana de tamaño 7×1 centrada en la línea que une los extremos de los segmentos desconectados. Con una ventana de este tamaño se logra obtener contornos suaves y continuos (Figura 6). Este gradiente es calculado especialmente usando la máscara de prewitt [10], de tal manera que se pondera el gradiente en la dirección y con el gradiente en la dirección x , haciendo que el peso del gradiente en y sea el doble del gradiente en x .

figura 6 Ejemplo de unión de segmentos buscando mayor gradiente

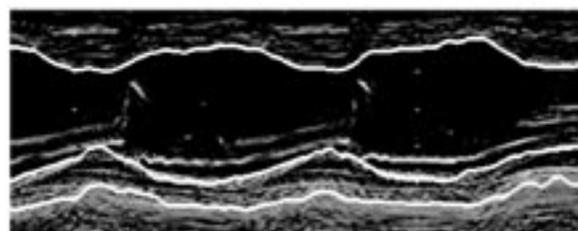
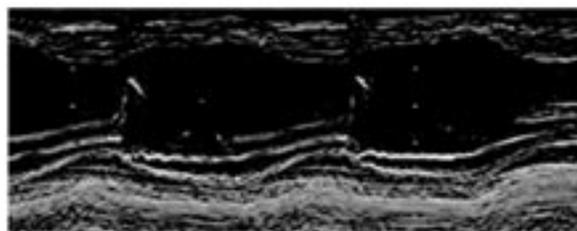
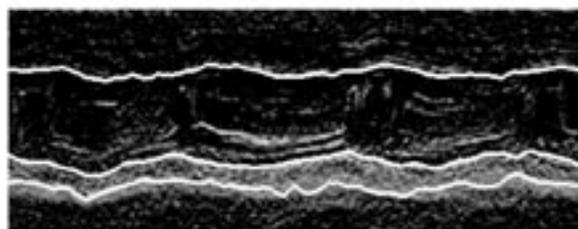
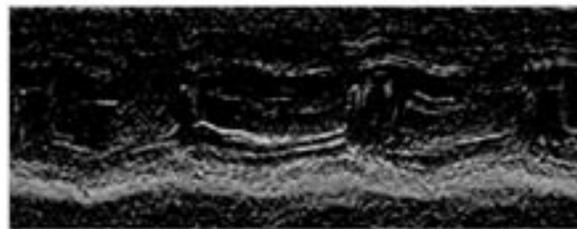
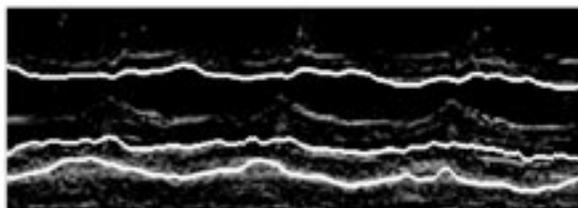
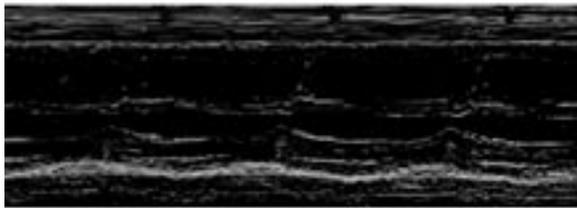
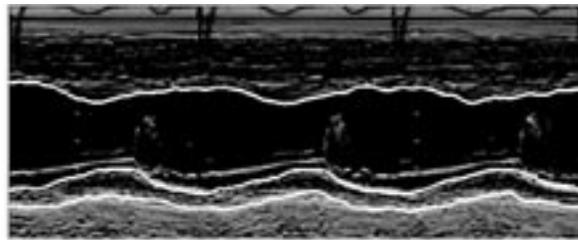
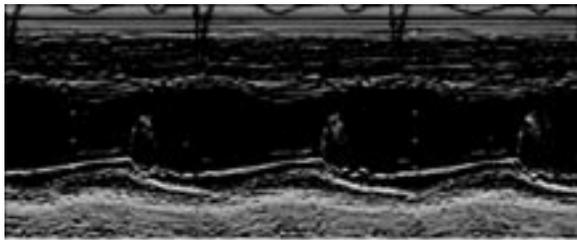


(b)

Figura 5. Contornos cardíacos seleccionados. (a) Contornos más cercanos a la cavidad extraída. (b) Corrección de los errores en la detección de las paredes endocárdicas.

2 RESULTADOS

Los algoritmos fueron implementados en un software el cual permite realizar todo el procesamiento de la imagen. Este software fue desarrollado en *Matlab*® 6.5 (The Mathworks, Natick, MA). El software fue probado en 8 imágenes de ecocardiografía doppler modo-M. 4 de los resultados del procesamiento de estas imágenes se muestran en la figuras 7. Visualmente, los contornos de todas las imágenes (pared izquierda del septum interventricular, endocardio y epicardio) fueron detectados correctamente (Figura 7).



(a)

(b)

Figura 7. Resultados del procesamiento de 4 imágenes de ecocardiografía doppler modo-M.
(a) Imagen antes de procesar.
(b) Imagen después de procesar. Los contornos son representados por las líneas blancas

3 DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

Una evaluación visual de los contornos obtenidos (con respecto a los contornos cardiacos buscados), permite concluir que estos (pared izquierda del septum interventricular, endocardio y epicardio) son detectados correctamente.

El método presenta un desempeño adecuado aún en presencia de ruido. En el caso de presentarse objetos en la imagen que dificultan la detección de los contornos, como lo son las cuerdas tendinosas y las valvas, el algoritmo, gracias al mediano nivel de in-

teracción que debe tener el usuario, permite realizar diferentes tipos de correcciones. En nivel de interacción que debe hacer el usuario es proporcional a la cantidad de artefactos presentes en la imagen, y es por esto, que cuando hay alta presencia de ruido, la detección de los contornos cardiacos puede tomar más tiempo.

Como perspectiva para trabajos futuros en esta área específica, proponemos el desarrollo de un nuevo acercamiento a la solución del problema de detectar contornos en imágenes de ecocardiografía modo-M, usando métodos más avanzados como lo son los contornos activos, los cuales usan información global sobre las características del contorno para detectarlo. Estos métodos, los cuales buscan la maximización de una función de costo, parecen ser más robustos para el tratamiento de imágenes ruidosas, como lo demuestra [5] y [7]. Con el desarrollo de una metodología robusta para la detección de contornos cardiacos se podría lograr disminuir la cantidad de interacción del usuario en el software.

4 REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] J. Duncan and N. Ayache
“Medical image analysis: Progress over two decades and the challenges ahead,”
En *IEEE Trans. on Patt. Anal. And Machine Intell.*, vol. 22, pp. 86-106, 2000.
- [2] M.J. Ledesma, N. Malpica, A. Santos, J.C. Antoranz, M.A. García-Fernández, M. Desco,
“Nuevas metodologías de análisis cuantitativo en ecocardiografía,”
XVIII Congreso Anual de la Soc. Esp. Ing. Biomédica, pp. 255-257. Cartagena. Sept. 2000.
- [3] M. Desco, M.J. Ledesma-Carbayo, E. Pérez, A. Santos, J.C. Antoranz, N. Malpica, P. Marcos-Alberca, M.A. García-Fernández
“Assessment of Normal and Ischaemic Myocardium by Quantitative M-mode Tissue Doppler Imaging,”
En *Ultrasound Med. Biol.*, 28(5): 561-569. May. 2002.
- [4] E.M. Nieto, J.C. Briceño, A.E. García-Torres
Desarrollo e implementación de una metodología para determinar la contractilidad del ventrículo izquierdo
Tesis para optar al título de Magister en Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, Universidad de los Andes, 2003.
- [5] M. Unser, G. Pelle, P. Brun, M. Eden
“Automatic extraction of serial myocardial borders from M-mode echocardiograms,”
En *IEEE Trans. Med. Imaging*, vol. 8, No. 1, pp. 96-103, 1989.
- [6] W.Y. Liu, M. Orkisz, I.E. Magnin, R. Brion
“Spatial discontinuity detection and temporal smoothing for heart-wall motion estimation from TM-mode echocardiographic images,”
En *Computers in Cardiology*, pp. 561-564, 1995.
- [7] S.I. Rabben, A.H. Torp, A. Stoylen, S. Slordahl, K. Bjornstad, B.O. Haugen, B. Angelsen,
“Semiautomatic contour detection in ultrasound M-mode images,”
En *Ultrasound in Med. & Biol.*, vol. 26, No. 2, pp. 287-296, 2000.
- [8] M. Kawahara, S. Eiho, H. Kitagawa, K. Minato, G. Osakada, H. Kotoura, S. Sasayama, A. Hirakawa, & C. Kawai
“Automatic analysis and VTR recording of echocardiograms,”
En *Proc. 6th Conf. Comput. Appl. Radio. Comput./Aided Anal. Radiolog. Images, New-port Beach, CA*, pp. 355-361, June 18-21, 1979.
- [9] R. Bellman
Dynamic Programming
Princeton, NJ: Princeton Univ. Press, 1957.
- [10] Matlab “Image Processing Toolbox,”
MathWorks, 2000.