



Universidad de Zaragoza

POSGRADO EN INGENIERÍAS TRANSVERSALES
MÁSTER EN INGENIERÍA BIOMÉDICA

Trabajo Fin de Máster:

Desarrollo y evaluación de un compresor específico para ecocardiogramas

Eva M^a Caveró Racaj

Director:

Álvaro Alesanco Iglesias

Septiembre 2010

Curso 2009-2010

“Desarrollo y evaluación de un compresor específico para ecocardiogramas”

RESUMEN

El objetivo principal de este trabajo es tanto el desarrollo como la evaluación de un compresor específico para ecocardiogramas.

De forma general, un ecocardiograma presenta cinco modos de operación distintos. Estos, a su vez, se pueden dividir en dos atendiendo a la forma en la que se visualiza el ultrasonido, los modos de barrido y los modos 2D. Estos modos de visualización presentan unas características especiales en la forma en la que representan el ultrasonido que hacen que éste pueda ser comprimido más eficientemente.

Los compresores utilizados actualmente para la compresión de los ecocardiogramas no aprovechan sus características y comprimen todo el ecocardiograma de la misma forma, sin distinguir los distintos modos de visualización. Por esta razón, en este trabajo, se ha desarrollado una nueva propuesta en la que se tienen en cuenta estas características y se aplican diferentes técnicas de compresión, tanto de imagen como de vídeo, para cada uno de los modos de visualización.

Esta nueva propuesta ha sido comparada con dos compresores de vídeo ampliamente utilizados en compresión de ecocardiogramas, Xvid y H264, de dos formas distintas. Primero, se ha hecho una comparación por cada uno de los modos de operación, ya que cada uno es diferente y se le aplica una técnica de compresión distinta. Los resultados obtenidos muestran cómo con la nueva propuesta se ha logrado mejorar los otros métodos para todos los modos, alcanzando con el mismo ratio de transmisión un mayor Peak Signal-to-Noise Ratio (PSNR) para casi todos los casos estudiados. Posteriormente, se ha hecho la comparación para siete ecocardiogramas representativos (que representan distintos diagnósticos y corresponden a pacientes con diferentes condiciones físicas), y así, poder comprobar la eficiencia global del método de compresión propuesto. Como era de esperar, con el método propuesto se obtienen mejores resultados que con los otros métodos, siendo esta mejora mayor para ratios de transmisión mayores y dependiente de la cantidad de tiempo que este presente cada modo y del tiempo que este parado para medir.

Finalmente, como parte práctica del trabajo fin de máster (TFM), he asistido a las sesiones de adquisición de los ecocardiogramas utilizados, en el Centro Médico de Especialidades “Inocencio Jimenez” de la ciudad de Zaragoza con el Dr. Pedro Serrano, médico cardiólogo y también he contado con la opinión del experto en el diseño del compresor. De esta forma, además de adquirir los ecocardiogramas necesarios para la evaluación del método me he familiarizado con los ecocardiogramas, alcanzando así, no sólo un conocimiento técnico, sino también, un conocimiento médico de los mismos.

“Development and evaluation of a specific compressor for echocardiogram”

ABSTRACT

The aim of this work is both the development and the evaluation of a specific compressor for echocardiograms. In a standard echocardiogram examination, four modes of operation can be distinguished. These can be divided into two groups, the sweep modes and the 2D modes, which have particular characteristics in the way of displaying the ultrasound.

The traditional video compression algorithms used in echocardiogram compression compress the entire video in the same way and the particular characteristics of the visualization modes are not considered. For this reason, in this work, a new approach which takes into account these characteristics is developed and different compression techniques, both for video and image, are applied depending on the echocardiogram display mode.

The new technique has been compared of two different ways with other compression methods like H264 and Xvid widely used in echocardiography. First, the compression methods have been compared for each mode of operation because each one is different and the compression technique for each mode is different too. The results obtained with the proposed method have clearly shown the improvement performance in term of Peak Signal-to-Noise (PSNR) compared with the others methods for all operation modes. Later, the compression methods have been compared for seven representative echocardiograms (each one with different diagnostics and for patients with different sizes) to evaluate the global efficiency of the proposed method. As expected, with the proposed method better results are achieved. The gain is more significant for transmission rates and depends on how long each mode is presented and how long the echocardiograms are stopped to take measurements.

Finally, I have attended the used echocardiograms acquisitions sessions in Zaragoza's hospital “Inocencio Jimenez” with Dr. Pedro Serrano experienced cardiologist who has acquired the echocardiograms and has given me advice for the elaboration of the compressor. Of this way, I have acquired the necessary echocardiograms for the evaluation and I have been familiarized with the echocardiograms too.

Índice general

1	Introducción y Objetivos	1
1.1	Ecocardiograma	1
1.2	Objetivos	2
1.3	Organización de la memoria	2
2	Características de los ecocardiogramas	5
2.1	Modos de operación	5
2.2	Propiedades de los ecocardiogramas	7
2.3	Modos de visualización	8
2.3.1	Modos de barrido	9
2.3.2	Modos 2D	10
3	Propuesta para la compresión del ecocardiograma	11
3.1	Codificación	11
3.2	Modos de barrido	11
3.3	Modos 2D	13
3.3.1	Compresión de la escala de grises	13
3.3.2	Compresión del color	13
4	Resultados y discusión	15
4.1	Adquisición de los ecocardiogramas	15
4.2	Características de los ecocardiogramas adquiridos	16
4.3	Parámetro de calidad	17
4.4	Evaluación para cada uno de los modos de operación	17
4.5	Evaluación de ecocardiogramas estándar	21
5	Conclusiones y líneas futuras	29
5.1	Conlusiones	29

5.2 Líneas de futuro	30
Bibliografía	31
A Acrónimos	35
B MPEG-4	37
B.1 Codificación Diferencial y Compensación de Movimiento en MPEG-4 . . .	38
C Set Partitioning In Hierachical Trees (SPIHT)	41
C.1 Transformada Wavelet	41
C.2 Algoritmo de ordenamiento de partición de grupos	44
C.3 Etapa de refinado	45
C.4 Ejemplo del funcionamiento del algoritmo	46
D JPEG2000	51
D.1 Características	51
D.2 Características técnicas	52
E Selección Wavelet madre para los modos de barrido	57
F Set Partitioning In Hierachical Trees (SPIHT) 3D	59
G Run Length Encoding (RLE)	61
H Resultados evaluación eocardiogramas estándar	63

Índice de figuras

2.1	<i>Modos B y Doppler Color.</i>	5
2.2	<i>Modos M, Doppler Pulsado y Continuo.</i>	6
2.3	<i>Partes de la ecocardiografía.</i>	8
2.4	<i>Ejemplos de frames para los modos de barrido. F es frame.</i>	9
2.5	<i>Partes de la ecocardiografía en los modos 2D.</i>	10
4.1	<i>Curvas ratio-distorsión para el Modo M.</i>	18
4.2	<i>Curvas ratio-distorsión para el Modo Doppler Pulsado.</i>	18
4.3	<i>Curvas ratio-distorsión para el Modo Doppler Continuo.</i>	19
4.4	<i>Curvas ratio-distorsión para el Modo B.</i>	19
4.5	<i>Curvas ratio-distorsión para el Modo Doppler Color.</i>	20
4.6	<i>Curvas ratio-distorsión para el vídeo 1.</i>	21
4.7	<i>Curvas ratio-distorsión para el vídeo 2.</i>	22
4.8	<i>Curvas ratio-distorsión para el vídeo 3.</i>	22
4.9	<i>Curvas ratio-distorsión para el vídeo 4.</i>	23
4.10	<i>Curvas ratio-distorsión para el vídeo 5.</i>	23
4.11	<i>Curvas ratio-distorsión para el vídeo 6.</i>	24
4.12	<i>Curvas ratio-distorsión para el vídeo 7.</i>	24
4.13	<i>Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 3 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	26
4.14	<i>PSNR medio por tramo para el vídeo 3 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	26
4.15	<i>Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 7 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	27

4.16	<i>PSNR medio por tramo para el vídeo 7 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	27
B.1	<i>Ejemplo de redundancia temporal.</i>	38
B.2	<i>Diferencia entre imágenes consecutivas.</i>	38
B.3	<i>Ejemplo de desplazamiento de cámara en una imagen.</i>	39
B.4	<i>Ejemplo de desplazamiento de cámara en una imagen.</i>	40
C.1	<i>Descomposición de una wavelet de 1-D, de K niveles.</i>	42
C.2	<i>Esquema de la organización de los coeficientes wavelet.</i>	43
C.3	<i>Ejemplo de la transformada wavelet.</i>	44
C.4	<i>Coeficientes wavelet organizados en árboles jerárquicos.</i>	45
C.5	<i>Coeficientes wavelet de una imagen utilizada como ejemplo. Los números fuera de la caja indican las coordenadas usadas.</i>	46
E.1	<i>Curva ratio-distorsión para diferentes wavelets madre.</i>	58
E.2	<i>Curva ratio-distorsión para diferentes niveles.</i>	58
F.1	<i>Esquema algoritmo SPIHT-3D.</i>	59
F.2	<i>Árbol de ordenación para la wavelet de 3 dimensiones.</i>	60
H.1	<i>Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 1. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	71
H.2	<i>PSNR medio por tramo para el vídeo 1. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	71
H.3	<i>Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 2. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	72
H.4	<i>PSNR medio por tramo para el vídeo 2. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	72
H.5	<i>Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 3. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	73
H.6	<i>PSNR medio por tramo para el vídeo 3. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	73
H.7	<i>Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 4. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	74
H.8	<i>PSNR por tramo para el vídeo 4. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.</i>	74

H.9	Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 5. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.	75
H.10	PSNR por tramo para el vídeo 5. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.	75
H.11	Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 6. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.	76
H.12	PSNR medio por tramo para el vídeo 6. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.	76
H.13	Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 7. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.	77
H.14	PSNR medio por tramo para el vídeo 7. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.	77

Índice de tablas

4.1	Diagnóstico de los siete ecocardiogramas estándar.	16
4.2	Composición de los 7 ecocardiogramas estándar.	16
C.1	Ejemplo de codificación SPIHT.	48
D.1	Partes del estándar JPEG2000.	51
H.1	PSNR y ancho de banda para el vídeo 1.	64
H.2	PSNR y ancho de banda para el vídeo 2.	65
H.3	PSNR y ancho de banda para el vídeo 3.	66
H.4	PSNR y ancho de banda para el vídeo 4.	67
H.5	PSNR y ancho de banda para el vídeo 5.	68
H.6	PSNR y ancho de banda para el vídeo 6.	69
H.7	PSNR y ancho de banda para el vídeo 7.	70

Capítulo 1

Introducción y Objetivos

1.1 Ecocardiograma

La ecocardiografía es una técnica de diagnóstico por imagen ampliamente utilizada para la obtención de un diagnóstico preciso de enfermedades cardiovasculares, así como para el seguimiento de pacientes con cardiopatías. Un ecocardiograma consiste en la adquisición continua de imágenes de ultrasonido del corazón, y presenta varias ventajas con respecto a otras técnicas médicas de diagnóstico mediante imagen: es no invasivo, no produce radiación ionizada y es barato. Una ecocardiografía estándar presenta cinco modos de operación: B, M, Color Doppler, Doppler Pulsado y Doppler Continuo. Cada uno de estos modos tiene unas características diferentes en la forma en la que se visualiza el ultrasonido y, de forma general, se pueden agrupar en dos, los modos de barrido y los modos 2D.

Los ecocardiógrafos digitales producen un elevado flujo de datos que puede causar una rápida saturación de los dispositivos de almacenamiento si los ecocardiogramas son guardados en su formato original, sin comprimir. Para los proyectos de tele-ecocardiografía donde los ecocardiogramas tienen que ser transmitidos en tiempo real, los flujos de datos sin tratar no son manejables fácilmente por líneas de comunicación habituales. Es por eso que la compresión debe ser aplicada tanto por los requerimientos de almacenaje, como para la reducción del ancho de banda de transmisión. Los ratios alcanzados con la compresión sin pérdidas (aproximadamente 4:1) no son suficientes y no solucionan el problema. Por lo tanto, se debe utilizar la compresión con pérdidas que es capaz de reducir el flujo de datos considerablemente. En los últimos años, los algoritmos de compresión con pérdidas propuestos por Moving Pictures Experts Groups (MPEG) están muy extendidos y son muy usados debido a su alta eficiencia. Actualmente, MPEG-4 (ver Anexo B) es uno de los más usados para la compresión de secuencias de videos. El códec Xvid [1] es una implementación de código abierto del estándar MPEG-4 y H.264/MPEG-4 Parte 10 [2] es la elección más común para la compresión de video debido a su buen funcionamiento para ambos propósitos, transmisión en tiempo real

y almacenamiento. Por ejemplo, Xvid ha sido utilizado en [3] y H264 en [4] para la compresión de vídeos de ultrasonido en aplicaciones de Telemedicina. Pero estos algoritmos comprimen todo el video de la misma forma y no tienen en cuenta las características particulares de cada modo de operación.

La motivación de este proyecto surge de la necesidad de encontrar un compresor de ecocardiografías adecuado que cumpla con el compromiso calidad-compresión de la forma más eficiente posible, y para ello explote las características particulares de los ecocardiogramas y se apliquen diferentes técnicas de compresión, tanto de imagen como de video, para cada uno de los modos de visualización.

Actualmente, los compresores tanto de imagen como de vídeo basados en la transformada wavelet discreta [5], Discrete Wavelet Transformation (DWT), han ganado mucha importancia [6], [7], [8]. Dos de los más usados para aplicaciones de compresión de imágenes médicas son Set Partitioning In Hierarchical Trees (SPIHT) [7] y Joint Photographic Experts Group 2000 (JPEG2000) [8], obteniendo buenos resultados en la compresión de imágenes de ultrasonidos tanto SPIHT [9], como JPEG2000 [10]. En cuanto a la compresión de vídeo, SPIHT 3D [11] también está siendo ampliamente usado para la compresión de vídeo e imágenes 3D, además, presenta muy buenos resultados en aplicaciones médicas [12].

1.2 Objetivos

El objetivo principal de este trabajo es tanto el desarrollo como la evaluación de un compresor específico para ecocardiogramas. Para ello se elabora una técnica de compresión diferente para cada uno de los modos de visualización, modos de barrido y modos 2D, aprovechando las características particulares de estos y utilizando las técnicas de compresión tanto de imagen como de vídeo que mejor se adecuan con el fin de lograr una compresión más eficiente .

Para la evaluación de la técnica de compresión propuesta se calcula el Peak Signal-to-Noise Rate (PSNR) de varios vídeos adquiridos por un cardiólogo experto en ecocardiografía y se compara con las técnicas típicas utilizadas para la compresión de ecocardiogramas, Xvid y H.264, que comprimen todo el vídeo de la misma forma, sin tener en cuenta las características particulares de los modos de visualización.

1.3 Organización de la memoria

La memoria está estructurada de la siguiente manera:

- **Capítulo 1: Introducción.** Es el capítulo actual y contiene una breve descripción del ecocardiograma, así como una explicación de la necesidad de compresión y de cómo se aborda este problema en el presente trabajo.

- **Capítulo 2: Características de los ecocardiogramas.** Este capítulo contiene una descripción de las principales características de los modos de operación y la división de estos en los modos de visualización.
- **Capítulo 3: Propuesta para la compresión del ecocardiograma.** Este capítulo contiene una descripción de las técnicas de compresión propuesta que se aplican a cada uno de los modos de visualización.
- **Capítulo 4: Resultados y discusión.** Este capítulo contiene las simulaciones, resultados y conclusiones de las compresiones de los ecocardiogramas con la técnica propuesta comparada con otras técnicas de compresión ampliamente utilizadas en ecocardiografía.
- **Capítulo 5: Conclusiones y futuras líneas de trabajo.** Último capítulo de la memoria principal que contiene las conclusiones obtenidas en la realización del trabajo y líneas futuras de investigación.

El contenido de los anexos incluidos es el siguiente:

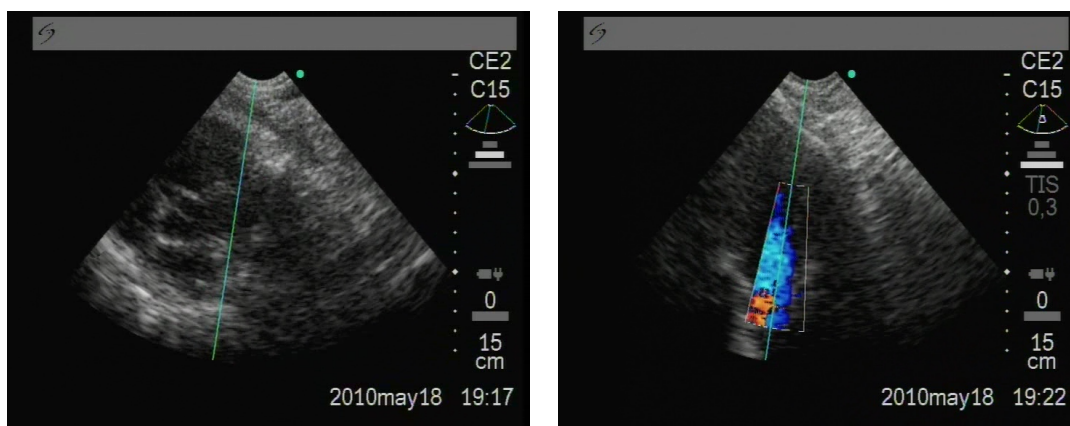
- En el anexo A contiene una lista de los acrónimos utilizados en esta memoria.
- En el anexo B se describe el estándar de vídeo MPEG-4.
- En el anexo C se describe el algoritmo SPIHT.
- En el anexo D se describe el compresor de imágenes JPEG2000.
- En el anexo F se describe el algoritmo SPIHT 3D.
- En el anexo G se describe el compresor RLE.
- En el anexo E se explica la selección de la wavelet madre para la elaboración del algoritmo SPIHT.
- En el anexo H se muestran los resultados de las simulaciones para siete ecocardiogramas representativos.

Capítulo 2

Características de los ecocardiogramas

2.1 Modos de operación

De forma general, la ecocardiografía, para obtener una visión completa del corazón, utiliza distintos modos de operación. Todos ellos tienen la misma importancia general, algunos aportan más información para el diagnóstico de algunas patologías, mientras que otros lo hacen para patologías diferentes. Veamos a continuación una breve introducción sobre los modos de funcionamiento típicos de una ecocardiografía:

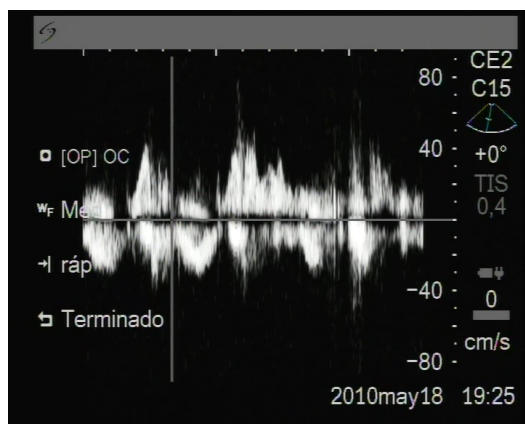
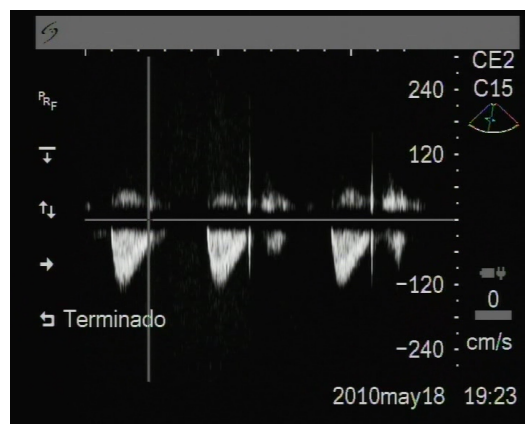


(a) *Modo B.*

(b) *Modo Color Doppler.*

Figura 2.1: *Modos B y Doppler Color.*

- **Modo B:** Este es el modo de operación básico de la ecografía, tal y como podemos ver la Figura 2.1(a). Lo que muestra este modo es un corte del corazón desde una perspectiva dada. Se pueden obtener imágenes del corazón desde otras perspectivas dependiendo de la llamada ventana de visualización que utilice el operador del

(a) *Modo M.*(b) *Modo Doppler Pulsado.*(c) *Modo Doppler Continuo*Figura 2.2: *Modos M, Doppler Pulsado y Continuo.*

ecógrafo y que viene dada por la posición del sensor en el cuerpo del paciente. Existen tres de esas ventanas de visualización distintas: desde el esternón, desde la boca del estómago y desde las costillas, bajo el brazo. El aspecto de dichas visualizaciones, aun siendo distinto, no supondrá ninguna diferencia en cuanto a la compresibilidad de los fragmentos de vídeo que las contengan, de modo que las consideraremos todas ellas como un único modo.

- **Modo Doppler color:** A partir del modo B, podemos crear una ventana de modo Doppler color, como aparece en la Figura 2.1(b). En dicha ventana, y mediante un código de colores, se muestra información sobre la velocidad, dirección y sentido del flujo de la sangre. El color rojo significa que el flujo se acerca, el azul que se aleja, y el llamado mosaico, que consiste en una cuadrícula de blancos, quiere decir que se trata de un flujo de gran velocidad o turbulento. Este modo podría haber

sido tratado como un modo B, pero al ser el único que trabaja con información de color es conveniente separarlo, y realizar un estudio particular del mismo. Además, la información relevante para el diagnóstico en este modo se encuentra en la información de color.

- **Modo M:** Este modo, mostrado la Figura 2.2(a), se trata de una representación especial del modo B. Consiste en la evolución temporal del corte dado por el plano transversal a la ecografía, definido por la línea verde que aparece en la Figura 2.1(a). El operador puede desplazar dicha línea hasta la posición que le interese y activar este modo. Gracias a este modo, y al sistema de cursores con que cuenta, se puede obtener una medida precisa de distintas distancias, con lo que el profesional es capaz de medir los volúmenes sistólicos y diastólicos de las cavidades cardíacas, las paredes existentes entre ellas y otras longitudes de importancia para el diagnóstico de ciertas patologías.
- **Modos Doppler Pulsado y Doppler Continuo:** Estos modos son, aproximadamente, al Doppler Color, lo que el modo M es al modo 2D. En el modo Doppler Color se puede apreciar una línea blanca similar a la ya comentada para el modo B (ver la Figura 2.1(b)). En la zona central de dicha línea hay una breve interrupción de la misma. El modo Doppler Pulsado (ver Figura 2.2(b)) muestra una evolución temporal del flujo de sangre en la ventana formada por dicha interrupción, y se utiliza para medir velocidades pequeñas de la sangre en zonas localizadas. El modo Doppler Continuo (ver Figura 2.2(c)) es similar al Doppler Pulsado, pero muestra la evolución del mayor flujo presente en todo el corte definido por la línea blanca ya comentada. Se usa, por lo tanto, para realizar medidas de velocidades elevadas, en zonas menos localizadas que el modo Pulsado.

2.2 Propiedades de los ecocardiogramas

Las particularidades que podemos encontrar en este tipo de secuencias respecto a una general son las siguientes:

1. **Información de diagnóstico concentrada en el centro del cuadro:** Tal y como podemos apreciar en la Figura 2.3, el ecocardiograma tiene dos partes, una con el ultrasonido y otra alrededor con la información suplementaria (como fecha, hora, tipo de sonda, etc.) que no afecta a la calidad del diagnóstico. Además, esta información externa es altamente estacionaria y sólo cambia al pasar de un modo de operación a otro. Es por eso y como se ha hecho en varios trabajos previos [13], [14], [15], que en este trabajo sólo se comprime la parte del ultrasonido.
2. **Poca información de color:** El contenido de la ecografía viene dada por su forma, no por su color. El color es casi del todo inexistente en un vídeo de

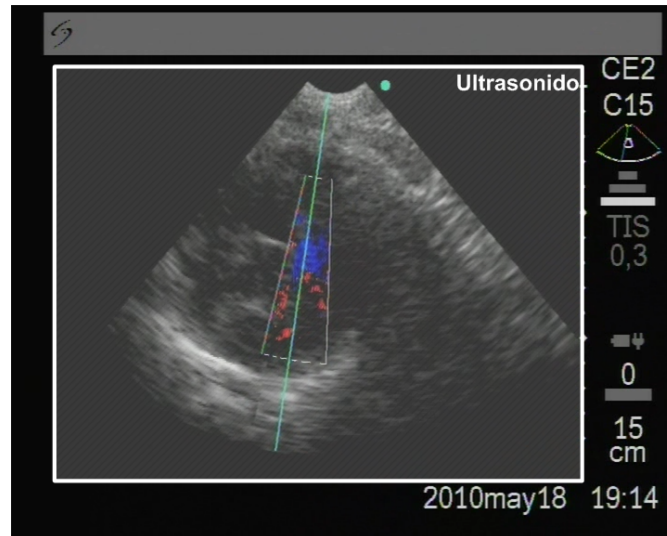


Figura 2.3: *Partes de la ecocardiografía.*

ultrasonidos salvo en el modo Color Doppler. Éste es el único caso en el que hay que tener en cuenta la información de color, pudiéndose obviar sin pérdida de calidad de diagnóstico en el resto de la secuencia.

3. **Poca variabilidad entre frames:** En el modo B y Doppler Color hay ausencias de movimientos bruscos y en los modos M, Doppler Pulsado y Continuo, la imagen es mostrada gradualmente, como ya se explicará en la siguiente sección. Esta cualidad de los ecocardiogramas, si es aprovechada adecuadamente, puede llevarnos a una compresión más eficiente.
4. **Distintos tipos de secuencia:** Un vídeo general contiene un número prácticamente infinito de tipos de secuencia, sin embargo en los vídeos de ultrasonidos tratados en este proyecto podemos encontrar un número limitado de ellos. Como ya hemos visto existen cinco modos distintos de operación, pero dadas las características de visualización del ultrasonido podemos diferenciar tan sólo dos modos, los modos de barrido y los modos 2D. Las características de estos modos de visualización son descritas en la siguiente sección.

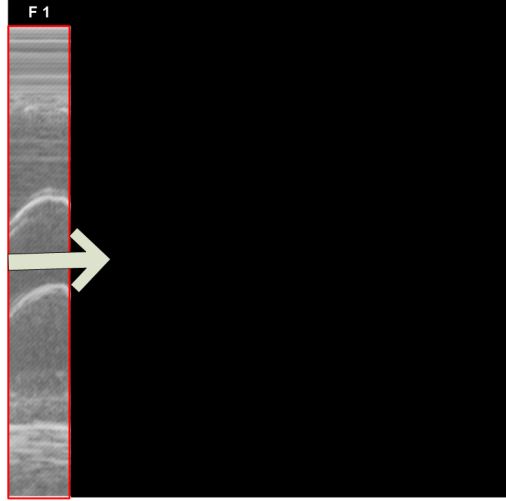
Todas estas características de los ecocardiogramas son tenidas en cuenta en la elaboración del compresor.

2.3 Modos de visualización

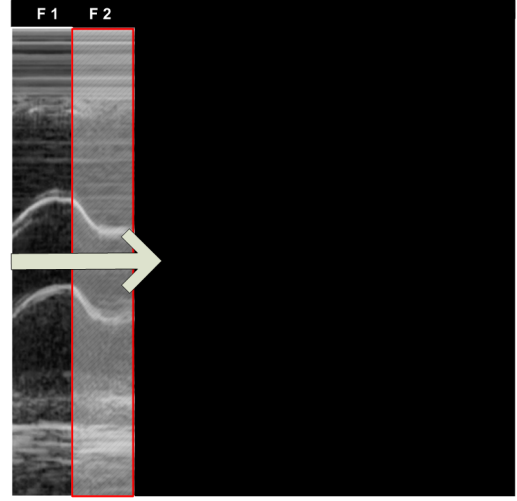
Como ya se ha mencionado, podemos distinguir dos modos según las características en las que se muestra el ultrasonido, los modos de barrido y los modos 2D. Ésta clasificación ha sido introducida en este trabajo para la elaboración del compresor. A continuación,

se describen estas características que serán las que se tengan en cuenta a la hora de elaborar el método de compresión para cada uno de ellos.

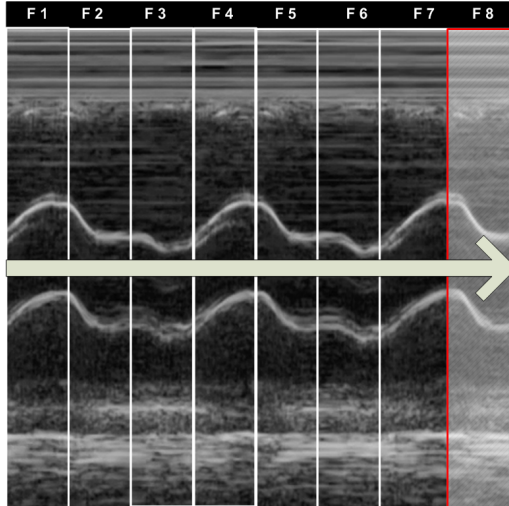
2.3.1 Modos de barrido



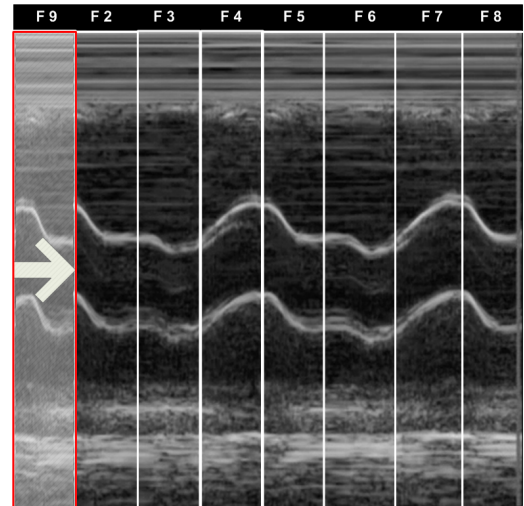
(a) Frame 1.



(b) Frame 2.



(c) Frame 8.



(d) Frame 9.

Figura 2.4: Ejemplos de frames para los modos de barrido. F es frame.

Los modos de barrido son los modos M, Doppler Pulsado y Continuo (ver Figura 2.2). En estos modos la imagen de ultrasonido va apareciendo gradualmente. En la Figura 2.4 se muestra como en cada frame va apareciendo una nueva franja (en la Figura 2.4(a) aparece la primera franja en el primer frame y en la la Figura 2.4(b) aparece la segunda franja en el segundo frame) y cuando se completa toda la pantalla (Figura 2.4(c)) empieza

de nuevo desde el principio (Figura 2.4(d)). Cuando el cardiólogo lo considere oportuno para el barrido, mostrándose la misma imagen cada frame y así poder tomar medidas.

2.3.2 Modos 2D

Los modos 2D son los modos B y Doppler Color. Como se puede ver en la Figura 2.5, estos modos pueden ser divididos en dos partes. La parte 2D (ver Figura 2.5 etiqueta 2D) que es común para ambos modos y no presenta información de color, y la parte color doppler (ver Figura 2.5 etiqueta color doppler) que sólo esta presente en el modo Doppler Color y está localizada en una pequeña zona del ultrasonido. Cuando el cardiólogo lo considere oportuno congela la imagen y así puede tomar medidas.

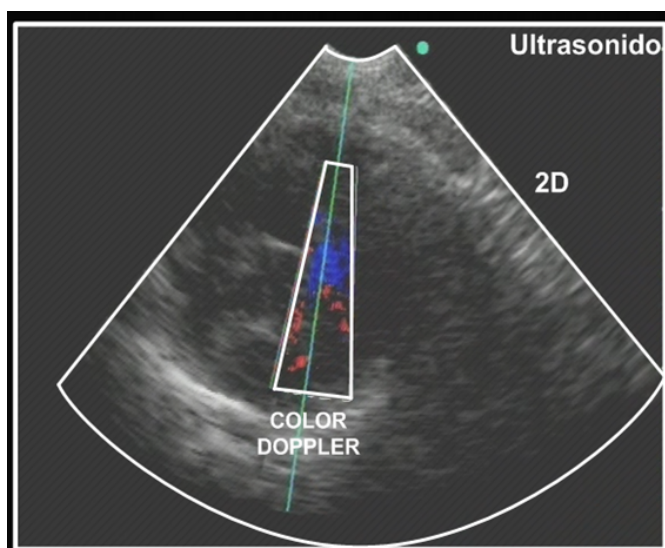


Figura 2.5: *Partes de la ecocardiografía en los modos 2D.*

Capítulo 3

Propuesta para la compresión del ecocardiograma

En este capítulo se va a explicar la propuesta de compresión para cada uno de los modos de visualización teniendo en cuenta las características de estos y las características generales de los ecocardiogramas que han sido expuestas en el capítulo anterior. También se explica cómo se va a codificar la imagen para cualquiera de los modos.

3.1 Codificación

Para la codificación de la imagen se ha utilizado el formato YUV. Este formato es ampliamente utilizado, ya que es el más apropiado para la compresión. Una de las ventajas que presenta es que tiene una componente para la escala de grises, Luma (Y), y dos componentes para representar el color, Croma Azul (Cb) y Croma Rojo (Cr). De esta forma, si la imagen no tiene color, sólo será necesaria la componente Y. Otra de las ventajas que presenta es que el ojo humano es más sensible a la componente Y, y por tanto, se pueden reducir las componentes de croma utilizando así menos bits para la codificación.

3.2 Modos de barrido

Como ya se ha explicado en el capítulo anterior, estos modos tienen unas características especiales en el modo en el que el ultrasonido es representado y no presentan información de color, por lo tanto, para su codificación sólo es necesaria la componente Y. Por cada frame sólo cambia una franja (ver Figura 2.4) y es por eso que en cada frame sólo se comprime esta nueva franja en lugar de toda la imagen.

Para la compresión de las franjas se han propuesto dos algoritmos distintos, SPIHT y JPEG2000, por ser unos de los algoritmos más utilizados en la compresión de imágenes médicas y presentar muy buenos resultados. SPIHT ha sido programado en C siguiendo

el algoritmo propuesto por A. Said y W. A. Pearlman [7] y explicado en el Anexo C. JPEG2000 ha sido descargado de [16], que es una de las implementaciones que se sugieren en [17], página oficial de JPEG, y sus características son explicadas en el Anexo D.

Estos algoritmos propuesto utilizan la DWT y es por eso que el tamaño de la franja es un parámetro muy importante a tener en cuenta para la obtención de unos buenos resultados en la compresión y para una buena eficiencia del algoritmo. Por lo tanto, se deberá determinar un tamaño mínimo de franja. El tamaño de la franja depende del ecocardiografo. La altura viene dada por la resolución y será suficiente. La anchura depende de la velocidad de barrido y la resolución, y ésta puede ser muy pequeña, por lo que se aconseja un tamaño mínimo de 32 píxeles. Si la anchura de la franja es menor a 32 píxeles se unen las franjas necesarias para alcanzar este valor, pasando el resto de píxeles a formar la siguiente franja, y así hasta el final. En aplicaciones de tiempo real y en el caso de tener que juntar franjas, se introducirá un retardo en la visualización que en cualquier caso será menor a 32 píxeles (el retardo en tiempo depende del dispositivo utilizado). Se ha seleccionado este valor porque es potencia de dos (los dos algoritmos trabajan con dimensiones de potencia de dos), es suficientemente elevado para ofrecer una buena eficiencia y en el caso de aplicaciones de tiempo real, el retardo introducido no es significativo.

Otra de las características a tener en cuenta es que la dimensión de la imagen a comprimir en SPIHT debe ser potencia de dos. Si la altura no es adecuada se extiende la imagen con el valor del extremo hasta la potencia de dos más cercana. En [18] se demostró que ésta era la mejor forma de realizar la compresión de este algoritmo cuando el tamaño de la imagen es arbitrario. La anchura de la franja siempre debe ser superior a 32 y viene dada por la ecuación 3.1. Si la anchura de la franja de cada frame es inferior a 64 (potencia de dos inmediatamente superior a 32) se agrupan los frames necesarios para formar franjas de 32 píxeles y si es necesario, en la última, se añaden píxeles hasta completar los 32 de la misma forma que con la altura. En el caso de que la dimensión de la franja de cada frame sea igual o superior a los 64 píxeles, la franja se acorta a la potencia de dos inmediatamente inferior, pasando el resto de bits a formar la siguiente franja y en la última, se añaden los bits necesarios hasta completar la potencia superior de dos más cercana, pero como mínimo de 32.

$$Anchurafranja = \begin{cases} 32 & \text{si } anchurafranjaframe < 64 \\ 2^{\lfloor \log_2(anchurafranjaframe) \rfloor} & \text{si } anchurafranjaframe \geq 64 \end{cases} \quad (3.1)$$

Otro parámetro muy importante para la adecuada eficiencia de la DWT es una selección adecuada de la wavelet madre. En la implementación del JPEG2000 se utiliza Daubechies 9/7 en el caso de compresión con pérdidas y Le Gall 5/3 en el caso de compresión sin pérdidas. La wavelet madre utilizada en SPIHT es Coiflet de 12 coeficientes. En el Anexo E se explica más detalladamente esta elección.

Para poder realizar la compresión y descompresión de estos modos, será necesario

conocer tanto la resolución de la pantalla (anchura y altura en píxeles) como la velocidad de barrido (píxeles/segundo).

3.3 Modos 2D

Como ya se ha explicado en el capítulo anterior, la parte color Doppler (ver Figura 2.5 etiqueta color Doppler) está localizada en una pequeña zona del ultrasonido, así que las componentes de color, Cb y Cr, sólo cambian en esta región. Es por eso por lo que los algoritmos en los que las tres componentes son unidas, como por ejemplo [19] y [20], no son apropiadas y se proponen diferentes técnicas de compresión para la componente Y y para las componentes Cb y Cr.

La compresión de las componentes Cb y Cr no será necesaria en el modo B, ya que éste no presenta color.

3.3.1 Compresión de la escala de grises

Para la compresión de la componente Y se propone el algoritmo 3D SPIHT [11]. Este algoritmo presenta buenos resultados en aplicaciones médicas de compresión de vídeo [12]. 3D SPIHT es una extensión de SPIHT de dos a tres dimensiones, dos espaciales y una temporal, en el Anexo F se explica más detalladamente el algoritmo. Para este trabajo se ha descargado el software de la página de SPIHT [21]. La dimensión temporal que utiliza es 16, por lo que se introduce un retardo de 16 frames en la visualización (el tiempo depende del ratio de frame) en aplicaciones de tiempo real. Este valor proporciona buenos resultados (ver por ejemplo [12]) y no introduce un retardo excesivo.

3.3.2 Compresión del color

Para la compresión de las componentes Cb y Cr se propone Run Length Encoding (RLE) [22], explicado en el Anexo G, porque es eficiente en la compresión de datos que contienen un alto número de secuencias en el que se tiene el mismo valor en varios elementos consecutivos, y esto es lo que ocurre en las componentes de color, en donde todos los valores son iguales excepto en la parte color doppler (ver Figura 2.5). Además, RLE es un algoritmo que no introduce pérdidas en la compresión.

Dado que en el modo Doppler Color la información más relevante está en el color y la compresión de esta información no presenta pérdidas, ésta se comprimirá primero, y posteriormente, con los bits sobrantes dada la tasa de compresión, se comprimirá la componente Y.

Capítulo 4

Resultados y discusión

En este capítulo se ha realizado la evaluación del método propuesto descrito en la sección anterior. Para ello, es necesario adquirir los ecocardiogramas y seleccionar los parámetros a evaluar. Se realizan dos tipos de comparaciones, una por modos de operación (ver los distintos modos de operación en la Sección 2.1) y otra para ecocardiogramas estándar. De esta forma se evalúa de forma separada la ganancia del método propuesto para cada uno de los modos de operación, ya que éstos tienen características distintas y se comprimen de forma diferente, y también, se evalúa la ganancia total del método propuesto.

El método propuesto es comparado con los métodos típicos utilizados para la compresión de ecocardiogramas descritos en la Sección 1.1 (compresores Xvid y H.264), que comprimen el vídeo sin tener en cuenta las características particulares de los ecocardiogramas. Esta comparación se realiza para distintos ratios de compresión con el fin de evaluar cómo éstos afectan a la compresión.

4.1 Adquisición de los ecocardiogramas

Los ecocardiogramas utilizados en las simulaciones han sido adquiridos por el cardiólogo experto en ecocardiografía, Dr. Pedro Serrano, en el Centro Médico de Especialidades “Inocencio Jimenez” mediante un equipo compuesto por un ecógrafo portátil *SonoHeart Elite de SonoSite* [23] y una tarjeta capturadora de vídeo externa *ConvertX M-402U de Plector* [24]. Para familiarizarme con los ecocardiogramas y cómo estos son adquiridos asistí a las sesiones de adquisición.

Para la evaluación por modos de operación, se han adquirido 60 minutos de ecocardiograma para tres pacientes con distintas patologías. Para cada uno de los pacientes se han capturado 20 minutos, cuatro minutos de cada uno de los cinco modos de operación, sin realizar paradas ni medidas. Por cada uno de los modos de operación hay un total de 12 minutos. Estos vídeos se han adquirido sin realizar paradas, ya que, como se ha explicado en el capítulo anterior, en esta situación no se necesita información

adicional y, por lo tanto, estaríamos introduciendo una eficiencia que no se quiere evaluar aquí, se evalúa en el siguiente estudio.

Para el estudio de los ecocardiogramas estándar se han seleccionado siete ecocardiogramas reales que representan distintos diagnósticos (ver Tabla 4.1) y para pacientes con distintas condiciones físicas (delgado, obeso, normal), siendo estos suficientemente representativos y de una duración aproximada de unos 3 minutos. Cada uno de estos vídeos contiene todos los modos de operación descritos anteriormente y paradas para medir, tal y como ocurre en cualquier ecocardiograma. En la Tabla 4.2 se muestra la composición de los vídeos, cuantos frames de cada modo tiene cada uno.

Vídeo	Diagnóstico
1	Infarto de miocardio anteroseptal
2	Normal
3	Infarto de miocardio lateral
4	Infarto de miocardio septal medio
5	Defecto septal ventricular
6	Cardiopatía isquémica en fase dilatada
7	Hipertensión pulmonar grave

Tabla 4.1: Diagnóstico de los siete ecocardiogramas estándar.

	Modo B (frames)	Modo Doppler (frames)	Modos barrido (frames)	Parado (frames)
Vídeo 1	3357	654	768	1399
Vídeo 2	1424	513	704	1130
Vídeo 3	3254	1514	768	691
Vídeo 4	827	550	448	802
Vídeo 5	1693	1031	1216	1593
Vídeo 6	1784	1049	384	1805
Vídeo 7	1039	585	1024	1608

Tabla 4.2: Composición de los 7 ecocardiogramas estándar.

4.2 Características de los ecocardiogramas adquiridos

Las secuencias adquiridas están codificadas en formato YUV12 (12 bits por píxel). Los vídeos tienen un ratio de frame de 25 fps y una resolución de 720x576 píxeles. La visualización del ecocardiograma tiene 2 partes, una parte es el ultrasonido y la otra es la información alrededor de él. Como se ha discutido anteriormente (Sección 2.2) para la compresión sólo se utiliza la parte del ultrasonido, así que la resolución de los modos

de barrido es de 480x440 píxeles y para los modos 2D es de 512x416 píxeles. Para el dispositivo utilizado, en los modos de barrido se necesitan 64 frames para barrer toda la pantalla. La anchura de la franja es menor a 32 píxeles, así que se comprimen 14 franjas de 480x32 y a la última se le añaden 480x8 píxeles. El retardo de visualización introducido es menor a 4 frames (0.14 segundos) para aplicaciones de tiempo real.

4.3 Parámetro de calidad

Para la evaluación y comparación de la calidad de los vídeos comprimidos se ha utilizado el Peak Signal to Noise Ratio (PSNR). El PSNR es una medida matemática de la distorsión del vídeo en escala logarítmica que depende del error cuadrático medio MSE (Mean Squared Error) entre la imagen original y la comparada. Sus ecuaciones son 4.1 y 4.2

$$MSE(I, J) = \sum_{x=1}^{M \cdot N} (I(x) - J(x))^2 \quad (4.1)$$

$$PSNR = 20 \cdot \log_{10}(255) - 10 \cdot \log_{10} \frac{\sum_{i=1}^F MSE_i}{P} \quad (4.2)$$

donde M y N son las dimensiones de la imagen del vídeo en píxeles, x es la posición del pixel, $I(x)$ es la componente de color del pixel x del vídeo original y $J(x)$ del vídeo comparado. MSE_i corresponde a la imagen i , F es el número de imágenes o frames y P es el total de píxeles del vídeo.

En este estudio no se ha realizado una evaluación clínica del método propuesto, ya que el objetivo de este estudio inicial es evaluar la superioridad del método frente a los métodos tradicionales. Además, si el PSNR es elevado la calidad clínica está garantizada, cómo puede verse en estudios anteriores [3]. En estudios posteriores será necesaria la evaluación clínica donde se establezca una calidad mínima para el adecuado diagnóstico.

4.4 Evaluación para cada uno de los modos de operación

En esta sección se ha evaluado el método propuesto para cada uno de los modos de operación. Tenemos una figura por cada uno de los modos (ver Figuras de 4.1 a 4.5) y en cada una de ellas se representa el PSNR medio en función de la tasa de transmisión para el método de compresión propuesto (para los modos de barrido: SPIHT y JPEG2000, y para los modos 2D: SPIHT 3D) y para los compresores Xvid y H264, que comprimen todo el vídeo de la misma forma. Xvid y H264 han sido configurados con ratio de bit constante y codificación de una sola pasada. En los modos de barrido también se representa en líneas verticales la tasa que se necesita para la transmisión sin compresión y con compresión sin pérdidas usando JPEG2000. De esta forma, se compara también con los métodos de compresión sin pérdidas.

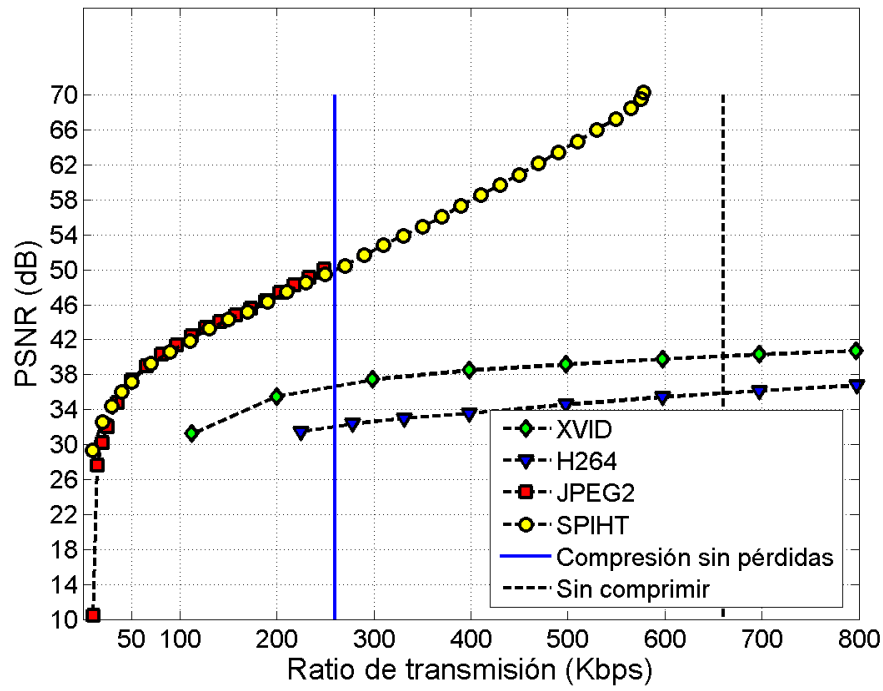


Figura 4.1: *Curvas ratio-distorsión para el Modo M.*

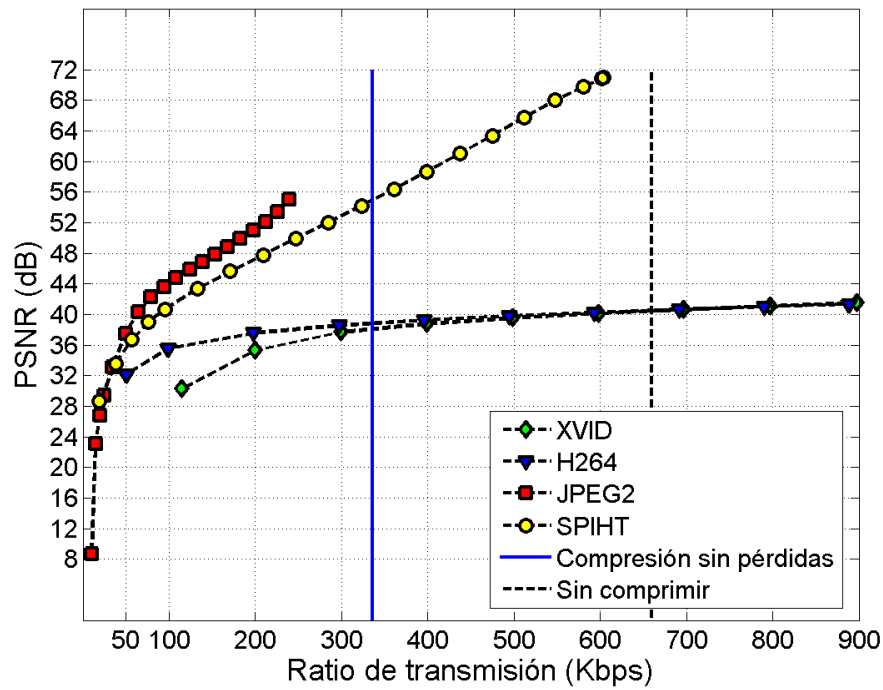


Figura 4.2: *Curvas ratio-distorsión para el Modo Doppler Pulsado.*

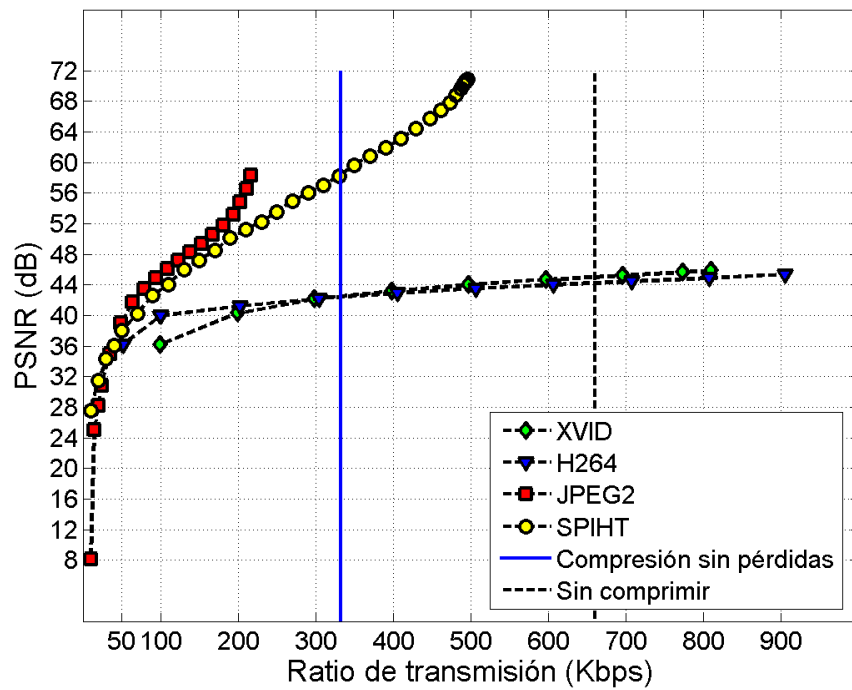


Figura 4.3: Curvas ratio-distorsión para el Modo Doppler Continuo.

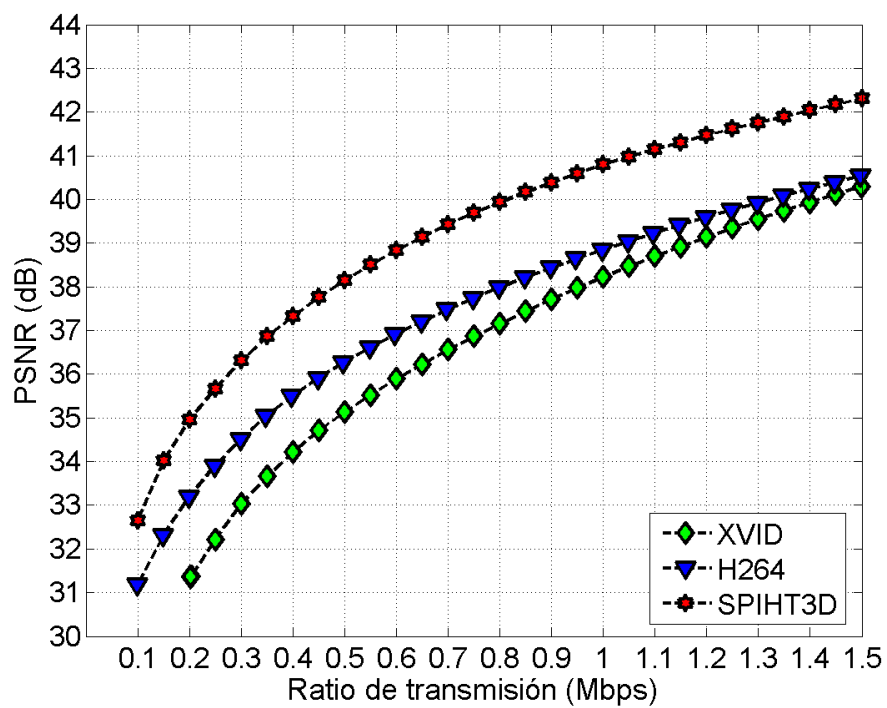


Figura 4.4: Curvas ratio-distorsión para el Modo B.

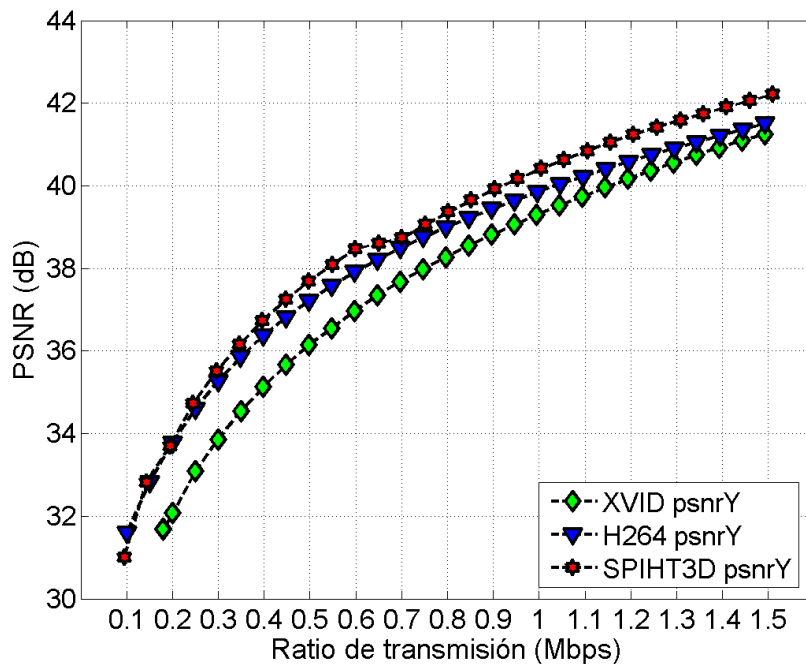


Figura 4.5: Curvas ratio-distorsión para el Modo Doppler Color.

Como se puede observar en las Figuras de 4.1 a 4.3 (modos M, Doppler Pulsado y Doppler Continuo respectivamente) el método propuesto para los modos de barrido mejora a XVID y H264 para todos los ratios de transmisión, siendo la ganancia más significativa para valores de PSNR superiores a 100 Kbps. Para los modos de barrido se han probado dos algoritmos. SPIHT funciona mejor para ratios de transmisión inferiores a 50 Kbps y JPEG2000 funciona mejor para ratios de transmisión superiores a 50 Kbps, pero para el modo M todos los valores de PSNR son superiores con SPIHT. Es interesante el hecho de que para los modos de barrido se alcanza un elevado PSNR (casi 45 dB, el cuál es prácticamente indistinguible de la compresión sin pérdidas) con ratios de transmisión muy bajos (100 Kbps) usando la técnica propuesta.

La Figura 4.4 muestra el PSNR obtenido con Xvid, H264 y el método propuesto basado en 3D SPIHT para el modo B. Para este modo se ha conseguido con el método propuesto un PSNR superior para todos los ratios de transmisión. La Figura 4.5 muestra el PSNR obtenido para el método propuesto, H264 y Xvid para la componente Y del modo Doppler Color. Se han obtenido buenos resultados con el método propuesto y sólo para valores de transmisión muy bajos (menores a 100 Kbps) H264 presenta valores más elevados de PSNR que el método propuesto. Esto no es muy significativo porque la información importante para el diagnóstico se encuentra en el color. Los resultados para las componentes de color no se muestran, ya que todos los valores de PSNR son mayores a 43 dB (excelente calidad de visualización) y sin pérdida de calidad para el método propuesto.

4.5 Evaluación de ecocardiogramas estándar

En esta sección se ha evaluado el método propuesto para los siete ecocardiogramas estándar anteriormente mencionados (ver Tabla 4.2). Cabe esperar que con el método propuesto se obtengan mejores resultados que con los métodos típicos de compresión, ya que, como se ha visto en la sección anterior, el método propuesto funciona mejor para todos los modos. En las Figuras de 4.6 a 4.12 se representa para cada uno de los vídeos el PSNR medio en función del ancho de banda medio para el método propuesto y los compresores H264 y Xvid.

Una consideración importante a tener en cuenta para el método propuesto es que cuando el vídeo está parado no se transmite nada y, por lo tanto, en ese tiempo el ancho de banda utilizado es cero. Es por eso por lo que el ancho de banda medio será menor que el ancho de banda configurado para la compresión, ya que hay intervalos de tiempo en los que no se transmite nada. Ésto no sucede en el resto de métodos de compresión, en los que se transmiten datos durante todo el vídeo. En el Anexo H se incluyen una tabla por cada vídeo con el PSNR medio según el ancho de banda de línea configurado para cada uno de los métodos de compresión estudiados y el ancho de banda medio para el método propuesto.

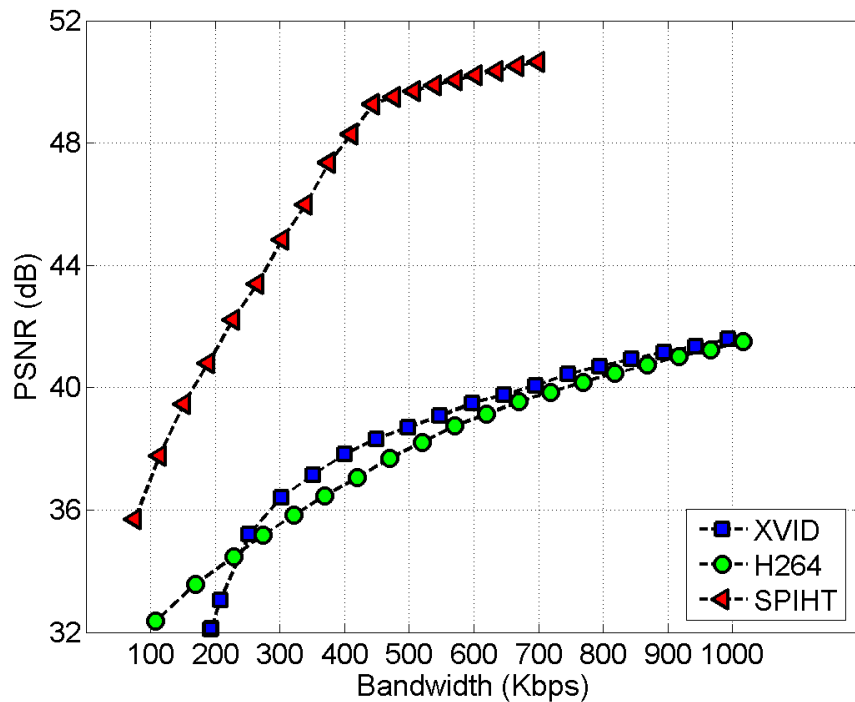


Figura 4.6: Curvas ratio-distorsión para el vídeo 1.

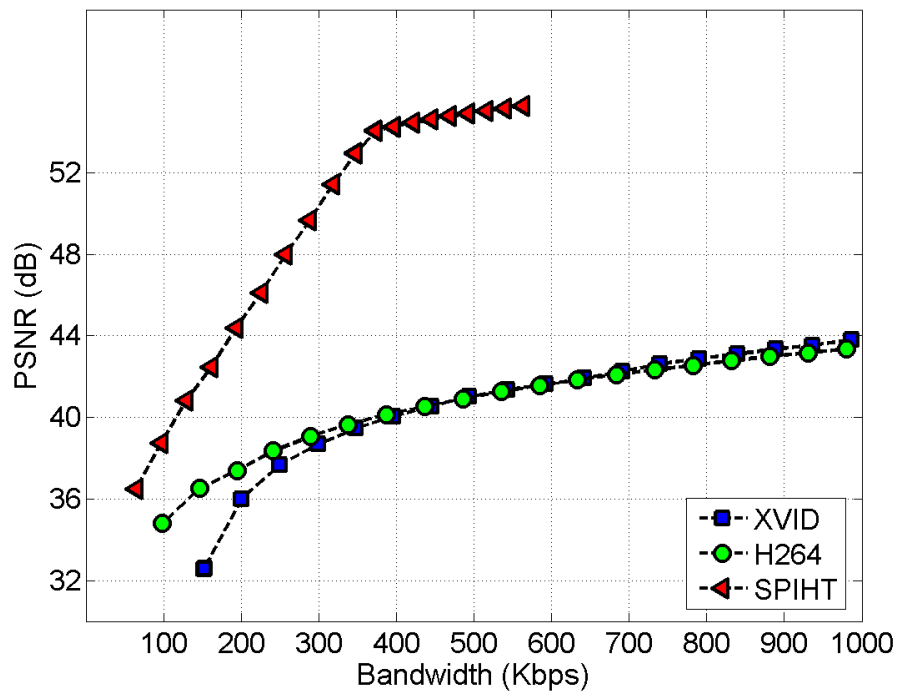


Figura 4.7: Curvas ratio-distorsión para el vídeo 2.

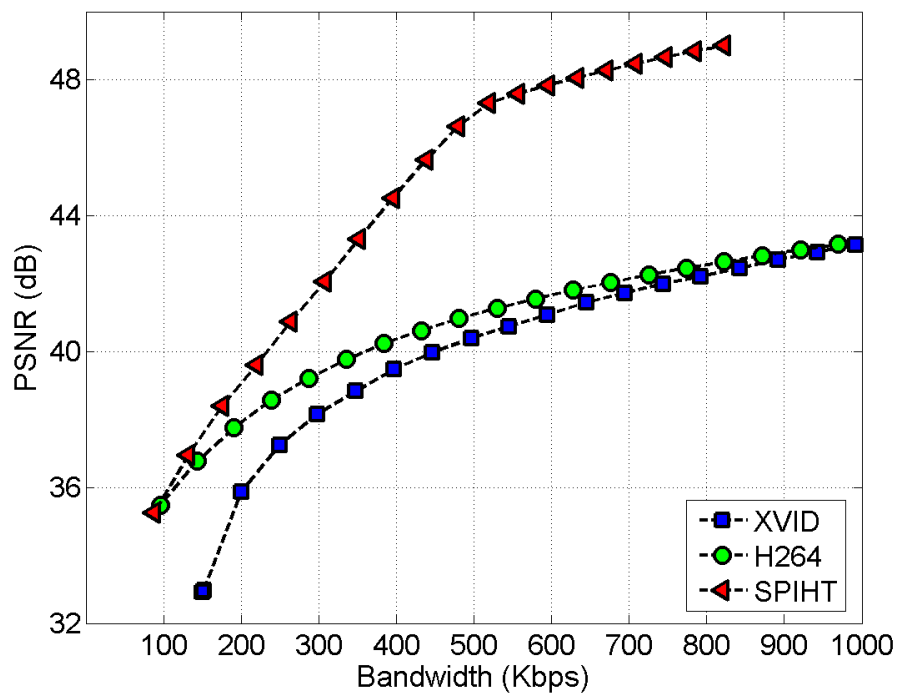


Figura 4.8: Curvas ratio-distorsión para el vídeo 3.

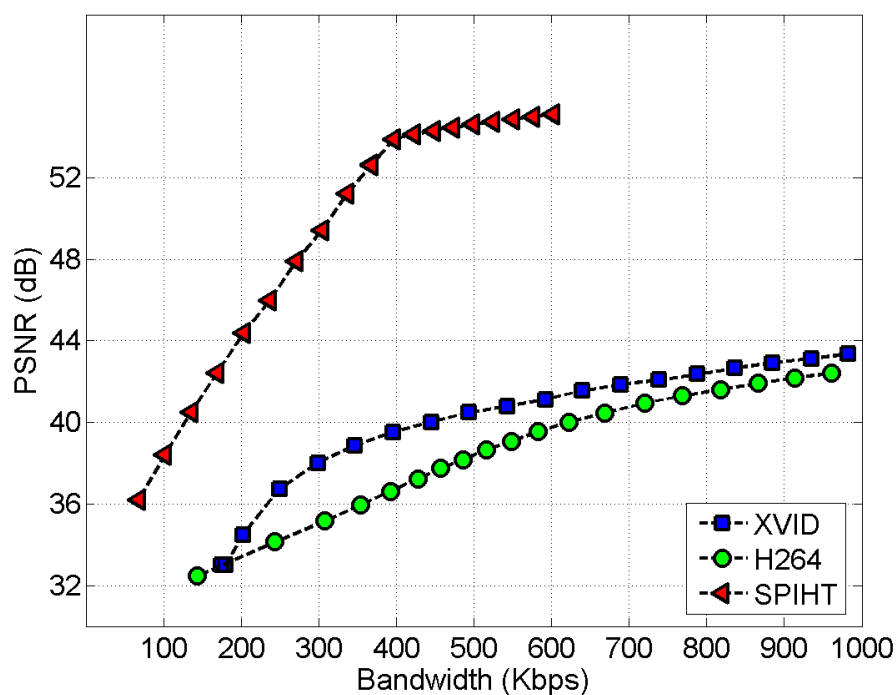


Figura 4.9: Curvas ratio-distorsión para el vídeo 4.

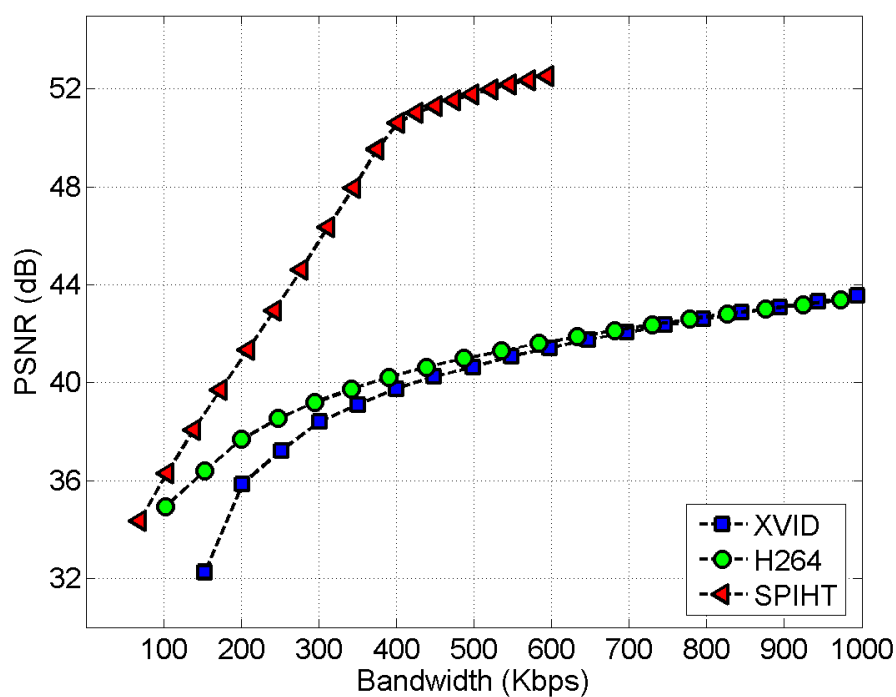


Figura 4.10: Curvas ratio-distorsión para el vídeo 5.

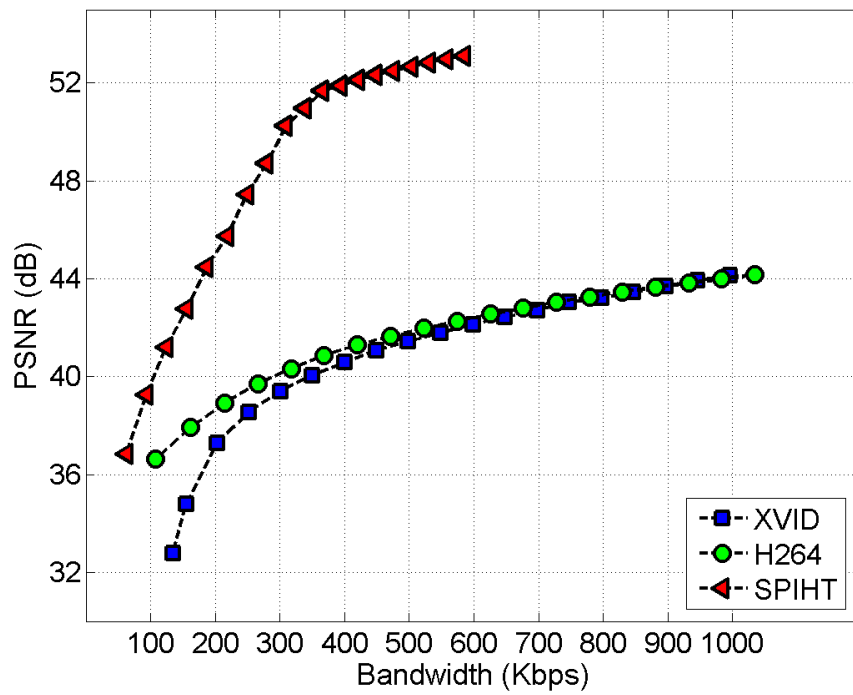


Figura 4.11: *Curvas ratio-distorsión para el vídeo 6.*

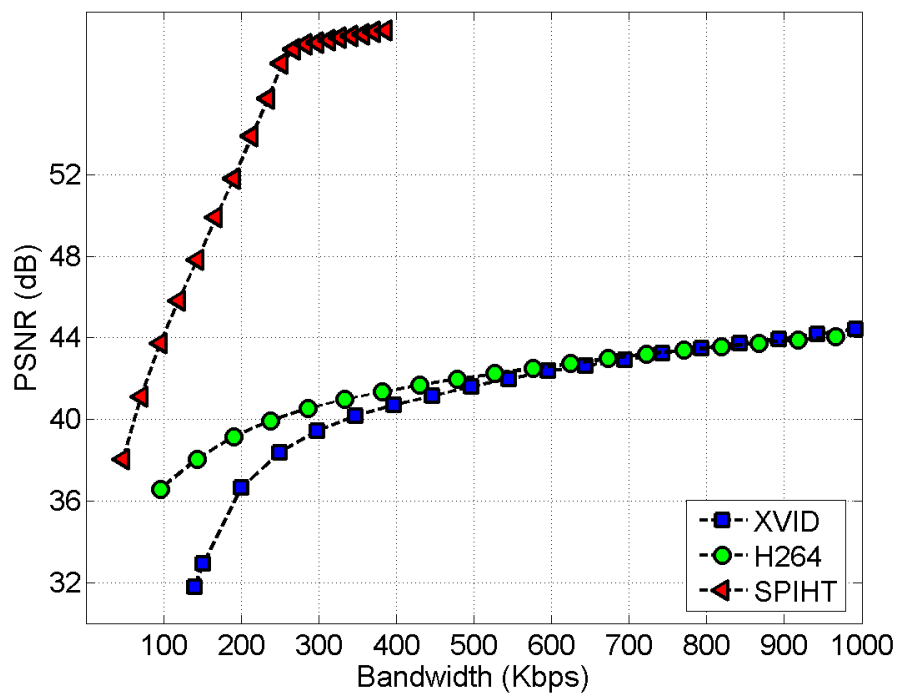


Figura 4.12: *Curvas ratio-distorsión para el vídeo 7.*

Como era esperado, con el método propuesto se obtienen aún mejores resultados para los 7 vídeos típicos considerados que para la compresión por modos debido a las paradas. La mejora es más significativa para ratios de transmisión mayores y siendo esta mejora dependiente de la composición del vídeo (ver Tabla 4.2). Estos resultados sólo son válidos para ver la ganancia global del PSNR, pero no sirven para caracterizar a los ecocardiogramas dado que el PSNR es muy dependiente del modo. Con el fin de comprender mejor porque los resultados son dependientes de la composición de los vídeos se ha representado para los vídeos tres (Figuras 4.13 y 4.14) y siete (Figuras 4.15 y 4.16) el ancho de banda medio y el PSNR medio por tramo en función del tiempo. Cada tramo corresponde a un modo diferente (modo B, Doppler o barrido), es decir, se calcula la media por tramo que corresponde a un mismo modo. Se representan cuatro ratios de transmisión (100, 400, 700 y 1000 kbps). El ancho de banda medio de los modos B y Doppler Color corresponde con el ratio de transmisión. En los modos de barrido no en todos los casos el ancho de banda medio corresponde con el de transmisión, ya que aproximadamente a los 600 kbps se alcanza la compresión sin pérdidas en estos modos, que nos da el ancho de banda máximo. Los tramos en los que el ancho de banda medio es cero son en los que el vídeo está parado. Cada tramo correspondiente a un modo se le ha asignado una etiqueta en la que “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido. Las gráficas correspondientes de todos los vídeos se incluyen en el Anexo H.

El tercer vídeo es con el que se obtiene una mejora global menor (ver Figura 4.8). Esto es debido a que los modos más presentes son el modo B y el Doppler Color, y éstos son los que menor reducción del ancho de banda presentan (ver Figura 4.13 etiquetas “B” y “D”) y menor PSNR tienen (ver Figura 4.13 etiquetas “B” y “D”).

Por el contrario, el séptimo vídeo es el que obtiene una mejora global mayor (ver Figura 4.12). Esto es debido a que los modos más presentes son los de barrido y éstos son los que mayor reducción del ancho de banda presentan (ver Figura 4.15 etiqueta “S”) y mayor PSNR tienen (ver Figura 4.15 etiqueta “S”). Otra de las causas de la mejora son las paradas, ya que el ancho de banda es cero y el PSNR es el del anterior modo, que normalmente es el modo de barrido.

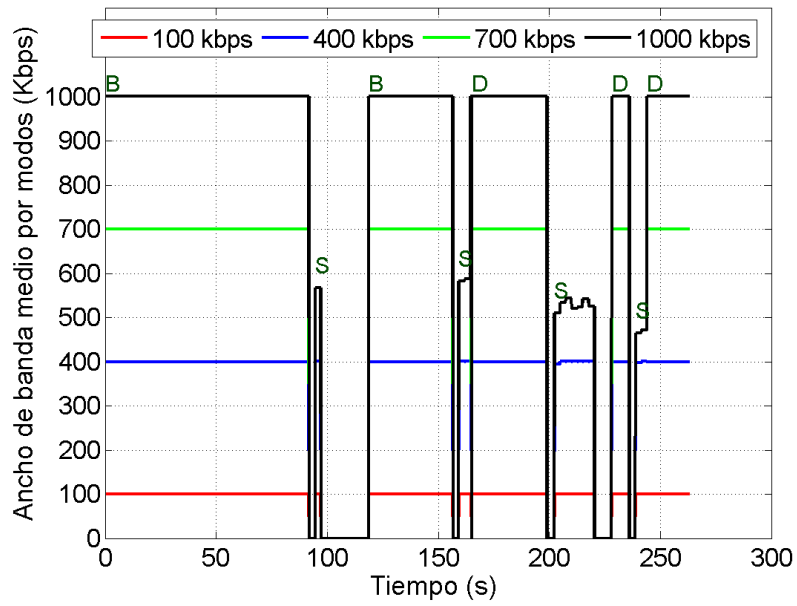


Figura 4.13: Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 3 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.

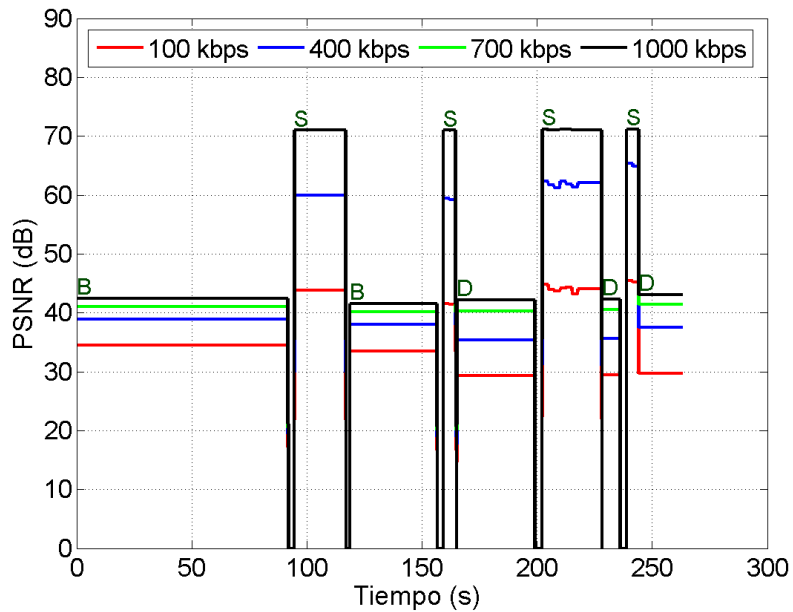


Figura 4.14: PSNR medio por tramo para el vídeo 3 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.

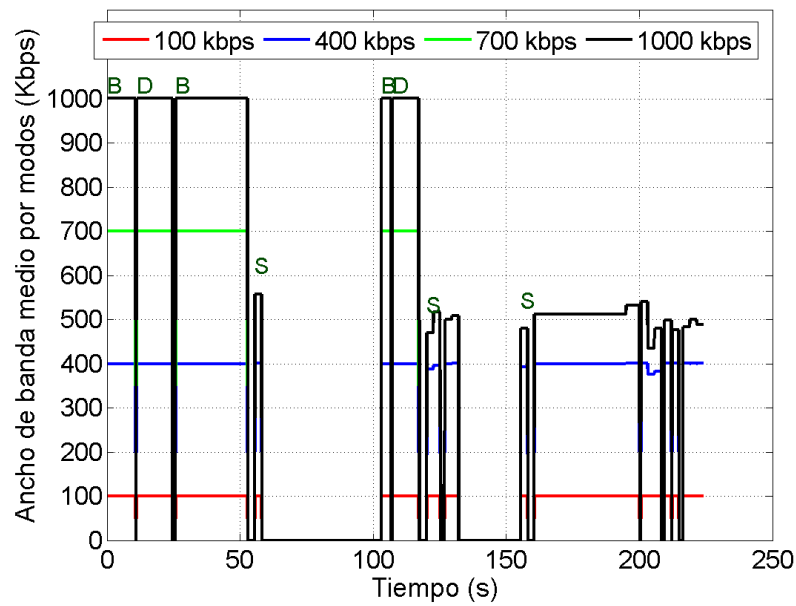


Figura 4.15: Ancho de banda medio por tramo para el vídeo 7 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.

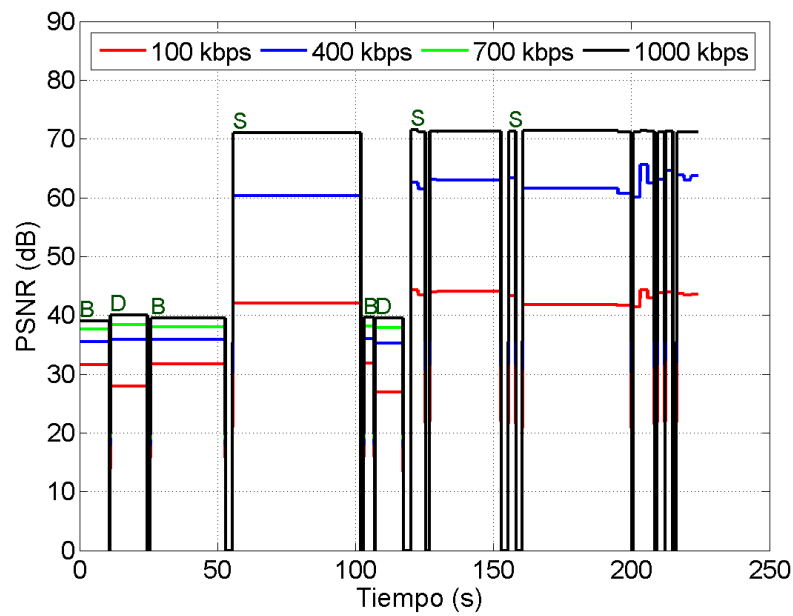


Figura 4.16: PSNR medio por tramo para el vídeo 7 para distintas tasas de transmisión. Donde “B” es el modo B, “D” es el modo Doppler Color y “S” son los modos de barrido.

Capítulo 5

Conclusiones y líneas futuras

5.1 Conclusiones

La realización de este trabajo fin de máster ha supuesto para mi la familiarización con los ecocardiogramas: para qué sirven, qué nos permiten ver y medir, cuándo son necesarios adquirirlos, cómo estos se adquieren, qué es necesario visualizar en cada caso, etc. Esta familiarización con los ecocardiogramas es muy importante para posteriormente poder tratarlos adecuadamente, no sólo teniendo en cuenta las características técnicas, sino también las características médicas.

Durante la realización del trabajo, también me ha permitido familiarizarme con la metodología de trabajo en proyectos de investigación: establecimiento de objetivos, desarrollo de los medios para lograrlos, obtención de resultados y discusión de los mismos.

Tras la obtención de los resultados se pueden extraer las siguientes conclusiones:

- Los ecocardiogramas presentan unas características particulares en la forma que éstos se visualizan, pudiendo distinguir dos modos de visualización, los modos 2D y los modos de barrido.
- Las formas convencional de comprimir los ecocardiogramas no aprovechan las características particulares de éstos y comprimen todo el vídeo de la misma forma, sin distinguir los modos de visualización.
- El método propuesto, que tiene en cuenta las características particulares de los ecocardiogramas, obtiene mejores resultados que los métodos típicos de compresión para todos los modos de operación.
- El método propuesto obtiene mejores resultados que los métodos típicos de compresión para los ecocardiogramas estándar que contienen todos los modos de operación. Estos resultados son mejores que los resultados por modo de operación debido a las paradas.

- La distribución del PSNR y del ancho de banda no es uniforme a lo largo de los ecocardiogramas estándar, siendo diferentes para los tramos correspondientes a cada modo de operación.
- Los resultados obtenidos en cada uno de los ecocardiogramas es dependiente de la composición del mismo, de cuánto tiempo está presente cada modo y el tiempo que la visualización está parada. La distribución de los modos afecta al PSNR global medio y el tiempo en el que el ecocardiograma está parado afecta a la reducción del ancho de banda medio, siendo ésta mayor cuanto mayor sea el tiempo de parada.

5.2 Líneas de futuro

Como valoración final del trabajo llevado a cabo, se considera éste, más que como un trabajo completo por sí solo, como una base sobre la que asentar futuras investigaciones acerca de la transmisión y almacenamiento de ecocardiogramas.

En mis futuras investigaciones me voy a centrar en la transmisión. Para ello, alguno de los pasos siguientes a realizar son:

- Hacer un estudio de los resultados obtenidos mediante la evaluación de un médico especialista para poder establecer tasas de transmisión mínimas que garanticen una calidad clínica mínima necesaria por cada uno de los modos para el buen diagnóstico.
- Elaborar un protocolo específico para el envío de ecocardiogramas que se base en el compresor desarrollado, donde el receptor enviará información como tamaño de la pantalla, velocidad de barrido, modo de operación, etc.
- Enviar los ecocardiogramas mediante el protocolo diseñado para estudiar como afectan los errores introducidos por el canal a la calidad clínica de los ecocardiogramas. Para ello, se aprovecharán las características de transmisión progresiva de los algoritmos de compresión utilizados.
- Introducir técnicas de control de errores o corrección de los mismos para mejorar la calidad con la que el ecocardiograma es visualizado en el caso de que sea necesario, es decir, si no se garantiza la calidad clínica necesaria para un adecuado diagnóstico.

Bibliografía

- [1] Home of the Xvid codec. *<http://www.xvid.org>*.
- [2] H. Kalva. “The H.264 Video Coding Standard”. *Multimedia, IEEE*, 13(4):86 –90, oct.-dec. 2006.
- [3] C. Hernandez, A. Alesanco, V. Abadia, and J. Garcia. “The Effects of Wireless Channel Errors on the Quality of Real Time Ultrasound Video Transmission”. pages 6457–6460, 30 2006-Sept. 3 2006.
- [4] P.C. Pedersen, B.W. Dickson, and J. Chakareski. “Telemedicine applications of mobile ultrasound”. In *Multimedia Signal Processing, 2009. MMSP '09. IEEE International Workshop on*, pages 1 –6, 5-7 2009.
- [5] M. Antonini, M. Barlaud, P. Mathieu, and I. Daubechies. “Image coding using wavelet transform”. *Image Processing, IEEE Transactions on*, 1(2):205 –220, apr 1992.
- [6] J.M. Shapiro. “Embedded image coding using zerotrees of wavelet coefficients”. *Signal Processing, IEEE Transactions on*, 41(12):3445 –3462, dec 1993.
- [7] A. Said and W.A. Pearlman. “A new, fast, and efficient image codec based on set partitioning in hierarchical trees”. *Circuits and Systems for Video Technology, IEEE Transactions on*, 6(3):243 –250, jun 1996.
- [8] D. Taubman, E. Ordentlich, M. Weinberger, G. Seroussi, I. Ueno, and F. Ono. “Embedded block coding in JPEG2000”. In *Image Processing, 2000. Proceedings. 2000 International Conference on*, volume 2, pages 33 –36 vol.2, 10-13 2000.
- [9] M.A. Ansari and R.S. Anand. “Context based medical image compression with application to ultrasound images”. In *India Conference, 2008. INDICON 2008. Annual IEEE*, volume 1, pages 28 –33, 11-13 2008.
- [10] K. Hamamoto. “Study on medical ultrasonic echo image compression by JPEG2000 : optimization and the subjective assessment of the quality”. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 2003. Proceedings of the 25th Annual International Conference of the IEEE*, volume 1, pages 833 – 836 Vol.1, 17-21 2003.

- [11] Beong-Jo Kim and W.A. Pearlman. “An embedded wavelet video coder using three-dimensional set partitioning in hierarchical trees (SPIHT)”. In *Data Compression Conference, 1997. DCC '97. Proceedings*, pages 251 –260, 25-27 1997.
- [12] D. Gibson, M. Spann, and S.I. Woolley. “A wavelet-based region of interest encoder for the compression of angiogram video sequences”. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 8(2):103 –113, june 2004.
- [13] E. Chiu, J. Vaisey, and M.S. Atkins. “Wavelet-based space-frequency compression of ultrasound images”. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 5(4):300 –310, dec. 2001.
- [14] Xiaojuan Li, Guangshu Hu, and Shangkai Gao. “Design and implementation of a novel compression method in a tele-ultrasound system”. *Information Technology in Biomedicine, IEEE Transactions on*, 3(3):205 –213, sept. 1999.
- [15] S.H. Xiang and Y.T. Zhang. “Medical ultrasound image compression using multiresolution decomposition and vector quantization”. In *Engineering in Medicine and Biology Society, 1996. Bridging Disciplines for Biomedicine. Proceedings of the 18th Annual International Conference of the IEEE*, volume 5, pages 2220 –2221 vol.5, 31 1996.
- [16] The JasPer Project Home Page. <http://www.ece.uvic.ca/~mdadams/jasper/>.
- [17] The JPEG committee Home Page. <http://www.jpeg.org/index.html>.
- [18] Liang Zhang, Dentin Wang, and R. Klepko. “On wavelet coding of arbitrarily sized images”. In *Broadband Multimedia Systems and Broadcasting, 2008 IEEE International Symposium on*, pages 1 –5, march 2008.
- [19] Eng Hong Tan AAshraf A. Kassim and Wei Siong Lee. “3D Color Set Partitioning in Hierarchical Trees”. In *Circuits Syst Signal Process (2009*, volume 28, pages 41–53, 2009.
- [20] Zongping Zhang, Guizhong Liu, and Yiwon Yang. “Progressive source-channel coding of video for unknown noisy channels”. In *Acoustics, Speech, and Signal Processing, 2002. Proceedings. (ICASSP '02). IEEE International Conference on*, volume 3, pages III–2493 – III–2496 vol.3, 2002.
- [21] Set Partitioning in Hierarchical Trees (SPIHT) Home Page. <http://www.cipr.rpi.edu/research/SPIHT/spiht0.html>.
- [22] Shen Ding-tao, Cui Can, and Wang Jie-chen. “Implementation and Application of Intersection Operation Based on Run-Length Encoding”. In *Computer Science and Software Engineering, 2008 International Conference on*, volume 4, pages 602 –606, 12-14 2008.

[23] [http://www.fgico.com/sonoheart elite.html](http://www.fgico.com/sonoheart%20elite.html).

[24] <http://www.plextor.com/english/products/ConvertX2.htm>.

