**Capítulo 4**

**Experimentos y Resultados**

A continuación se presentan los experimentos que se realizaron para la implementación y validación de los métodos presentados en los capítulos anteriores y sus resultados.

Todos los métodos fueron implementados en C++ haciendo uso de librerías de software libre:

* IGSTK
* ITK
* VTK
* FLTK
* QT
* LSQRRecepies
* TetGen

La implementación y validación se realizó utilizando el hardware enlistado a continuación:

* Equipo de Computo: MACPro, 2.8 GHz, Quad-Core Intel Xeon con 16 GB de RAM.
* Ultrasonido Clínico: ALOKA 1000 con una sonda modo B de propósito general de 7.5MHz (www.hitachi-aloka.co.jp).
* Rastreador: Rastreador Óptico Polaris Spectra de NDI ([www.ndigital.com](http://www.ndigital.com)).
* *Frame Grabber*: Epiphan DVI2USB 3.0 con resolución máxima de 1920x1200 a 60 fps.

**4.1 Fabricación de fantasmas de ultrasonido**

Para realizar algunos experimentos se hizo uso de fantasmas de ultrasonido. Los fantasmas de ultrasonido son materiales con una geometría y composición específicas, los cuales emulan propiedades especificas del tejido biológico para proveer un ambiente realista para la caracterización de sistemas o algoritmos de procesamiento de imágenes médicas [1]. Las imágenes de ultrasonido de tumores de mama se caracterizan por tener un área brillante (tejido glandular) rodeando un área oscura (tumor), como se muestra en la figura 4.1.

El alcohol polivinílico (PVA) es un material popular para la fabricación de fantasmas, para su uso con imágenes acústicas obtenidas de ultrasonido o fotoacústica, ya que este posee propiedades acústicas y mecánicas similares a las del tejido; estos fantasmas han sido utilizados para la simulación de tejido en imágenes de ultrasonido, fotoacústica y elastografía óptica simulando tejido mamario, cardiaco, prostático, vascular y cerebral [2].

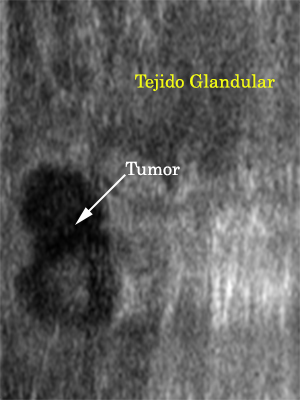


Figura 4.1 Ejemplo imagen de ultrasonido de tumores de mama.

El PVA es un polímero sintético. Cuando se encuentra en una solución liquida y se somete a ciclos de congelación y descongelación se transforma en un gel elástico semi-opaco [3]. La receta de preparación de fantasmas de alcohol polivinílico ha sido descrito por Kharine et al. y consiste de los siguientes pasos [4]:

1. Se obtiene una solución acuosa diluyendo 20% de PVA, con un grado de hidrolisis mayor a 99% y un peso molecular promedio entre 85000-140000, en agua desmineralizada.
2. Se calienta la solución hasta 95°C mientras se realiza una agitación suave y continua hasta disolver por completo el PVA en el agua.
3. Una vez disuelto el PVA se deja reposar y se vierte en el molde, con la geometría deseada, para permitir que las burbujas de aire migren a la superficie.
4. El molde con la solución reposada se inserta en un refrigerador a -20°C y se deja dentro durante 12 hrs.
5. Después se deja a temperatura ambiente durante 12 hrs.
6. Los pasos 4 y 5 constituyen un ciclo de congelamiento completo. El fantasma está listo después de pasar por 4-7 ciclos de congelamiento.

En la figura 4.2 se muestra un fantasma de PVA simulando una mama y su apariencia en una imagen de ultrasonido.

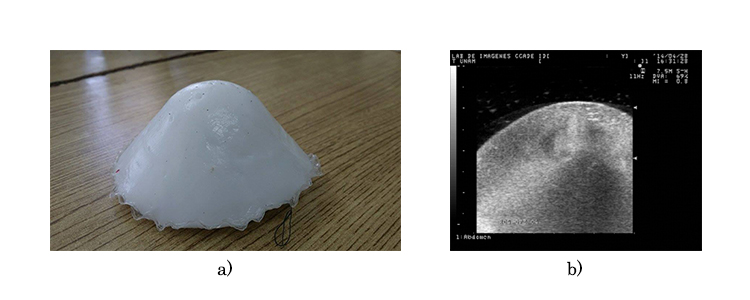


Figura 4.2 Fantasma de PVA; a) fantasma de PVA simulando una mama, b) imagen de ultrasonido de un fantasma de PVA simulando una mama.

Por otro lado hay que tomar en cuenta que el tejido de una lesión de mama ha cambiado sus propiedades y su aspecto en las imágenes de ultrasonido cambia. Por esta razón es importante utilizar un material que pueda simular estas nuevas propiedades del tejido para obtener una simulación de una mama con un tumor que se pueda visualizar de forma realista en el ultrasonido. Yen et al. hacen uso de un fantasma de silicón con diferentes densidades para simular la dureza de un tumor de mama; sin embargo en las imágenes de ultrasonido estos fantasmas de tumores no son realistas, ya que se forma una sombra acústica debajo del tumor que impide visualizar cualquier tipo de tejido o estructura que se encuentra debajo de este como se observa en la figura 4.3 [5].

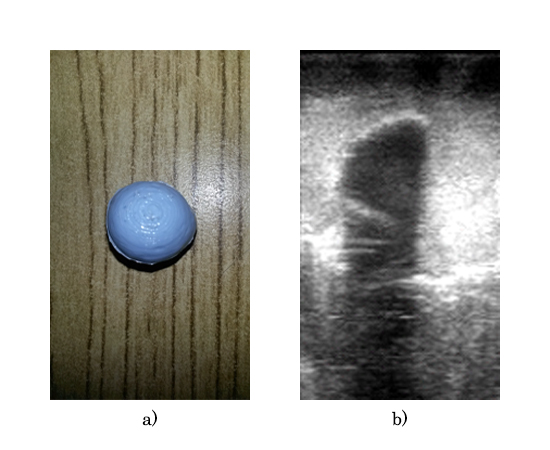


Figura 4.3 Fantasma de tumor de silicón; a) fantasma de silicón, b) imagen de ultrasonido de un fantasma de silicón dentro de un fantasma de PVA.

Ortega et al. proponen el uso de fantasmas de agar para simular las propiedades dieléctricas de los tumores de mama [6]; sin embargo, se ha comprobado que estos fantasmas reportan medidas de propagación del ultrasonido muy similares a los del tejido grasoso y tumoral [7], [8]. Los resultados de estas mediciones se muestran en la tabla 4.1 y en la figura 4.4 se muestra un fantasma de agarosa y su apariencia en una imagen de ultrasonido.

Tabla 4.1 Velocidad de propagación del ultrasonido m/s

|  |  |  |
| --- | --- | --- |
|  | Tejido Biológico [8] | Fantasma de ultrasonido [7] |
| Tumores de mama | 1559 | 1596 |
| Tejido Grasoso | 1470 | 1476 |

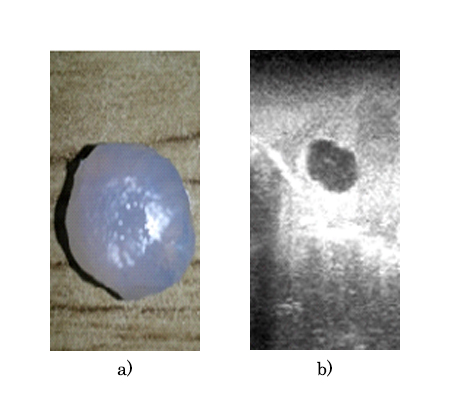


Figura 4.4 Fantasma de tumor de agar; a) fantasma de agar, b) imagen de ultrasonido de un fantasma de agar dentro de un fantasma de PVA.

Se puede observar en la figura 4.4 que los fantasmas de tumores de mama fabricados con agar tienen una visualización más realista en las imágenes de ultrasonido que los fantasmas fabricados con silicón. El agar es un polisacárido que se extrae de las algas, que es soluble en agua en temperaturas superiores a los 65°C y se gelifica entre los 17 y los 40°C [9]. La receta para la construcción de los fantasmas de agar se describe por Arce et al. y consta de los siguientes pasos [7]:

1. Se hace una solución de agarosa 0.8g de agar con 32.6ml de agua bi-destilada.
2. Se agita vigorosamente la solución por 10 minutos.
3. Se calienta la solución a 80°C. Durante el proceso de calentamiento se continúa una agitación suave.
4. Al terminar el proceso de calentamiento se retira la solución del calor, se agregan 30ml de etanol y se continúa con la agitación.
5. Se vierte la solución en el molde y se deja reposar hasta que se enfríe y coagule completamente.

Haciendo uso de estos dos fantasmas podemos generar un fantasma de ultrasonido de tumores mama con una apariencia real como se observa en la imagen 4.5.

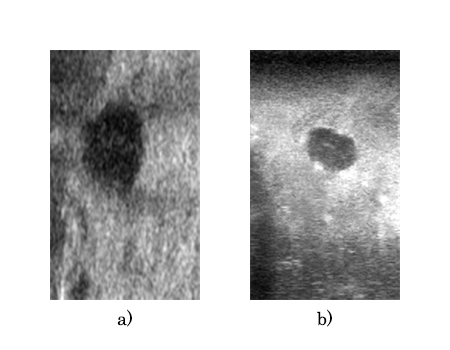


Figura 4.5 Imágenes de ultrasonido de a) mama con tumor y b) fantasma de agar (tumor) con fantasma de PVA (mama).

**4.2 Adquisición de imágenes de ultrasonido rastreadas**