



**EVALUACIÓN DE TEJIDO BLANDO SINTÉTICO APLICANDO TÉCNICAS
DE ANÁLISIS NO DESTRUCTIVO.**

FACULTAD DE CAMINOS, CANALES Y PUERTOS.

MÁSTER EN ESTRUCTURAS

POR:

LUIS SHAW

MARÍA ELOÍSA PARRA

GRANADA, MARZO DEL 2022

INTRODUCCIÓN

La elasticidad es la capacidad de cualquier objeto de recuperar su forma original luego de haber sido deformado, si dicho objeto es sometido a un esfuerzo más allá del límite elástico, entra a la zona plástica y no regresará a su forma original al quitar la fuerza aplicada, sino que quedará deformado de forma permanente (Gil, 2005). Por lo tanto, la pérdida de la elasticidad o aumento en la rigidez de los tejidos se asocia con un mal pronóstico en los procesos inflamatorios, en los que se disminuyen las propiedades elásticas de los tejidos sanos (S. Huang, 2005).

La elastografía es un método de proyección de imagen por ultrasonido (ecografía) en la que se monitorea el comportamiento del tejido durante su compresión para obtener parámetros de sus propiedades (Parra, Fajardo, Vergara, Yinez Diaz, & De Nubila, 2006), cual es una técnica de análisis no destructivo muy útil en el análisis de tejidos blandos y órganos.

El phantom es un tipo de tejido blando sintético, utilizado ampliamente como modelos de prueba para una gran variedad de análisis desde los años 60. Son también usados para la comparación y mejora de técnicas de análisis para modelos computacionales y desarrollo de nuevos transductores de ultrasonido, sistemas o técnicas de diagnósticos.

La complejidad de los phantoms aumenta según el interés sobre qué técnica se quiere usar, como por ejemplo el uso de técnicas multimodales como imágenes fotoacústicas, imágenes basadas en elastografía e inserción percutánea de agujas. Para tales aplicaciones, se tiene que reproducir con exactitud las propiedades mecánicas, ópticas y acústicas de los tejidos.

La elastografía de ondas de cizallamiento (SWE) es una tecnología emergente que proporciona información sobre la elasticidad inherente de los tejidos mediante la producción de un impulso de fuerza de radiofrecuencia acústica, que genera ondas de cizallamiento orientadas transversalmente que se propagan a través del tejido circundante y proporcionan información biomecánica sobre la calidad del tejido.

La elastografía de ondas de torsión (TWE) es una técnica novedosa que se propone para interrogar las constantes viscoelásticas mecánicas de los tejidos blandos. Las ondas torsionales son una configuración particular de las ondas de cizalla, que se propagan asimétricamente en profundidad y son transmitidas radialmente por un disco y recibidas por un anillo.

Objetivo general:

- ✓ Evaluar las propiedades de tejidos blandos sintético aplicando técnicas de análisis no destructivo.

Objetivos específicos:

- ✓ Determinar diversas propiedades de tejidos blandos sintéticos (phantoms) aplicando técnicas de análisis no destructivo.
- ✓ Comparar los resultados obtenidos de las diferentes técnicas de análisis no destructivo aplicadas a los phantoms.

PHANTOM

PVA

El phantom se compone de PVA, alcohol polivinílico, que ha sido utilizado como sustituto de los tejidos blandos. Estos tejidos de base PVA tienen la ventaja de una gran rigidez estructural, una longevidad indefinida, bajo coste y requieren menos ingredientes en comparación con los tejidos mas comunes de base agarosa.

La preparación de este phantom de PVA requiere ciclos de congelación-descongelación para mejorar los enlaces entrecruzados. En un proceso, se congela una solución al 10% por peso de solución de PVA en agua y se descongela en un ciclo de 12 horas para obtener las propiedades acústicas deseadas con una velocidad de sonido entre 1520 y 1560 m/s, un rango de atenuación entre 0,07 y 0,28 dB/cm MHz y una impedancia entre 1,60 y 1,70 MRayl.

Se usa un 0,01% de solución de azida de sodio para evitar una invasión microbiana.

Se puede usar un segundo proceso en el que se añade dimetilsulfóxido (DMSO), un disolvente aprótico polar, para facilitar el ordenamiento estructural en la solución reduciendo el punto de congelación de la solución y reforzando así el gel. Las propiedades alcanzadas con esta técnica oscilan entre 1550 y 1610 m/s, 0,34 y 0,35 dB/cm MHz y 1,65 y 1,77 MRayl. Se puede añadir ala PVA antes de la congelación para aumentar la dispersión.

La principal desventaja de estos tejidos phantom de base PVA es el tiempo de preparación, que requiere varios ciclos de congelación-descongelación y la necesidad de un control constante y preciso de la temperatura.

Phantom cerebral

Debido a las similitudes de propiedades acústicas entre el tejido blando y el tejido cerebral, se pueden utilizar diversas técnicas de preparación de sustitutos de tejidos blandos para crear phantom cerebrales. Se utiliza un proceso de fabricación de PVA, inicialmente desarrollado para tejidos blandos en una maqueta cerebral antropomórfica, usando una imagen de resonancia magnética en 3D para crear tal maqueta. Esta técnica se adoptó para crear un phantom cerebral antropomórfica multicapa combinando 3 capas diferentes de PVA y tubos de plástico (Surry KJ, 2004).

Phantom vascular

Varias técnicas han sido desarrolladas para modelar acústicamente las estructuras vasculares, la mayoría se centran en las grandes arterias, como la carótida y la coronaria. Los modelos vasculares pueden agruparse en tres categorías: básicos con estructuras tubular simple, con paredes que se parecen mas a arterias y sin paredes que no tienen tubos que separen los materiales que imitan el tejido y la sangre.

En el caso del PVA, se centra en phantom vasculares básicos. Se usa una combinación de solución de PVA al 10% con esmalte al 0,75%, seguido de dos ciclos de congelación-descongelación, con un resultado similar en propiedades al tejido muscular humano. Esta técnica permite variar la elasticidad cambiando las concentraciones de PVA para modelar tanto tejido sano como enfermo (Schaar JA, 2005).

Fluido que imita la sangre

Se usa una base (agua/glicerol)/dextrano y 10µm microesferas de poliamida que imitan la retrodispersión acústica de los glóbulos rojos.

Modificación de propiedades ópticas

Los materiales principales que afectan a las propiedades ópticas de los tejidos incluyen melanina en la epidermis, colágeno y elastina en la dermis, lípidos en la hipodermis, hemoglobina en sangre y agua. La absorción óptica en el rango de longitud de onda de 400 a 1000 nm puede estimarse como la suma de los perfiles de absorción individual.

Modificación de propiedades acústicas

Se sabe que la atenuación acústica en la mayoría de tejidos humanos aumenta con la frecuencia siguiendo la función de ley de potencia. Se puede asumir que la velocidad del sonido y la impedancia acústica son constantes con respecto a la frecuencia.

Almacenamiento

La capa de epidermis reticulada ayuda a reducir el secado de las capas de la dermis y la hipodermis que se encuentran debajo. La adición de Germall-Plus prolonga aún más la vida útil al mitigar la infiltración microbiana o fúngica. Los phantom, una vez gelificados por completo en los contenedores impresos en 3D, se envuelven en Saran Wrap y se envasan en bolsas selladas al vacío (sistema de sellado FoodSaver V2244). A continuación, los phantom se almacenan a temperatura ambiente (21°C).

TÉCNICAS DE ANALISIS

Se han estudiado diversos parámetros obtenidos a partir de estas técnicas para caracterizar un nódulo o tejido en general. En la mayoría de los casos, cada estudio se ha realizado con un único sistema. Estos parámetros pueden dividirse en tres grandes grupos: cualitativos semicuantitativos y cuantitativos.

- Los parámetros cualitativos se obtienen a partir de un análisis visual de los mapas de parámetros que muestran la distribución de las deformidades o elasticidades, que se conocen como elastogramas.
- Los parámetros semicuantitativos son cálculos de relaciones de deformación de deformación o de elasticidad entre dos regiones de interés.
- Los parámetros cuantitativos sólo están disponibles a partir de técnicas que miden la velocidad de propagación de las ondas de corte (m/s) o calculando el módulo de Young (kPa).

El único método capaz de realizar un análisis cuantitativo de la rigidez de los tejidos blandos es el método basado en la propagación de ondas S u ondas cortantes. En los métodos cuantitativos, la rigidez de un tejido se evalúa midiendo la velocidad con la que la onda S se propaga en el tejido. Y a su vez existen dos tipos de elastografía:

1. Elastografía Dinámica (DE)
2. Elastografía Estática (SE)

Los resultados a obtener serán:

- ✓ Velocidad de la onda S → C_s (m/s)
- ✓ Rigidez al corte → G (KPA)
- ✓ Módulo de elasticidad → E (kPa)

En el presente estudio se utilizarán dos tipos de técnicas de análisis elastográficos: la elastografía por ondas cortantes (SWE) y la elastografía por ondas de torsión (TWE), los cuales son métodos dinámicos de elastografía. Las medidas se realizarán con:

- SWE: Verasonics Research System
- TWE: Dispositivo compuesto por un emisor y un receptor de ondas

El dispositivo de TWE es capaz de generar y percibir ondas de torsión emitidas en rangos de frecuencias desde 50Hz a 1.5KHz.

Dispositivo	Tipo de onda	Elastografía	Cuantitativa/Cualitativa
Verasonics Research System	SWE	DE	Cuantitativa
Dispositivo compuesto por emisor y un receptor de ondas	TWE	DE	Cuantitativa

Shear Wave Elastography (SWE)

La elastografía de ondas de corte como ARFI (imagen de fuerza de radiación acústica) también utiliza una ARF (fuerza de radiación acústica) para excitar el medio y generar ondas de corte y produce un mapa cuantitativo de elasticidad del medio en tiempo real. La técnica puede subdividirse en la creación del cono de Mach, donde los haces de ultrasonidos se enfocan sucesivamente a diferentes profundidades para crear ondas esféricas en cada punto focal. Las diferentes ondas esféricas generadas interfieren constructivamente a lo largo de un cono de Mach creando dos frentes de onda de cizalla cuasi-planos que se propagan en direcciones opuestas en el plano de la imagen

El Sistema Verasonics Vantage US se utiliza para generar las secuencias de empuje y generar las ondas de corte. Verasonics es compatible con muchos transductores y ofrece una gran flexibilidad en el diseño de secuencias. Además de proporcionar un acceso directo a los datos del canal sin procesar de cada elemento del conjunto.

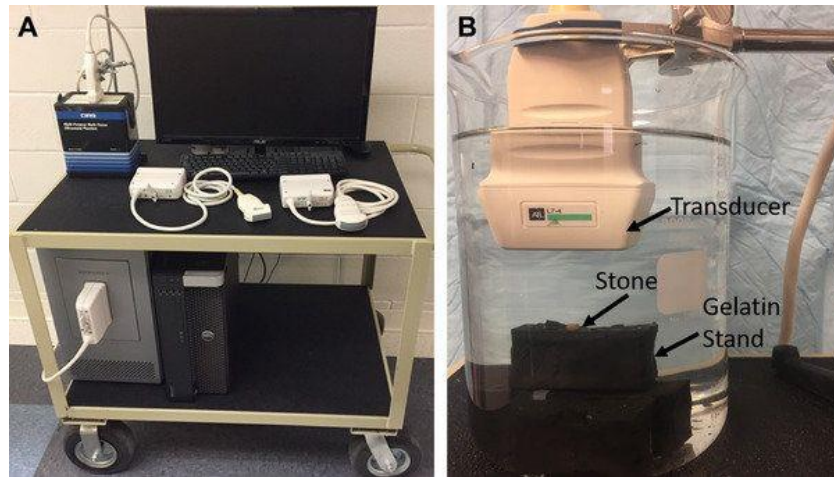


Ilustración 1. SWE Verasonics

Torsional Wave Elastography (TWE)

Las ondas de torsión son originadas por el actuador y se transmiten a través de las probetas hasta el sensor piezo-electrónica, allí se produce la deformación de las mismas y, en consecuencia, un potencial eléctrico que el osciloscopio detecta. Para compensar la diafonía mecánica y electrónica, se realiza primero una medición del aire, sin contacto con la probeta, que genera una señal transmitida mecánicamente en el interior y electrónicamente en el aire, en condiciones de humedad similares. Esta señal se almacena y se resta de las señales de las muestras, compensando así la diafonía mecánica y electrónica (Inas H. Faris, 2020).



Ilustración 2. TWE

Recomendaciones

Cuando se realice la elastografia en cualquier estructura, se deben tener en cuenta las siguientes consideraciones:

- Debe estar a <4 cm.
- Ser casi homogénea.
- Cuando se aplique presión, no deberá haber deslizamiento en la estructura sobre planos más profundos.
- La presión deberá ser aplicada por una superficie más grande que la estructura que se esté examinando.
- No deben estar presentes estructuras que humedezcan la compresión
- Las estructuras que se estén examinando deben estar completamente dentro de la región de interés.
- Conocer la dirección de la fuerza de compresión.
- Limitado número de estructuras a examinar.

Las medidas se llevan a cabo en phantoms de Alcohol Poli-Vinilico (PVA) mediante la excitación aplicando frecuencias de entre 400 Hz a 1.5 KHz. El PVA es un polímero sintético soluble en agua que recientemente se ha adoptado como sustituto de los tejidos blandos.

METODOLOGÍA

La muestra a ensayar será un phantom, el cual es homogéneo, de forma circular, cuenta con un radio de 28 mm y un espesor de 18 mm. Se ha analizado con las dos técnicas mencionadas, a una temperatura estable de $\sim 22^{\circ}\text{C}$.

Para que se pueda obtener un resultado más veraz, se tendría que realizar 3 pruebas con cada método elastográfico.

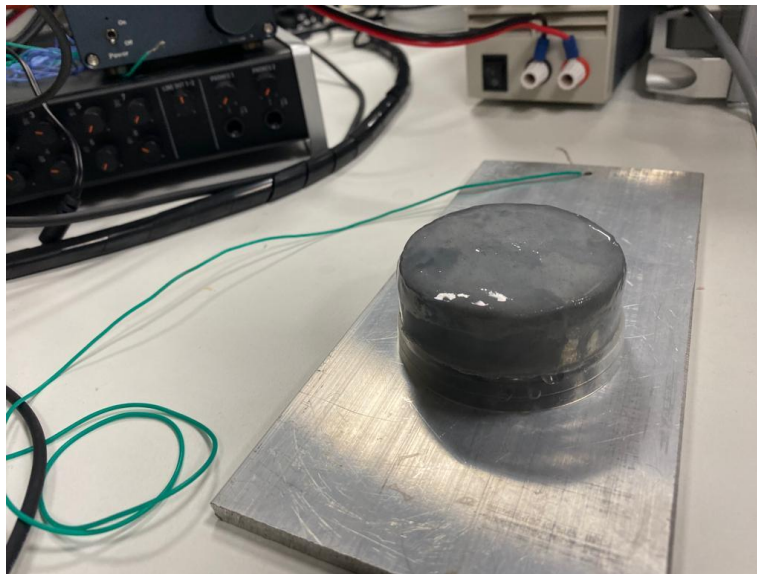
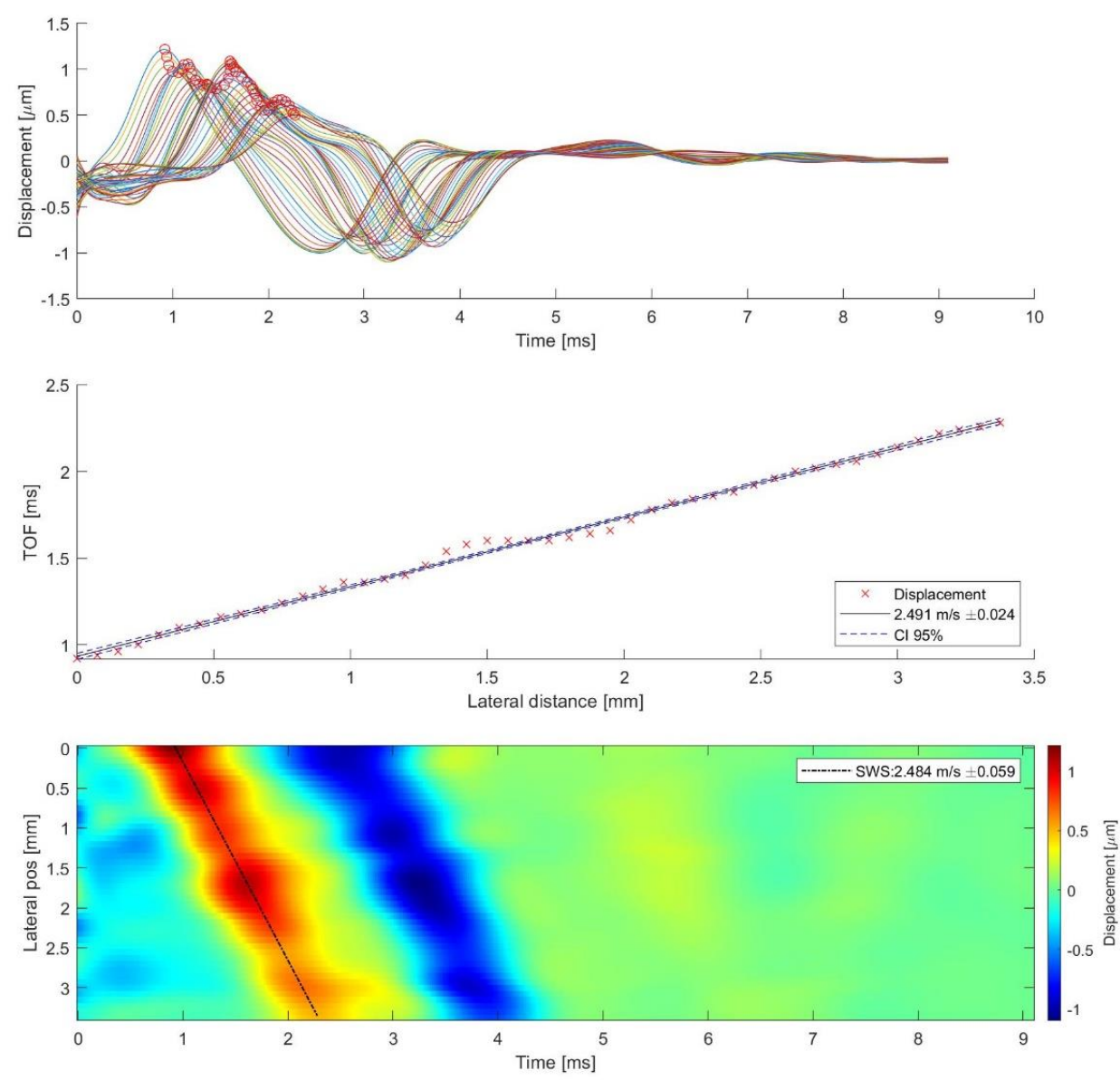


Ilustración 3. Phantom de PVA

Resultados de SWE

Los datos obtenidos al utilizar esta técnica son:

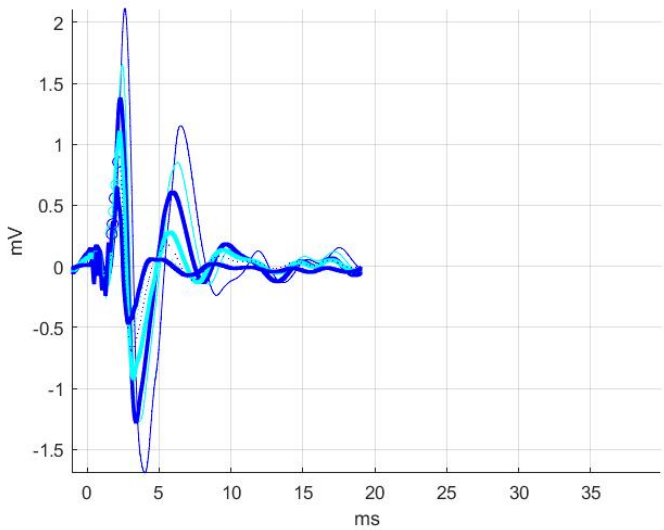
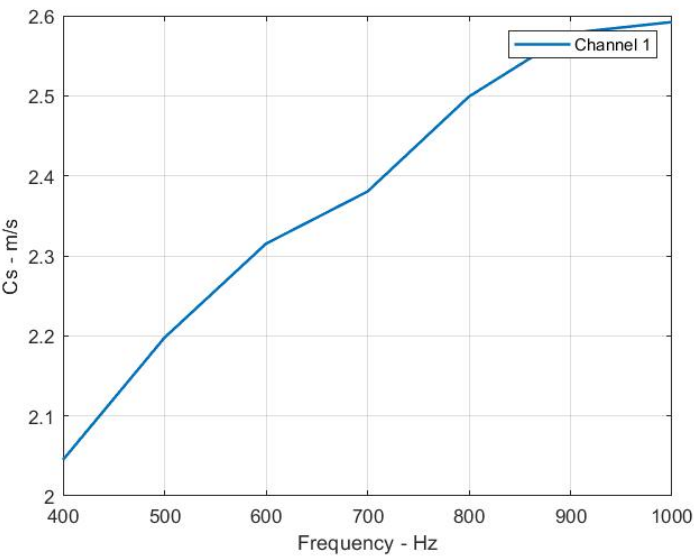
Cs (m/s)	G (kPa)	E (kPa)
2.49 m/s	6.20 kPa	18.60 kPa



Resultados de TWE

Los datos obtenidos al utilizar esta técnica son:

freq	g	cs	amp	tof
400	4.1827	2.0452	2.1203	1.9558
500	4.8303	2.1978	1.6144	1.82
600	5.3602	2.3152	1.3966	1.7277
700	5.6663	2.3804	1.1404	1.6804
800	6.2451	2.499	0.82932	1.6006
900	6.6484	2.5785	0.7296	1.5513
1000	6.7192	2.5921	0.64186	1.5431



CONCLUSION

Como se ha mencionado anteriormente, en orden de validar los resultados se deben hacer al menos 3 intentos por cada método elástográfico. Verasonic Research System nos proporciona una velocidad de onda de 2.49 m/s con las cuales podemos obtener la rigidez al corte y su modulo de elasticidad, mientras que el dispositivo de emisión y recepción de ondas de torsión nos brinda unos rangos de velocidad de onda que van desde 2.04 m/s a 2.59 m/s corroborando la medición realizada posteriormente con Verasonics.

Ambos métodos de elastografía nos ayudan a determinar las propiedades elásticas de los tejidos a través de la propagación de ondas evitando métodos de análisis invasivos.

Referencias

- Culjat, M. O. (2010). A review of tissue substitutes for ultrasound imaging. , . *Ultrasound in medicine & biology*.
- Gil, S. (2005). *Introducción a la Teoría de la Elasticidad*. UNSAM. Retrieved from https://www.fisicarecreativa.com/papers_sg/papers_sgil/Docencia/elasticidad1.pdf.
- Inas H. Faris, J. M. (2020). *Viscoelastic Biomarkers of Ex Vivo Liver Samples via Torsional Wave Elastography*. Retrieved from Diagnostics: <https://doi.org/10.3390/diagnostics10020111>
- Parra, G., Fajardo, M., Vergara, F., Yinez Diaz, I., & De Nubila, E. (2006). Elastografía: un nuevo método diagnóstico. *Revista colombiana de radiología*.
- S. Huang, D. I. (2005, 08). *Tensión celular, mecánica matricial y desarrollo del cáncer*. Retrieved from <http://dx.doi.org/10.1016/j.ccr.2005.08.009>
- Schaar JA, d. K. (2005). Three-dimensional palpography of human coronary arteries. Ex vivo validation and in-patient evaluation. *Herz*.
- Surry KJ, A. H. (2004). Poly(vinyl alcohol) cryogel phantoms for use in ultrasound and MR imaging. . *Phys Med Biol*.