



## 1. DATOS BÁSICOS DEL TFG:

**Título:** Evaluación Experimental de la No Linealidad en Tejidos Blandos

**Descripción general** (resumen y metodología):

### Resumen

El presente proyecto de fin de carrera del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial se centra en el estudio de la biomecánica del tejido blando mediante técnicas de elastografía. La elastografía es una modalidad de imagen que se utiliza para medir las propiedades mecánicas de los tejidos biológicos, particularmente la elasticidad. Este proyecto tiene como objetivo principal la caracterización biomecánica del tejido blando, enfocándose en la medición de su no linealidad a través de técnicas de ultrasonidos que utilizan armónicos.

### Introducción

**La no linealidad del tejido blando se refiere a la propiedad mecánica del tejido que describe cómo sus características de deformación cambian bajo diferentes niveles de estrés o presión.** En términos simples, un material no lineal no responde de manera proporcional a las fuerzas aplicadas; es decir, la relación entre el estrés aplicado y la deformación resultante no es una línea recta. A diferencia de la elasticidad y la viscoelasticidad, que describen el comportamiento del tejido bajo deformaciones pequeñas y constantes, la no linealidad captura cómo estas propiedades cambian con diferentes niveles de deformación. Esto permite detectar sutiles cambios estructurales y mecánicos en los tejidos, mejorando la sensibilidad y precisión en el diagnóstico de enfermedades.

Conocer la no linealidad, además de la elasticidad y la viscoelasticidad, permite una caracterización más completa del tejido, lo que es esencial para la detección temprana de patologías, la planificación de tratamientos personalizados y la monitorización de terapias. Además, facilita el desarrollo de modelos biomecánicos avanzados y la innovación tecnológica en el campo de la ingeniería biomédica.

### Metodología

Para cuantificar los parámetros de no linealidad del tejido blando se utilizará el Gold standard de elastografía, se seguirá una metodología específica que incluye la configuración del sistema, generación de señales, adquisición de datos, procesamiento de señales y análisis cuantitativo. Inicialmente, se configura el sistema y el transductor adecuado para generar señales de ultrasonidos. Se diseñarán señales de excitación que induzcan respuestas no lineales en el tejido, registrando los armónicos generados. Las señales recibidas se filtran y analizan espectralmente para aislar y cuantificar los componentes armónicos, prestando especial atención al segundo y tercer armónico.

La cuantificación de los parámetros de no linealidad, como el coeficiente de no linealidad (B/A) y el índice de armónicos, se realiza comparando las amplitudes de los armónicos con respecto a la frecuencia fundamental. Se analizan las variaciones espaciales de los armónicos en el tejido para identificar regiones con diferentes grados de no linealidad. Los resultados se validan mediante comparaciones con datos teóricos y experimentales previos, asegurando la reproducibilidad y precisión de las mediciones. Finalmente, se documentan y analizan los resultados, optimizando el procedimiento de medición para futuras aplicaciones.

**Tipología:** Resolución de problemas en el ámbito de la ingeniería y la arquitectura.

### **Objetivos planteados:**

Los objetivos del TFG son caracterizar las propiedades no lineales del tejido blando mediante ultrasonidos (generación de armónicos), configurando y validando un sistema experimental. Se evaluará la reproducibilidad y consistencia de los resultados, explorando aplicaciones clínicas potenciales y proponiendo futuras líneas de investigación. Todo el proceso y los hallazgos serán documentados exhaustivamente en un informe final.

### **Bibliografía básica:**

- Rus, G.; Faris, I.H.; Torres, J.; Callejas, A.; Melchor, J. Why Are Viscosity and Nonlinearity Bound to Make an Impact in Clinical Elastographic Diagnosis? *Sensors* **2020**, 20, 2379. <https://doi.org/10.3390/s20082379>
- Ashofteh Yazdi, A., Melchor, J., Torres, J. et al. Characterization of non-linear mechanical behavior of the cornea. *Sci Rep* **10**, 11549 (2020). <https://doi.org/10.1038/s41598-020-68391-7>
- Callejas, A.; Melchor, J.; Faris, I.H.; Rus, G. Hyperelastic Ex Vivo Cervical Tissue Mechanical Characterization. *Sensors* **2020**, 20, 4362. <https://doi.org/10.3390/s20164362>
- Callejas, A., Faris, I., Torres, J. et al. Nonlinear fourth-order elastic characterization of the cornea using torsional wave elastography. *Phys Eng Sci Med* **46**, 1489–1501 (2023). <https://doi.org/10.1007/s13246-023-01314-8>
- Catheline, S., Gennisson, J.L., and Fink, M. (2003). Measurement of elastic nonlinearity of soft solid with transient elastography. *J. Acoust. Soc. Am.* 114 (6): 3087–3091.
- Gennisson, J.L., Renier, M., Catheline, S., et al. (2007). Acoustoelasticity in soft solids: assessment of the nonlinear shear modulus with the acoustic radiation force. *J. Acoust. Soc. Am.* 122 (6): 3211–3219.
- Urban, M.W., Lopera, M., Aristizabal, S., et al. (2015). Characterization of transverse isotropy in compressed tissue-mimicking phantoms. *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Control* 62 (6): 1036–1046.
- Bernal, M., Chamming's, F., Couade, M., et al. (2016). In vivo quantification of the nonlinear shear modulus in breast lesions: feasibility study. *IEEE Trans. Ultrason., Ferroelect., Freq. Control* 63 (1): 101–109.

### **Recomendaciones y orientaciones para el estudiante:**

Invitamos a los estudiantes de último año del Grado en Ingeniería Electrónica Industrial a participar en este emocionante proyecto. Esta oportunidad es especialmente atractiva para aquellos interesados en la tecnología médica y la biomecánica. Se recomienda contactar al profesor responsable de la propuesta antes de formalizar la solicitud. Es beneficioso contar con conocimientos en ondas, mecánica básica y programación en Matlab.

**Plazas:** 1

### **2. DATOS DEL TUTOR/A:**

**Nombre y apellidos:** INAS H FARIS AL AZZAWI

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

**Correo electrónico:** inas@ugr.es

### **3. COTUTOR/A DE LA UGR (en su caso):**

**Nombre y apellidos:** ANTONIO MANUEL CALLEJAS ZAFRA

**Ámbito de conocimiento/Departamento:** MECÁNICA DE LOS MEDIOS CONTINUOS Y TEORÍA DE ESTRUCTURAS

**Correo electrónico:** acallejas@ugr.es

**4. COTUTOR/A EXTERNO/A (en su caso):**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**

**Nombre de la empresa o institución:**

**Dirección postal:**

**Puesto del tutor en la empresa o institución:**

**5. DATOS DEL ESTUDIANTE:**

**Nombre y apellidos:**

**Correo electrónico:**