



**48º CONGRESO ESPAÑOL DE ACÚSTICA
ENCUENTRO IBÉRICO DE ACÚSTICA
EUROPEAN SYMPOSIUM ON UNDERWATER ACOUSTICS
APPLICATIONS
EUROPEAN SYMPOSIUM ON SUSTAINABLE BUILDING
ACOUSTICS**

ESTUDIO DEL BUA Y DEL SOS EN SOLUCIONES ACUOSAS PARA APLICACIONES ODONTOLÓGICAS

REFERENCIA PACS: 43.35c

Rodríguez, Josep¹; Ladino, Anderson¹; Faus, Joan⁴; Picó, Ruben³; Sáenz de Inestrillas, Álvaro¹; Camarena, Francisco²

¹ Universitat Politècnica de València, Campus de Gandía C. Paranímf, 1. Grao Gandía (Spain)

² Inst. de Instrumentación para imagen molecular, (i3M), Universitat Politècnica de València (UPV), Camino de Vera, s/n, 46022, Valencia, (Spain)

³ Inst. para la Gestión Integral de Zonas Costeras. -Universitat Politècnica de València. Campus de Gandía. C. Paranímf, 1. Grao Gandía (Spain)

⁴ Instituto Valenciano de Investigaciones Odontológicas – IVIO. Valencia. C/ Duc Carles de Borja, 24 – bajo. 46700 Gandia (Spain)

jorodsen@epsg.upv.es; anlave@epsg.upv.es; rpico@fis.upv.es; alsaedei@epsg.upv.es; fracafe@fis.upv.es

Palabras clave: BUA, SOS, ROG, Ultrasonidos.

ABSTRACT

This work is framed in the field of dentistry. The objective is to develop a non-destructive ultrasonic system for monitoring the process of Guided Bone Regeneration (GBR). The behavior of various aqueous solutions has been studied at different frequencies (0.5, 1, 5 and 7.5 MHz). Parameters such as SOS (Speed of Sound) and BUA (broadband ultrasonic attenuation) has been calculated. The techniques have been used to monitor the solidification process of a polyurethane resin, where the properties of the medium change as a function of time, thus determining the sensitivity of our system.

RESUMEN

El presente trabajo se enmarca en el campo de la implantología dental. Se pretende desarrollar y caracterizar la viabilidad de un sistema ultrasónico no destructivo para la monitorización del proceso de Regeneración Ósea Guiada (ROG). Se ha realizado un estudio a diferentes frecuencias (0.5, 1, 5, 7.5 MHz) del comportamiento de distintas soluciones acuosas, calculando parámetros como el SOS (Speed of Sound) y el BUA (Broadband Ultrasound Attenuation). Se han aplicado estas técnicas en el proceso de solidificación de una resina de poliuretano con el objeto de monitorizar un sistema cuyas propiedades cambian en función del tiempo, determinando así la sensibilidad de nuestro sistema.

1. INTRODUCCIÓN

Los implantes dentales son elementos metálicos biocompatibles (titanio y zirconio principalmente) que se ubican quirúrgicamente en los huesos maxilares y que soportan una prótesis que sirve para sustituir las piezas dentarias perdidas [1]. Son un método utilizado por millones de personas en el mundo cuando se ha perdido uno o más dientes. Tienen la capacidad

para adaptarse y ser integrados por el organismo humano, proceso denominado osteointegración [2, 3], donde las células óseas se integran de manera íntima con la superficie del titanio.

En la actualidad, existen diferentes tratamientos para colocar los implantes dentales, dependiendo de la situación y de la alternativa que mejor se adapte a las necesidades del paciente. Sin embargo, una de las limitaciones para estos tratamientos es la falta de soporte óseo para su adecuado funcionamiento, en lo que refiere a la altura, grosor y calidad del hueso.

Cuando hay insuficiencia ósea es necesario realizar la reconstrucción del hueso mediante técnicas regenerativas [4]. Una de ellas consiste en el aumento de la cresta ósea previo a la colocación del implante, que se caracteriza por la posibilidad de crear un espacio que permita la presencia de un coágulo de sangre, bajo una membrana que ayuda a la cicatrización de la herida y estimula la regeneración a partir del cual se forma el hueso nuevo.

Existe el problema de que el proceso de regeneración es un proceso costoso, ya que desde la operación hasta que el hueso ha sido regenerado transcurre un tiempo de entre 7 y 9 meses, y una vez transcurrido este tiempo, en un 15% de los casos cuando el odontólogo procede a poner el implante, se encuentra con que el proceso ha fallado, teniendo que volver a empezar todo el proceso desde el inicio.

Debido a esto, se ha estudiado la viabilidad de utilizar una técnica ultrasónica para monitorizar la ROG, ya que los US no son ionizantes, no son invasivos y son relativamente económicos. Utilizando la técnica de eco impulso se han realizado medidas en laboratorio de la velocidad de propagación y de la atenuación con diferentes transductores y distintas configuraciones de ensayo que asemejan el comportamiento de regeneración del hueso. Una vez fijados los parámetros de estudio, tales como la velocidad de propagación y la atenuación ultrasónica en banda ancha (BUA) [5], se ha estudiado el comportamiento de una resina de poliéster (*PRESTO*) en su proceso de solidificación.

2. MATERIALES Y MÉTODOS

Se han utilizado los siguientes parámetros para determinar las propiedades del material.

2.1. Velocidad de propagación del sonido (SOS).

Asumiendo que la velocidad del sonido (c) es independiente de la frecuencia y utilizando métodos en el dominio del tiempo [6], c se calcula a partir de las medidas de diferencia de tiempo con el tiempo de vuelo (TOF), utilizando la técnica eco-impulso, en la señal obtenida se pueden observar los ecos de la señal enviada y comparando el tiempo entre el valor máximo de dos ecos, se puede calcular la velocidad del sonido en el material, donde la velocidad será igual a la distancia recorrida dividido entre la diferencia de tiempo, como el eco recorre la distancia del material 2 veces, habrá que dividir el resultado entre 2.

$$c = \frac{x}{\frac{(T_2 - T_1)}{2}} \quad (1)$$

2.2. Atenuación ultrasónica en banda ancha (BUA).

El Broadband Ultrasonic Attenuation (BUA) es descrito por primera vez en 1984 [7], para la evaluación de la osteoporosis en el hueso del calcáneo.

La intensidad de una onda plana que se propaga en una dirección x disminuye con la distancia como se expresa en la ecuación (2):

$$I_x = I_0 \cdot e^{-\mu(f)x} \quad (2)$$

Donde I_0 y I_x son las intensidades incidentes a una distancia x (cm) respectivamente; $\mu(f)$ es la frecuencia dependiente de la intensidad del coeficiente de atenuación ($dB\ cm^{-1}$).

La atenuación es típicamente expresada en (dB) en escala logarítmica como vemos en (3) donde A_1 es la amplitud de la señal de referencia en voltios y A_2 es la amplitud de la señal recibida en voltios.:

$$\mu = 20 \cdot \log\left(\frac{A_1}{A_2}\right) \quad (3)$$

En la práctica el BUA se mide mediante el registro del espectro de amplitud de un impulso de US a través de un material de referencia como el agua y a través del hueso estudiado. Como se puede ver en la figura 1.

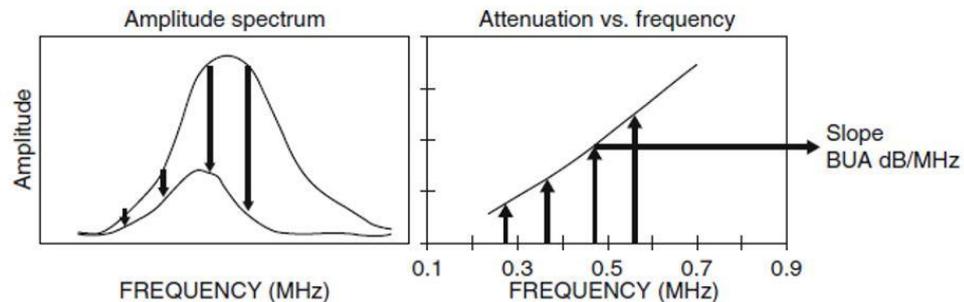


Figura 1 Diagrama de la representación de la medida del BUA, donde (a) Describe la medición del espectro de la frecuencia a través del material de referencia (agua) y la muestra de ensayo. (b) La atenuación se representa respecto a la frecuencia, siendo la pendiente de la regresión de los parámetros del BUA. Fuente: [7]

La atenuación para cada frecuencia (f) se calcula a partir de la amplitud de la señal que se propaga a través del material de referencia y a través de la muestra de ensayo, se representa en función de la frecuencia en los rangos establecidos. La pendiente de esta trama se define como el índice de BUA, con unidades de $dB\ MHz^{-1}$.

3. DISPOSITIVO EXPERIMENTAL

En la figura 2 se observa un esquema de cómo se realizan los experimentos y los dispositivos que han sido utilizados.

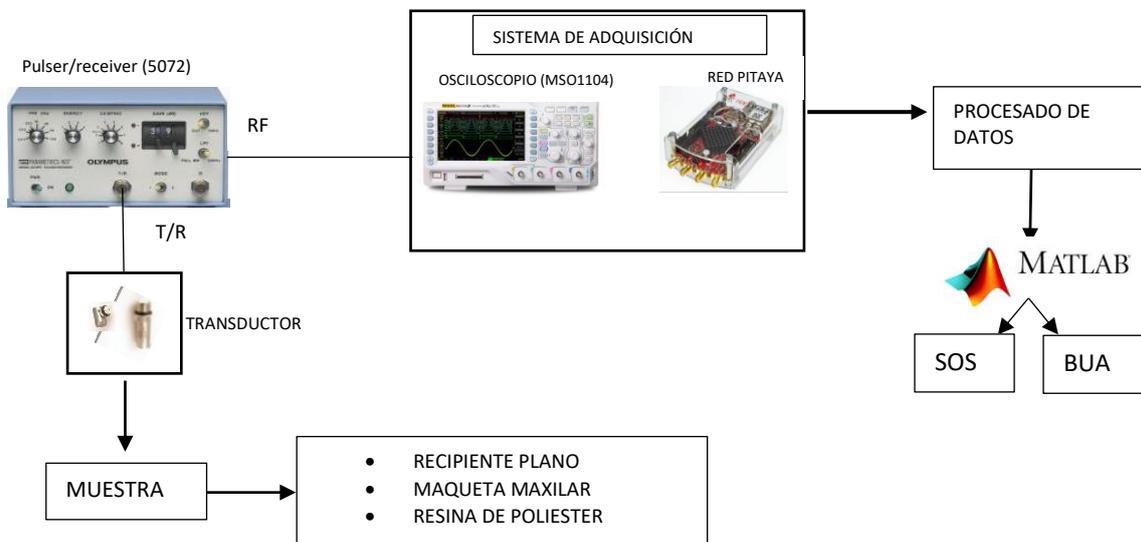


Figura 2 Diagrama del dispositivo experimental

4. METODOLOGÍA

Los experimentos están clasificados en 3 fases.

1. Experimento 1. Se ha utilizado una geometría plana. Se han utilizado 4 transductores de 0.5, 1, 5 y 7.5 MHz, se han medido distintas soluciones acuosas con Maizena equivalentes al 15%, 25 % y 55% de proporción de Maizena. Se ha repetido cada experimento 10 veces, a partir de estas medidas se han calculado las distintas velocidades de propagación del sonido(SOS) en cada muestra y del BUA.
2. Experimento 2. Se ha utilizado una maqueta maxilar a escala 1:1 para acercarnos a la geometría real. Se ha utilizado un transductor de 5 MHz, se han repetido las condiciones de medida del experimento anterior, a partir de estas medidas se ha calculado el SOS y el BUA.
3. Experimento 3. Se ha utilizado una resina de poliéster para simular un hueso regenerándose, ya que la resina pasa de estado líquido a sólido, tal y como ocurre en el caso real, Se ha realizado una medida de 2 horas y 50 minutos capturando datos cada 3 minutos con una Red Pitaya, con el fin de calcular el SOS en cada muestra y el BUA.

5. RESULTADOS

5.1. Experimento 1

En este experimento se han utilizado 4 transductores distintos. En la figura 3 se observa la velocidad del sonido obtenida con los distintos transductores. Según se va aumentando la proporción de Maizena la velocidad del sonido también lo hace. Esto es debido a que la muestra con más proporción aumenta la densidad (ρ), pero también aumenta el módulo de elasticidad (K) y como sabemos de (4), la velocidad está directamente relacionada con K por lo que obtenemos unos resultados esperados.

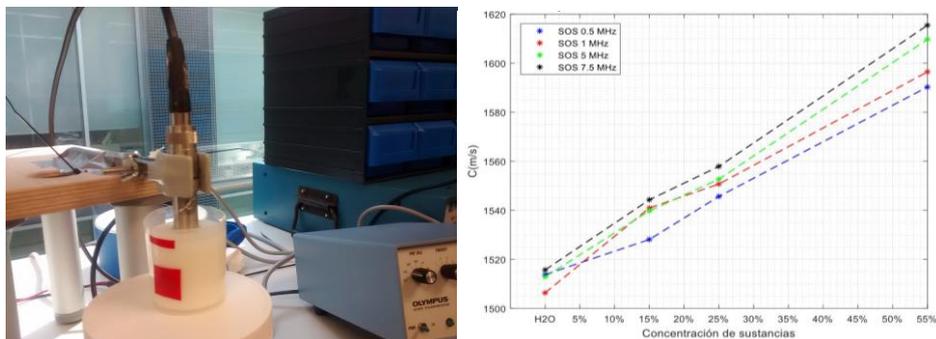


Figura 3 izquierda: Experimento 1. Derecha: Resultado del SOS para diferentes muestras de maizena

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \text{ (m/s)} \quad (4)$$

Para el cálculo del BUA, para cada frecuencia se ha establecido como señal de referencia la medida realizada con agua, y a partir de esta se ha calculado la función de transferencia con las distintas soluciones de Maizena.

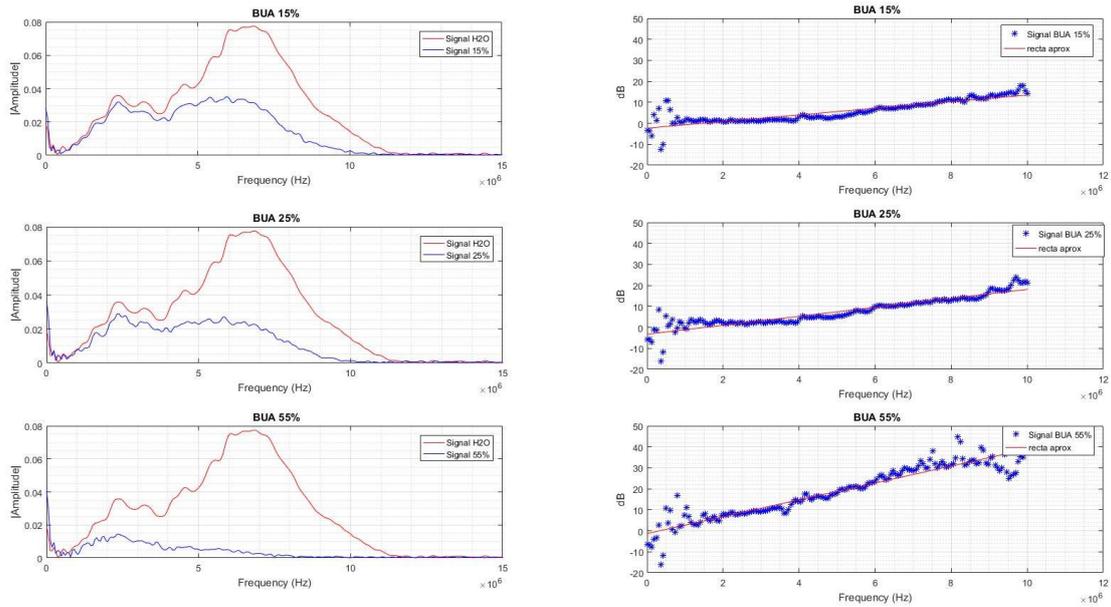


Figura 4 Izquierda: Espectro de las señales de eco. Derecha: Función de transferencia para las diferentes concentraciones de maicena.

Como se puede observar en la parte izquierda de la figura 4, se ha realizado la FFT de la señal de referencia (H₂O), y la FFT de la señal con la muestra a analizar. Una vez realizado, se realiza la función de transferencia como vemos en la parte derecha. Por último, según el ancho de banda del transductor se escoge el rango de frecuencias de interés para realizar un ajuste lineal, figura 5 (Derecha). El valor de la pendiente es el valor propio del BUA y se expresa en dB/MHz.

Como se observa en la figura 5, para cada transductor, (cada rango de frecuencias) existe un aumento del BUA a medida que aumenta la concentración de Maizena. En el caso del transductor de 1 MHz esto no es así, creemos que entorno a esta frecuencia existe un mecanismo de relajación molecular en la Maizena que afecta al comportamiento de la absorción con la frecuencia.

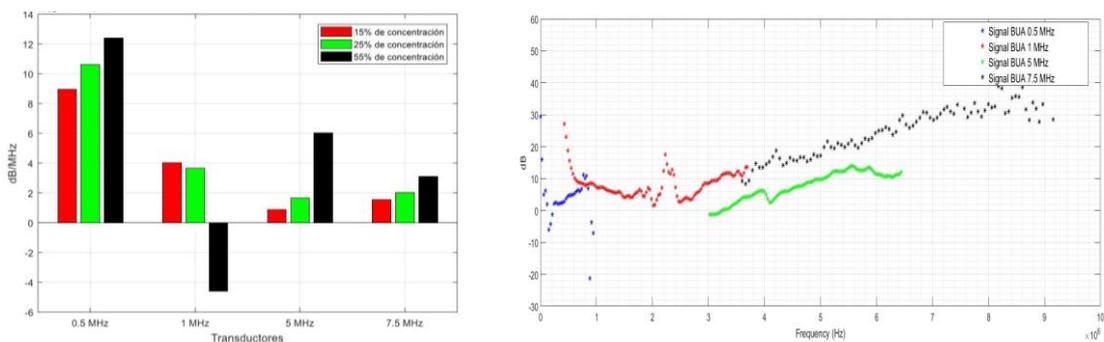


Figura 5 Izquierda: Resultados del BUA para diferentes concentraciones de maizena. Derecha. Función de transferencia de los distintos transductores a 55% de maicena, en rojo el transductor a 1 MHz.

5.2. Experimento 2

Para este experimento se ha utilizado el transductor de 5 MHz, por sus reducidas dimensiones y porque presentaba un buen comportamiento para el BUA, y una maqueta de

una maxila a escala 1:1 (figura 6). Este experimento es una primera aproximación al caso real.



Figura 6 Experimento 2 maqueta maxilar a escala 1:1

En la figura 7 se representan los resultados del SOS. Se puede ver que también presenta un aumento en sus valores al ir variando las concentraciones de Maizena. Sin embargo, estos resultados presentan mayor dispersión, existiendo valores que se solapan y pueden producir errores a la hora de intentar predecir un resultado a partir de la velocidad. Estos resultados son debidos a la geometría de la maxila y las propiedades intrínsecas del material con el que ha sido construida la maqueta, que dificultan la determinación de la señal de eco y por consiguiente el cálculo de la velocidad de propagación.

En la figura 8 se observa el BUA obtenido con la maxila, que también aumenta de valor a medida que aumentan las proporciones de Maizena. Esta sería una de las medidas susceptibles de ser utilizadas en un procedimiento de control ultrasónico en futuros pacientes.

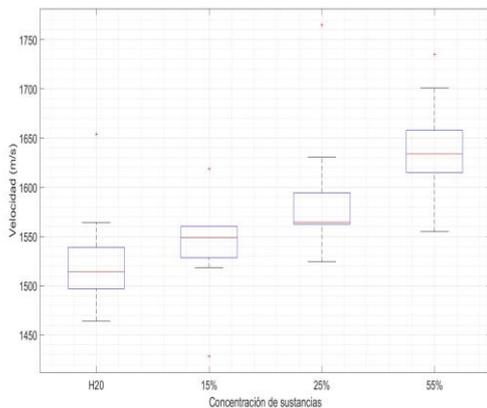


Figura 7 Resultado del SOS del Experimento 2

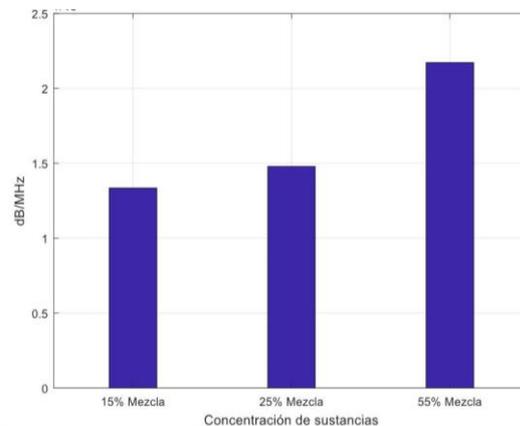


Figura 8 Resultado del BUA del Experimento 2

5.3. Experimento 3

En este experimento se ha monitorizado el proceso de solidificación de una resina de poliéster, obteniendo una medida cada 3 minutos durante 2 horas y 50 minutos.

En la figura 9 se observa que la velocidad de propagación va disminuyendo los primeros 40 minutos, esto es debido a que el proceso químico que solidifica la resina de poliéster calienta el material. Así pues, a partir de los 40 minutos empieza a generarse el proceso de solidificación.

A partir del minuto 155 la velocidad se estabiliza, por lo que se puede intuir que el proceso de solidificación ha finalizado.

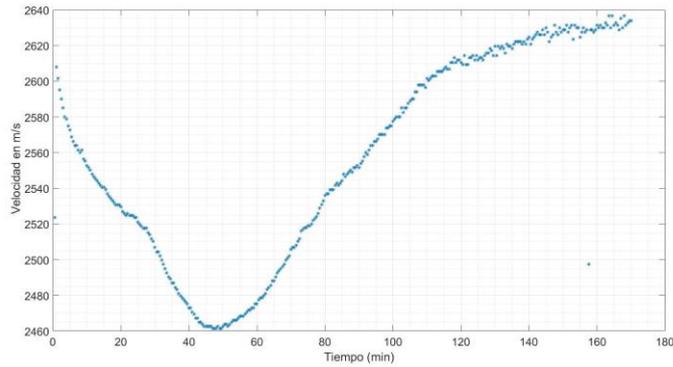


Figura 9 Resultados del SOS del Experimento 3

Como se aprecia en la figura 10, el BUA para la resina de poliéster va aumentando conforme va solidificando el producto hasta el final que tiende a estabilizarse. Ya que la medida utilizada como valor de referencia ha sido la primera adquirida, el primer valor de BUA aparece como 0. El BUA calculado pasa a ser un BUA relativo, ya que depende de la primera medida.

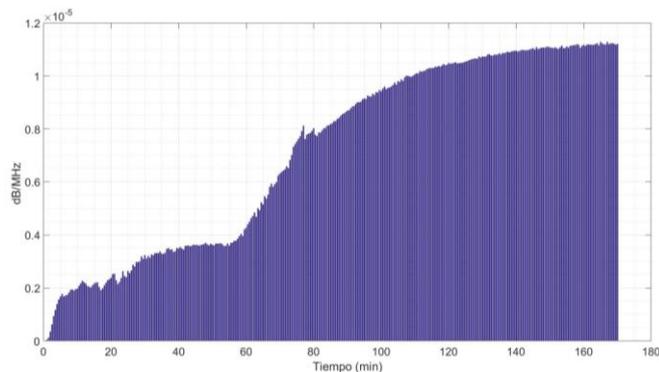


Figura 10 Resultado del BUA del Experimento 3

6. CONCLUSIONES

En este trabajo se ha diseñado y desarrollado la metodología para la monitorización ultrasónica del proceso de Regeneración Ósea Guiada (ROG). Mediante diferentes concentraciones de Maizena y con una resina de poliéster que equiparan de forma experimental la regeneración del hueso. Midiendo y evaluando la velocidad de propagación y la atenuación ultrasónica de banda ancha se pretende establecer un protocolo para la monitorización de la ROG.

En resumen, los experimentos nos llevaron a concluir que las técnicas y parámetros utilizados como el SOS y el BUA son útiles para realizar un seguimiento de la regeneración ósea, ya que según va aumentando la concentración del material, estos parámetros presentan un incremento. Sin embargo, es necesario caracterizar el material que se usa para la ROG junto al coágulo de sangre, para así, poder determinar si seremos capaces de usar la metodología en pacientes. Al observar el experimento de la resina de poliéster, podemos afirmar que el BUA presenta más sensibilidad a la hora de detectar un cambio en la solidificación del sistema, ya que este no depende de otros factores como la temperatura.

Sin embargo, nuestro sistema para detectar el BUA depende mucho de la señal de referencia. Tal vez se podrían combinar los dos parámetros para el sistema de monitorización, tal y como se usa para la detección de osteoporosis con ultrasonidos.

Agradecimientos

Este trabajo ha sido realizado gracias a la Cátedra IVIO-UPV y al proyecto de la UPV "Desarrollo de Tecnologías aplicadas al campo de la odontología", con la que se está colaborando para avanzar en el campo de la implantología dental con ultrasonidos.

7. BIBLIOGRAFIA

- [1] VIAÑO, J Y SU GRUPO DE INVESTIGACIÓN (2005). Simulación numérica en odontología y ortodoncia. Departamento de Matemática, Facultad de Matemáticas, Universidad de Santiago de Compostela, España, Vol N° 33, págs. 113-147.
- [2] PRACTICA 12 (sf). Implantes. Universidad de Valencia. Open Course Ware.
- [3] DOMÍNGUEZ, P (2013). Acción de los antisépticos orales en la osteointegración de implantes dentales en hueso maxilar periodontal. Universidad Complutense de Madrid. Tesis Doctoral, España.
- [4] MARTINEZ, C., ZELADA, Z Y MAMANI, J (2013). Regeneración osea guiada para implantes dentales posexodoncia. Caso clínico. Universidad Norbert Wiener, Lima, Peru, Universidad de San Martin de Porras, Lima, Peru, Facultad de Medicina Henri Warembourg, Universidad de Lille, Francia. Kiru. Enero-Junio: 10(1):55-62
- [5] LANGTON., C, NJEH, C (2008). The Measurement of Broadband Ultrasonic Attenuation in Cancellous Bone. IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control, Vol.55. N°7, July.
- [6] LAUGIER PASCAL, HAIAT (2011). Bone Quantitative Ultrasound. Université Pierre et Marie Curie: CNRS: Laboratoire d'Imagerie Parametrique. France, Paris: Springer Dordrecht Heidelberg London New York. ISBN 978-94-007-0016-1.
- [7] C. M. Langton, S. B. Palmer, and R. W. Porter, "The measurement of broadband ultrasonic attenuation in cancellous bone," Eng. Med., vol. 13, no. 2, pp. 89–91, 1984