



IX congresso ibérico de  
**AGROENGENHARIA 2017**

4 a 6 de setembro  
Bragança – Portugal

## **Viabilidad técnica de un sistema sonar para estimación del tamaño de frutos**

E. de Miguel<sup>1</sup>, G.P. Moreda<sup>2</sup>, M.A. Muñoz-García<sup>2</sup>, J. Muñoz<sup>2</sup>, P. Mishra<sup>3</sup>, B. Diezma<sup>2</sup>

<sup>1</sup> Estudiante Máster Ingeniero Agrónomo. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España

<sup>2</sup> Dpto. Ingeniería Agroforestal. Universidad Politécnica de Madrid. Madrid, España; e-mail: guillermo.moreda@upm.es

<sup>3</sup> University of Strathclyde. Glasgow, U.K.

### **Resumen**

Este trabajo trata del diseño y primeras pruebas con una versión simplificada de un futurible sistema ultrasónico con forma de anillo. Dos sensores de ultrasonido de diferente frecuencia, 220 kHz y 380 kHz, fueron instalados bajo diferentes ángulos y distancias respecto de un fruto central cuyo tamaño se desea conocer. Durante el proceso, encontramos varias dificultades. En primer lugar, el hecho de que el alcance y la frecuencia de los sensores de ultrasonido sean variables acopladas dificulta la futura realización práctica del anillo de ultrasonidos. En segundo lugar, a pesar de la notable separación en cuanto a frecuencia de funcionamiento de los dos sensores, unos de los ensayos realizados sugiere que hubo alguna interferencia entre ellos. El trabajo futuro con el sistema diseñado debería abordar la evaluación del grado de difusión difusa y especular en función de la longitud de onda en el aire de cada ultrasonido y la aspereza superficial del objeto medido.

**Palabras clave:** Fruto, sensor de rendimiento, tamaño, ultrasonido

## **Technical feasibility of a sonar system to estimate the size of fruits**

### **Abstract**

This work deals with the design and first tests of a simplified version of a futable ultrasonic ring-shaped sensor system. Two ultrasound sensors of different frequency, 220 kHz and 380 kHz, were installed at different angles and distances around a central fruit sample whom size is to be measured. Several pitfalls were encountered. First, the fact that sensing range and frequency of the transducers are coupled hinders the future realization of the ring-shaped frame. Second, in spite of large frequency gap between the two sensors analyzed, one of the tests conducted suggests that some interference or 'cross-talk' occurred between the sensors. Future work with the designed system should address the assessment of diffuse and specular reflection mode fractions as a function of ultrasound wavelength and inspective sample surface roughness.

**Keywords:** Fruit, size, ultrasound, yield sensor

### **1. Introducción**

Disponer de una medida del tamaño de un espécimen hortofrutícola dado (que por simplicidad vamos a denominar fruto, lo sea botánicamente o no) es interesante por diversas razones:

- En campo, en pre-cosecha, sirve para determinar, junto a otros parámetros, el momento óptimo de la recolección. Por ejemplo, Laing et al. (1995) desarrollaron un equipo portátil para medir el tamaño de limones en árbol. Dicho equipo tenía forma de trípode invertido, con un sensor de ultrasonido en la cartela de unión de las patas del trípode. Cuanto mayor era el calibre de un fruto, menos se deslizaba hacia la parte más estrecha o cartela, siendo calculada la distancia de 'encajamiento' del fruto en el trípode por medio del tiempo de propagación o vuelo (acrónimo inglés TOF).

- En el momento de la recolección, si se desea seguir una estrategia de manejo de agricultura de precisión, es necesario disponer de sensores de rendimiento. Estos son dispositivos embarcados en las cosechadoras que miden o contabilizan la cantidad de producto recolectado por unidad de tiempo. Aunque hasta la fecha el mayor grado de desarrollo de sensores de rendimiento corresponde a los gravimétricos para grano en cosechadoras de cereal, también existen diversos sensores de rendimiento para productos hortofrutícolas, como los descritos por Ehsani y Karimi (2010), algunos de ellos dimensionales o volumétricos.

- En postcosecha, las normas de comercialización y otras razones logístico-ingenieriles exigen y/o recomiendan que los frutos sean clasificados en grupos de tamaño homogéneo.

Habida cuenta del interés de poder medir el tamaño de un fruto, se planteó la posibilidad de desarrollar un nuevo sistema de medida del tamaño de frutos. Este sistema podría tener geometría circular, con múltiples puntos de vista, como el sistema sensor de anillo óptico ideado por Gall (1997), pero en vez de ledes (como la RAE ha aprobado la incorporación al castellano del acrónimo *LED* como *led*, la regla correspondiente conlleva que el plural sea *ledes*, no *leds*) y fototransistores utilizaría sensores de ultrasonido midiendo 'tiempo de vuelo', como el equipo de Laing et al. (1995). Como primera aproximación, se diseñó y construyó un sencillo sistema con solo dos sensores de ultrasonido, y es lo que aquí se describe.

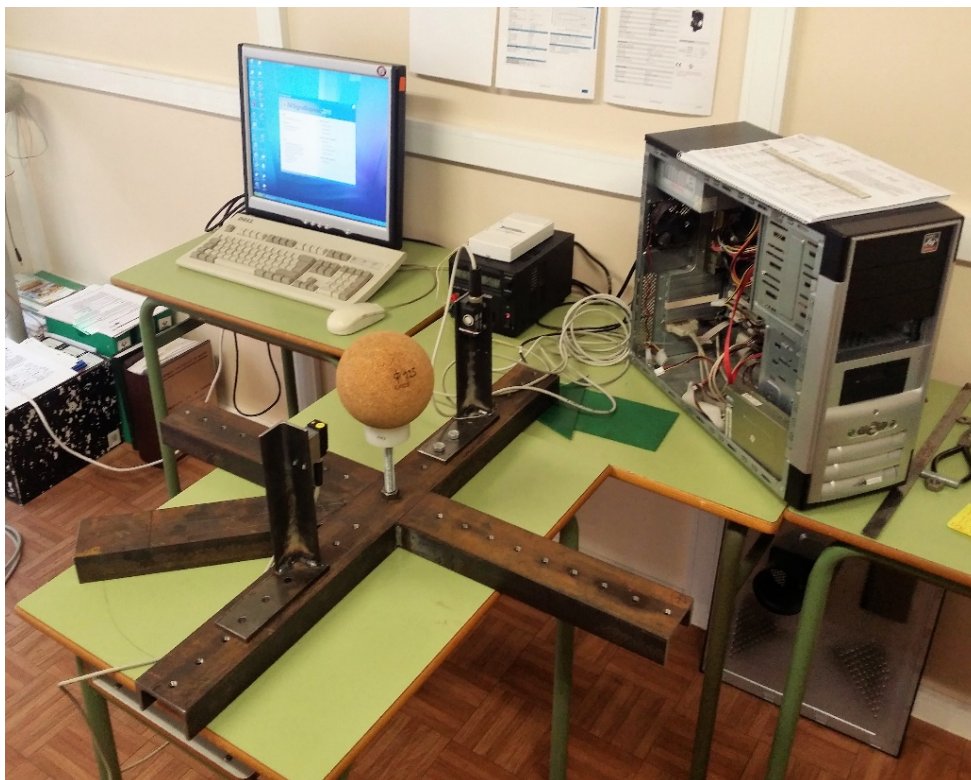
En relación con la 'proyección' de ondas ultrasónicas sobre la superficie de un fruto, es importante mencionar que hay dos propiedades físicas de dicho fruto que influyen sobre el eco devuelto: la aspereza superficial y la firmeza. Desde el punto de vista de un haz de ultrasonido que incide sobre la superficie de un fruto intacto, yendo desde la superficie hacia el interior, la propiedad más externa sería la aspereza superficial, y la siguiente la firmeza.

La RAE define *ecolocalización* como la localización de un objeto mediante la reflexión de ondas sonoras, utilizada por especies animales como los murciélagos y los cetáceos y en los sistemas de sonar. Estudios de ecolocalización como el de Schmidt (1988) han encontrado evidencias de que los murciélagos pueden discriminar entre superficies de diferente aspereza. Por otra parte, en algunos trabajos se han obtenido buenos resultados a la hora de medir aspereza superficial con sensores de ultrasonido. Por ejemplo, Bozma y Kuc (1994) demostraron que las medidas de aspereza pueden ser empleadas para clasificar las superficies de un determinado entorno en lisas, moderadamente ásperas o rugosas y rugosas. Dichos autores identificaron dos parámetros del eco que varían con la aspereza superficial: la energía del eco y la duración del eco.

Lee y Cho (2013) implementaron un sistema para estimar la firmeza de la fruta sin contacto, utilizando ultrasonidos, partiendo de la hipótesis de que la intensidad del eco devuelto depende de la firmeza del fruto, una vez corregido el efecto perturbador del tamaño del fruto.

## 2. Materiales y Métodos

Se construyó una estructura de apoyo o 'base' en forma de cruz con perfiles UPN, a la que en una última fase se añadió un quinto brazo a 45° (por simetría, uno de los cuatro brazos originales de la cruz no era necesario, y no se utilizó). En el centro del sistema o 'centro de la cruz' se sitúa el portaobjeto o portamuestra. Por su parte, los dos sensores de ultrasonido se fijaron a unas escuadras, como se muestra en la Fig. 1. Un primer escollo encontrado en la fase de diseño es que la frecuencia y el alcance de los sensores no son variables independientes.



*Fig. 1. Sistema de medición de distancias diseñado. Se aprecian los dos sensores de ultrasonido 'en oposición' (180°), la F.A. (color negro), la tarjeta digitalizadora (color blanco) y el PC conectado a la tarjeta por USB, con el programa Signal Express instalado.*

Los sensores seleccionados son de transductor reversible, es decir, emplean el mismo transductor como emisor y receptor (Fig. 2). Tras la emisión del haz ultrasónico, se espera un tiempo a que las vibraciones desaparezcan y se encuentre por tanto preparado para recibir el eco producido por el objetivo. Si no se esperara ese tiempo mínimo (tiempo de relajación) antes de conmutar a modo receptor, las vibraciones residuales podrían ser confundidas con el eco que queremos medir, lo que falsearía la medida. El tiempo de relajación se traduce en una distancia mínima (proporcional a dicho tiempo necesario para que desaparezcan las vibraciones residuales) a partir del cual el sensor mide con precisión.

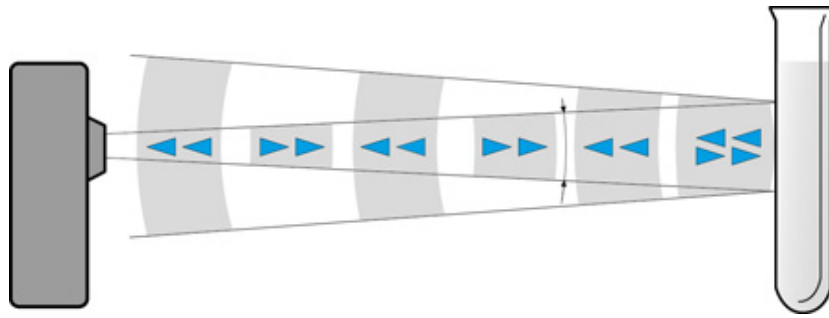


Fig. 2. Representación 2D del cono de ondas ultrasónicas emitido y su reflexión especular, para un transductor reversible como los utilizados en este trabajo. Fuente: Baumer.

Las características de los sensores utilizados se incluyen en la Tabla 1.

Tabla 1. Características básicas de los sensores de marca Baumer utilizados.

Sensor	Frecuencia ultrasónica (kHz)	Rango de medición (mm)	Señal de salida
UNDK20	380	20-200	V
U500	220	100-1000	V

Dos de los ensayos realizados fueron: Sensores ‘en oposición’, o a  $180^\circ$  (Fig. 1 y Fig. 3), y sensores en un mismo plano vertical (Fig. 4). En este último caso en vez de esferas se utilizaron superficies planas o ‘láminas’.

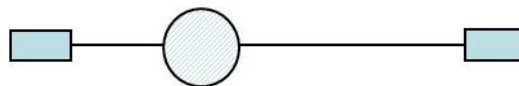


Fig. 3. Sensores dispuestos a  $180^\circ$ .



Fig. 4. Sensores dispuestos en un mismo plano vertical, para el estudio de posibles interferencias.

Los experimentos siguieron un diseño factorial. Una vez realizadas las mediciones con los sensores, y tomadas las correspondientes medidas de referencia, se calculó el error relativo correspondiente a la medida de la distancia total,  $Er_{DT}$ , eq. (1) como la diferencia relativa entre la distancia total estimada, DTE y la distancia total real, DTR.

$$Er_{DT} (\%) = [(DTE-DTR)/DTR] \cdot 100 \quad (1)$$

La variable DTE corresponde a la suma de las distancias medidas por cada sensor desde él a la superficie del fruto contra la que incide el haz de ultrasonido emitido por el sensor, más el diámetro del fruto (medido previamente con un pie de rey). La variable DTR es la distancia real o de referencia entre las caras activas de los sensores, obtenida a partir del número de taladros equiespaciados (Fig. 1) de los perfiles UPN.

### 3. Resultados y Discusión

La direccionalidad, es decir, la mayor o menor apertura del ángulo del cono de emisión, depende fundamentalmente de tres factores: el tamaño –área- de la superficie vibrante del transductor, su forma geométrica, y la frecuencia a la que vibra. Una direccionalidad alta es sinónimo de un cono estrecho, es decir, de pequeño ángulo de apertura en su vértice. Comparando un transductor ultrasónico de menor frecuencia con otro de mayor frecuencia, ambos con una superficie vibrante del mismo tamaño y forma, al primero le corresponden un alcance y un ángulo de cono en vértice mayores. Paradójicamente, en aplicaciones como los sensores de aparcamiento de los automóviles (Hikita, 2010), el alcance útil del sensor de menor frecuencia es menor que uno de mayor frecuencia, pero ello se debe al efecto perturbador de la reflexión contra el suelo.

Cuando un haz de ondas ultrasónicas incide sobre la superficie de un cuerpo sólido, una parte considerable de la energía incidente se refleja. A su vez, la fracción reflejada se distribuye en mayor o menor grado entre difusa y especular, dependiendo dicha distribución de la longitud de onda del ultrasonido empleado y de la aspereza superficial del cuerpo. Cuando el valor medio de la profundidad del microrelieve o aspereza es comparable a la longitud de onda, predomina la reflexión difusa. En sentido contrario, si vgr. en una aplicación de navegación de un robot equipado con sonar para evitar colisiones dentro de una habitación la longitud de onda del sonar es de varios mm, mayor que la profundidad media de aspereza de paramentos interiores, predominará la reflexión especular.

A partir de la expresión  $c = \lambda \cdot f$ , sustituyendo la velocidad de propagación  $c$  por su valor en el aire para el sonido y ultrasonido, 343 m/s aproximadamente para una temperatura del aire de 20 °C, y la frecuencia de cada uno de los dos sensores, se obtiene que la longitud de onda para el sensor de largo alcance (U500), cuya frecuencia es 220 kHz, es aproximadamente 1,6 mm, mientras que para el de corto alcance o alta frecuencia (UNDK20, 380 kHz), la longitud de onda es aproximadamente 0,9 mm.

Como se aprecia en la Fig. 5, para la mayor separación (P3) entre los sensores y la muestra se obtuvo un mal resultado para la esfera más pequeña, la de  $\phi 35$  mm. Ello se debió a la detección en plano

posterior del sensor de corto alcance (UNDK20) por parte del otro sensor (U500). Otro aspecto destacable en la Fig. 5 es la diferencia de resultados en la combinación P3-esfera de  $\phi 40$  mm entre el corcho y la gomaespuma (menor error para la gomaespuma). Esta diferencia de comportamiento podría deberse a la diferente aspereza de ambos materiales, que afecta a la relación entre reflexión especular y difusa. En concreto, la menor aspereza superficial de la gomaespuma empleada conlleva una mayor relación reflexión especular/reflexión difusa en comparación con el corcho.

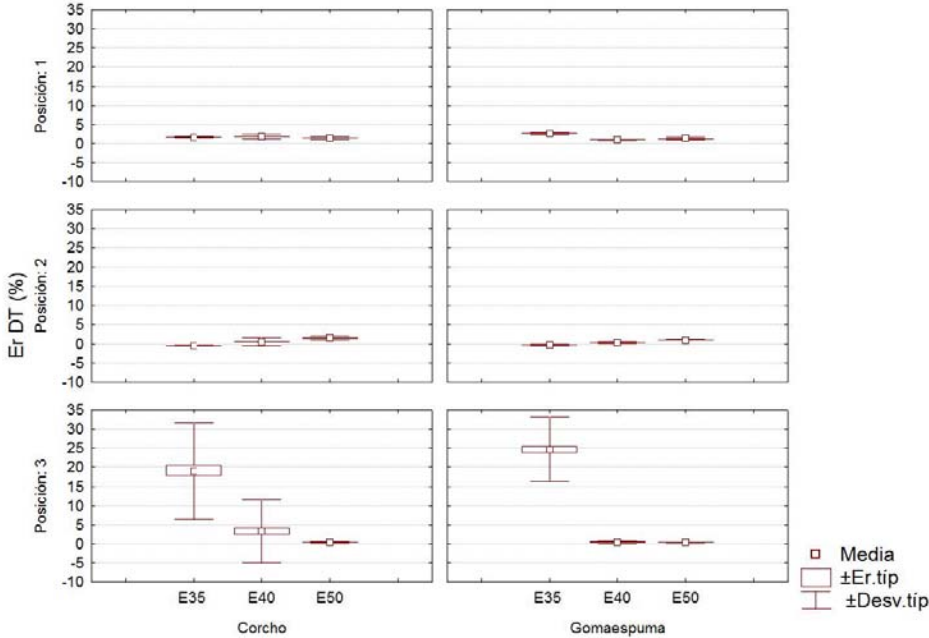


Fig. 5. Error relativo (%) en la determinación de la Distancia Total, en función de la textura y posición, para las esferas pequeñas (Disposición 180°).

Respecto a posibles interferencias, comparando la combinación superficie plana –‘lámina’- de corcho-sensor U500 en el caso de funcionamiento simultáneo de ambos sensores (Fig. 6) y funcionamiento por separado o no coincidente en el tiempo (Fig. 7), se observa que para las posiciones o distancias P1 y P3 la precisión es mayor (dispersión menor) cuando funcionan aisladamente que cuando coinciden temporalmente. Análogamente, para la combinación lámina de acero inoxidable-sensor UNDK20, concretamente para la separación o distancia P3, la precisión es mayor cuando la medición de uno y otro es diferida en el tiempo respecto a cuando coinciden en el tiempo.

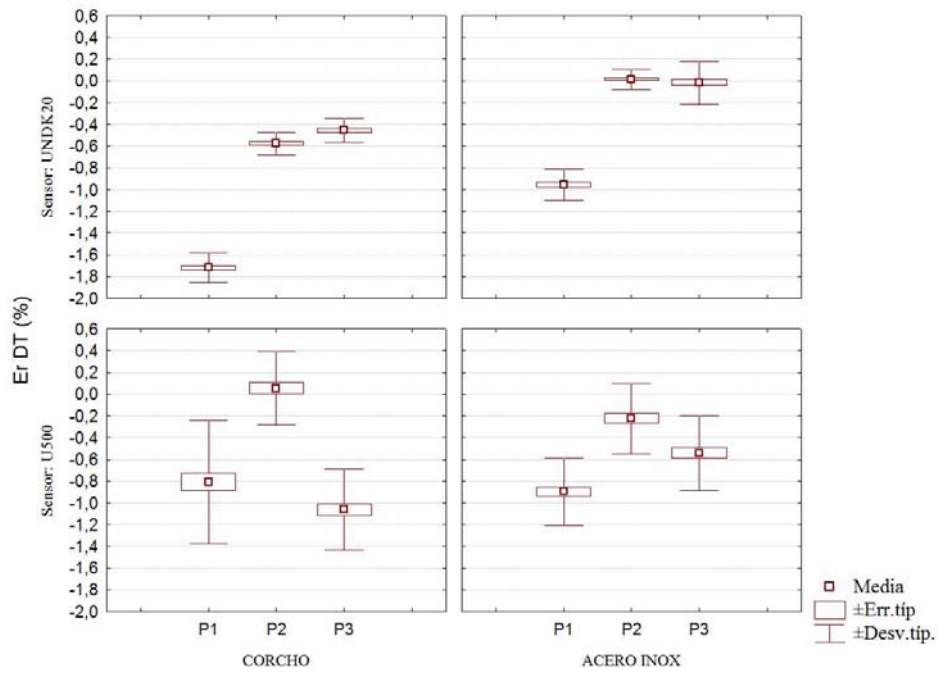


Fig. 6. Error relativo (%) en la determinación de la Distancia Total, en función de la posición, material de la lámina y sensor, cuando los dos sensores están midiendo simultáneamente.

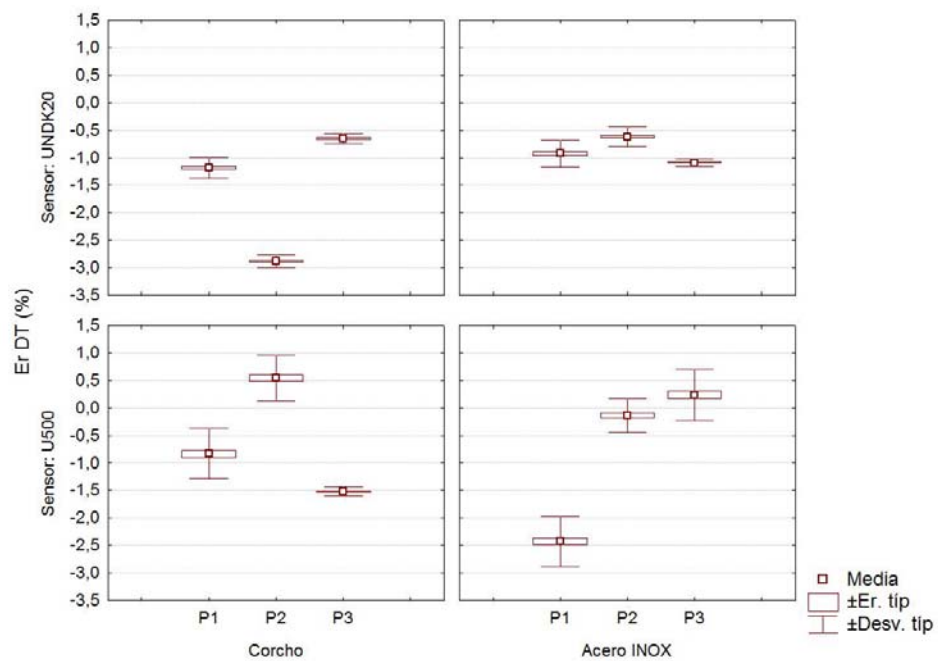


Fig. 7. Error relativo (%) en la determinación de la Distancia Total, en función de la posición, material de la lámina y sensor, cuando los dos sensores están midiendo por separado.

#### 4. Conclusiones

Se ha diseñado un sistema de medida de distancias que utiliza dos sensores de ultrasonido de diferente frecuencia. Algunas conclusiones que se pueden extraer del presente trabajo son:

- Un escollo importante de cara a la realización práctica de un futurible ‘anillo de ultrasonidos’ formado por transductores de diferente frecuencia es que esta y el alcance no son variables independientes.

- Aunque en el ensayo de detección de posibles interferencias entre ambos sensores se encontraron indicios en ese sentido, es necesario realizar más experimentos al respecto, por ejemplo probando con la disposición a 45°.

- El elevado error correspondiente a la disposición de sensores ‘en oposición’ (180°) cuando la esfera interpuesta entre ellos es de pequeño diámetro (35 mm) y los sensores se encuentran a gran distancia de ella (posición P3) se debe a que el sensor de mayor alcance detectó el plano posterior donde se encontraba el otro sensor.

### **Agradecimientos**

Los autores desean expresar su agradecimiento al grupo de investigación LPF-TAGRALIA, por haber facilitado los fondos para la adquisición de los sensores.

### **Bibliografía**

Bozma, O., Kuc, R. (1994). A physical model based analysis of heterogeneous environments using sonar ENDURA method. *IEEE Trans. Pattern Anal. Mach. Intell.*, 16(5): 497-506.

Ehsani, R. & Karimi, D. (2010). Yield monitors for Specialty Crops. *Landbauforschung Völkenrode*, Special Issue 340: 31-43.

Gall, H. (1997). A ring sensor system using a modified polar coordinate system to describe the shape of irregular objects. *Meas. Sci. Technol.* 8: 1228-35.

Hikita, M. (2010). An introduction to ultrasonic sensors for vehicle parking. Disponible en: <http://www.newelectronics.co.uk/electronics-technology/an-introduction-to-ultrasonic-sensors-for-vehicle-parking/24966/> . Consultado por última vez el 2/5/2017.

Laing, A.; Smit, Q ; Mortimer, B.J.P.; Tapson, J. (1995). Ultrasonic Fruit Sizing Device. *J. South African Acoustics Institute*, 6: 60-65.

Lee, S., Cho, B.K. (2013). Evaluation of the firmness measurement of fruit by using a non-contact ultrasonic technique. *IEEE 8<sup>th</sup> Conf. on Industrial Electronics and Applications*: 1331-1336.

Schmidt, S. (1988). Evidence for a spectral basis of texture perception in bat sonar. *Nature*, 331(6157): 617-619.