

COMPARACIÓN ENTRE TRANSDUCTORES CILÍNDRICOS Y CÓNICOS PARA LA MEDIDA DE CUERNAS DE VENADO

PACS: 43.35.Zc

García Trujillo, Alba ⁽¹⁾; Del Río Pérez, Luis Mariano ⁽¹⁾; Castillo Hernández, Leticia ⁽²⁾

⁽¹⁾ Departamento de Física Aplicada. Escuela Politécnica. Universidad de Extremadura.

Avda. de la Universidad s/n.

10003 Cáceres. España

Tel: 927 257 195. Fax: 927 257 203

E-Mail: lmdelrio@unex.es

E-Mail: agarciaoo@alumnos.unex.es

⁽²⁾ Unidad de Biología y Etología. Facultad de Veterinaria. Universidad de Extremadura

Avda. de la Universidad s/n

10071 Cáceres, España

E-Mail: leticia@unex.es

ABSTRACT

Hunting has in the Iberian Peninsula and in Extremadura great importance as a leisure activity, economy and environmental. Ultrasound, as non-destructive method, can be used in the antlers of red deer (*Cervus elaphus hispanicus*) as a tool to assess their properties without having to break the antler and thus preserving the trophy. In this paper we present a comparative study between cylindrical and conical, probes in order to check their suitability for the characterization of the physical and mechanical properties of the antlers of the Iberian deer with both teams.

RESUMEN

La actividad cinegética posee en la Península Ibérica y en Extremadura una gran importancia como actividad de ocio, economía y ambiental. Los ultrasonidos, como método no destructivo, pueden ser utilizados en las cuernas de ciervo (*Cervus elaphus hispanicus*) como herramienta para valorar sus propiedades sin necesidad de romper la cuerna y por tanto preservando el trofeo. En este trabajo presentamos un estudio comparativo entre palpadores cilíndricos y cónicos, con el objetivo de comprobar su idoneidad para la caracterización de las propiedades físico-mecánicas de las cuernas del ciervo ibérico con ambos equipos.

INTRODUCCIÓN

El ciervo (*Cervus elaphus hispanicus*) es uno de los ejes principales dentro de la actividad cinegética de nuestro país. Ésta presenta una importancia relevante dentro del ámbito rural, llegando a suponer en torno al 1% del PIB, generando a su vez más de 15.000 puestos de trabajo (I.N.E., 2009).

El ciervo se caracteriza morfológicamente por presentar dos estructuras óseas, denominadas cuernas, que renueva anualmente. Estas cuernas, sólo presentes en los machos, son

utilizadas como arma de lucha durante el periodo reproductivo y comienzan a desarrollarse a partir de los dos años (Clutton-Brock et al., 1982). De manera normal, cada año irán aumentando de tamaño y en número de puntas hasta aproximadamente los 8 años.

Al tratarse de un tejido óseo está compuesto principalmente por material mineral (Chapman, 1975) que se organiza en dos tipos de tejido, tejido óseo compacto y tejido óseo esponjoso, cuya proporción estará relacionada con las propiedades físicas de las mismas (Ulrich et al., 1999).

Para determinar las características de las cuernas, de manera habitual se vienen utilizando dos tipos de técnicas. El primer método valora las características externas a través de la determinación del grado de asimetría de las mismas, relacionando mayores niveles de asimetría con peor calidad de la misma. Una segunda técnica a través del estudio de sus propiedades físico-mecánicas. En este segundo caso era necesaria la rotura del trofeo para poder determinarlas. Es por ello que planteamos el uso de técnicas alternativas no destructivas ya conocidas para aplicarlas al análisis de las cuernas. Concretamente, los ultrasonidos son ondas mecánicas que se desplazan a diferente velocidad dependiendo de las características del medio (Njeh et al., 1997). Los ultrasonidos ya presentan una alternativa a la convencional densitometría, utilizada en el diagnóstico de osteopatías, puesto que nos muestra información estructural del hueso, además de proporcionar la estimación de su densidad (Gluer et al., 1993; Tavakoli et al., 1991). El uso de la velocidad de las ondas de ultrasonidos para determinar las propiedades elásticas tanto del hueso compacto como del esponjoso ha sido ampliamente descrito (e.g., Bonfield y Tully, 1982; Hartman et al., 2004). En este trabajo presentamos un estudio comparativo entre dos tipos de transductores que pueden ser utilizados específicamente para evaluar las propiedades físico-mecánicas en cuernas de ciervo ibérico, concretamente la velocidad de propagación de las ondas ultrasónicas longitudinales a través de este material.

MATERIAL Y MÉTODOS

Para llevar a cabo el estudio hemos seleccionado tres cuernas procedentes de desmogues, estos es, cuernas recogidas en el campo una vez que se han desprendido del ciervo.. Estas cuernas se cortaron en 4-7 secciones, de una longitud aproximada de 15 cm y 3-4 cm de diámetro, correspondientes a las principales partes de la cuerna, tal como puede verse en la Figura 1.



Figura 1: Partes en las que se ha dividido la cuerna.

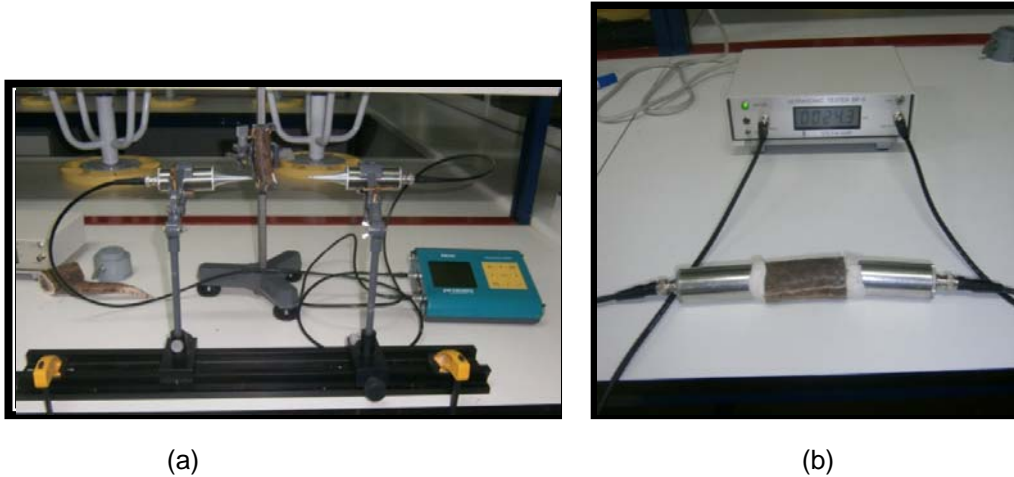


Figura 2: (a) Equipo TICO con palpadores cónicos. (b) Equipo Steinkamp BP-V con palpadores cilíndricos.

Para efectuar los análisis ultrasónicos hemos utilizado la técnica de transmisión directa con dos equipos portátiles: Steinkamp BP-V con palpadores cilíndricos de frecuencia nominal de 50kHz y 3 cm de diámetro y TICO proceb con palpadores cónicos de la misma frecuencia nominal (Figura 2). Para asegurarnos de la correcta transmisión de la señal, en el caso de los palpadores cilíndricos hemos utilizado plastilina como material acoplante, en tanto que para los cónicos se ha empleado la técnica de contacto directo. Ambos equipos nos proporcionan el tiempo empleado en recorrer el material con una precisión de 0.1 μ s. y para determinar la distancia recorrida por las ondas se ha utilizado un calibre electrónico de precisión 0.01mm. Para obtener la máxima información sobre la velocidad del ultrasonido en las distintas muestras de la cuerna, las medidas se han realizado según los tres ejes principales de cada pieza: longitudinal (VL) y transversal (VT1 y VT2), tal como vemos en la Figura 3. En el caso de los palpadores cónicos se realizaron dos medidas longitudinales, la primera (VL1) sobre la parte porosa de la pieza y la segunda (VL 2) sobre la parte compacta (Figura 3). A la hora de realizar los análisis estadísticos para poder comparar los valores de los palpadores cilíndricos y cónicos, hemos obtenido el valor medio de éstas dos últimas velocidades (VL 1y VL 2), ponderándolas con respecto a la superficie estimada de ambas partes, porosa y compacta.



Figura 3: Diferentes ejes de las piezas sobre los que se ha medido la velocidad de transmisión de la onda.

Los análisis estadísticos y gráficas se han realizado con SPSS 19 y con el paquete Statistica V.8. Las relaciones entre variables se han obtenido mediante análisis de Correlaciones de Pearson. Los resultados se han considerado significativos cuando el valor de $p < 0.05$.

La comparación entre los resultados obtenidos entre la medición realizada por los dos tipos de palpadores, cilíndricos y cónicos, se ha realizado a través de estudios ANOVA, al igual que el cálculo de las diferencias entre los errores relativos de ambas.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En la Tabla 1 presentamos los resultados promedios de cada pieza para cada uno de los ejes estudiados. Además se proporcionan los valores medios en dirección longitudinal (VL) y transversal (VT). En el primer caso, para poder comparar adecuadamente unas variables con otras, hemos determinado el valor VL cónicos, como el promedio ponderado de las velocidades sobre la parte porosa y compacta de la pieza, tal como se ha indicado anteriormente. Con respecto a VT, su valor lo hemos calculado directamente como la media aritmética de VT1 y VT2.

Tal como podemos ver, todas las velocidades se sitúan en el rango 1437 a 3945 m/s, existiendo diferencias muy significativas entre las medidas de ambos ejes, para ambos tipos de palpadores. Así, podemos destacar que las velocidades medidas según los ejes transversales son aproximadamente en torno a un factor 0.6-0.7 inferiores a las del eje longitudinal (Tabla 2), tal como sucede en otro tipo de materiales con estructura cilíndrica y de crecimiento por capas, como es el caso de los huesos o los troncos de árboles.

Tabla 1. Resultados de las velocidades ultrasónicas obtenidas para todas las piezas analizadas.

PIEZA	TIPO(*)	CÓNICOS						CILÍNDRICOS			
		VL	VL1	VL2	VT	VT1	VT2	VL	VT	VT1	VT2
1	GM 1	3205	2748	3650	1907	1901	1912	3210	2488	2449	2526
2	GM2	3229	2984	3494	1878	1824	1932	3661	2487	2345	2629
3	LUCH	3316	2871	3586	2284	2210	2358	3755	2791	2866	2716
4	LUCH	3548	2897	3739	2092	2037	2147	3945	2895	2853	2936
5	CEN	3411	2809	3733	2025	2157	1893	3935	2990	2804	3175
6	COR	3257	2856	3491	1958	2067	1850	3674	2583	2613	2553
7	GM 2	3060	2746	3565	1579	1722	1437	3203	2032	2268	1796
8	GM 1	3236	2754	3597	1965	2033	1898	3523	2606	2533	2680
9	CEN	3526	3194	3704	2186	2304	2067	3727	2718	2755	2681
10	LUCH	3769	3086	3863	2294	2492	2096	3780	2795	2798	2793
11	COR	3275	2882	3807	2158	2159	2157	3371	2232	2190	2275
12	COR	3218	2940	3390	2157	2054	2260	3659	2396	2436	2356
13	LUCH	3380	2847	3561	2153	2281	2026	3812	2613	2770	2456
14	GM1	2771	2191	3291	1924	1935	1912	3560	2475	2530	2421
15	GM2	3063	2863	3355	1575	1571	1579	3382	2040	2015	2066
16	COR	3035	2590	3493	1667	1738	1596	3394	1945	2101	1788
17	LUCH	3468	3141	3532	2246	2308	2185	3605	2889	3034	2743
18	CEN	3133	2869	3319	2026	2111	1941	3489	2630	2607	2653
19	COR	3081	2673	3466	1913	1841	1985	3257	2144	2368	3081
Veloc. media		3262	2839	3560	1999	2039	1959	3576	2513	2544	2482
Desv. est.		226	218	162	218	235	234	229	313	283	376

*GM1: grosor medio 1; GM2: grosor medio 2; LUCH: luchadera; COR: corona; CEN: central;

Tabla 2. Cocientes entre los valores medios de cada una de las velocidades determinadas

PALPADORES	VT1/VL	VT2/VL	VT1/VT2	VL1/VL2	VL1/VL	VL2/VL
CÓNICOS	0.63	0.60	1.04	0.80	0.87	1.09
CILÍNDRICOS	0.71	0.69	1.02	-	-	-
	VL/VL	VT/VT	VT1/VT1	VT2/VT2	VL1/VL	VL2/VL
CÓNICOS/CILÍNDRICOS	0.91	0.80	0.80	0.79	0.79	1.42

Por otra parte, también son notablemente diferentes los valores de velocidad obtenidos sobre el mismo eje longitudinal, en la parte porosa y la compacta, tal como era de esperar. Concretamente las velocidades sobre la parte porosa (VL1) son inferiores en un factor 0.8 con respecto a la compacta (VL2). No obstante, cuando determinamos el valor medio ponderado a las superficies respectivas, de VL1 y VL2 obtenidos con los palpadores cónicos, vemos que el valor VL obtenido de ese promedio se asemeja notablemente al obtenido directamente de la medida de VL con los palpadores cilíndricos, lo cual justificaría la bondad del modelo propuesto para el cálculo de la citada VL. No obstante, observamos diferencias significativas entre las velocidades obtenidas con los palpadores cónicos y los palpadores cilíndricos, siendo en general inferiores los valores de las primeras con respecto a las segundas en un factor 0.8-0.9. Con el fin de confirmar este resultado hemos realizados estudios ANOVA para estas variables según los tres ejes definidos. A modo de ejemplo, en la Figura 3. (a) y (b) mostramos los resultados obtenidos para los ejes longitudinal y transversal, respectivamente. Como puede apreciarse los valores determinados con los palpadores cónicos (tipo 1) son significativamente inferiores ($p < 0.05$) a los obtenidos con los cilíndricos (tipo 2), obteniendo los siguientes resultados: [VL F: (1,36)= 18,079, $p=0,00014$]; [VT1: F(1, 36)=35,681, $p=0,00000$]; [VT2: F(1, 36)=26,458, $p=0,00001$]; [VT: F(1,36)=34,537, $p=0,00000$].

El motivo de estas diferencias puede ser múltiple. De una parte, aunque no existen diferencias entre sus frecuencias nominales es posible que sí que se produzcan algunas diferencias en cuanto a las frecuencias reales de las ondas cuando se propagan en el material. También pudiera deberse en parte a una diferente calibración de ambos equipos o lo que quizá pueda ser la causa más probable, las diferencias entre los lóbulos de propagación de las ondas originadas en ambos palpadores, puesto que en caso de los cónicos, el foco de la onda es claramente puntual. No obstante, para confirmar cualquiera de estas hipótesis será necesario un análisis más en profundidad de los equipos y señales producidas por los mismos.

Por lo que respecta al análisis que hemos realizado sobre los errores relativos obtenidos en las medidas realizadas para cada uno de los palpadores, no observamos diferencias significativas en las mediciones transversales (VT1: F (1, 36)=0,30216, $p=0,58592$; VT2: F (1, 36)=2,0473, $p=0,16110$). Sin embargo, cuando analizamos los valores de las velocidades según el eje longitudinal encontramos diferencias significativas entre ambos palpadores, presentado valores de error relativo mayores las obtenidas con palpadores cónicos (F (1, 36)=16,847, $p=0,00022$). La causa podría ser que, tal como hemos indicado, estos valores de velocidades longitudinales para estos palpadores cónicos los obteníamos calculándolos a partir de las velocidades VL1 y VL2, con el consiguiente cálculo de propagación de errores, en tanto que para los cilíndricos los datos se obtienen por medida directa en las piezas. De hecho, cuando analizamos estos errores para las medidas realizadas en cada parte (porosa o compacta) de las piezas, no hemos obtenido diferencias significativas entre ellas (F (1, 36)=2,5792, $p=0,11701$).

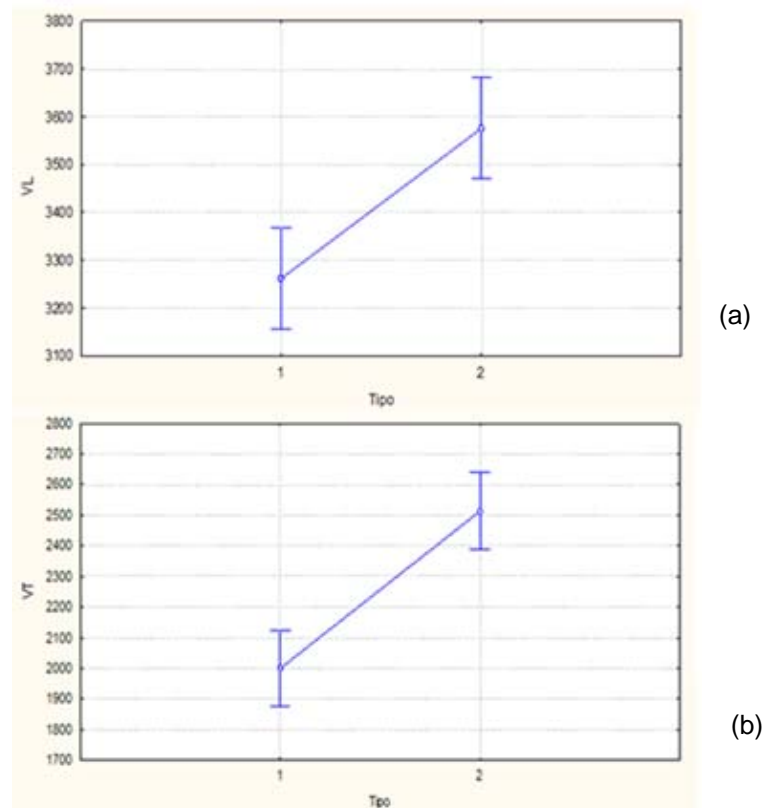


Figura 3: Comparación de velocidades longitudinales (gráfica a) y transversales (gráfica b) entre cónicos y cilíndricos

Un aspecto que tiene especial interés para el estudio, más allá de la concordancia exacta entre los valores proporcionados por ambos tipos de palpadores es la existencia o no de correlaciones entre las velocidades obtenidas por los palpadores cónicos y cilíndricos.

Así, en la Tabla 3 presentamos los resultados obtenidos para el análisis de correlaciones cruzadas Pearson que hemos llevado a cabo con los valores promedios de cada pieza en cada uno de los ejes considerados.

Tal como podemos comprobar, para todas las velocidades estudiadas existen correlaciones significativas ($r > 0.5$), tanto entre las propias medidas con un mismo palpador como entre las medidas con palpadores diferentes, siendo además sus coeficientes de regresión muy similares en todos los casos, situándose en el rango 0.6-0.8.

Tabla 3: Correlaciones de Pearson entre las diferentes medidas y palpadores (* significativo al 0.01).

	VL cónicos	VT cónicos	VL cilíndricos	VT cilíndricos
VL cónicos	1	0.692*	0.635*	0.687*
VT cónicos		1	0.619*	0.752*
VL cilíndricos			1	0.789*
VT cilíndricos				1

A modo de ejemplo en las Figura 4 y 5 se presentan las relaciones entre las velocidades obtenidas con los palpadores cónicos y cilíndricos para VL y para VT2, respectivamente. En conjunto, estas relaciones moderadamente fuertes entre las variables indicaría la coherencia de nuestros resultados, entendiéndose que en su conjunto las piezas en las cuales la velocidad

de propagación es mayor, lo es para cualquiera de los tipos de velocidad (VL o VT) obtenido e independientemente de los palpadores utilizados en las determinaciones. Ello nos permitiría en principio utilizar en el futuro cualquiera de los dos tipos de palpadores –cónicos o cilíndricos– para estudiar las características físico-mecánicas de las cuernas, aunque si se trata de comparar valores uno a uno deberemos medirlos con el mismo tipo de palpador.

En todo caso, tal como ya hemos descrito en trabajos anteriores, a la hora de elegir el eje sobre el que podremos medir en nuestro trabajo de campo sobre cuernas completas, hay que considerar la imposibilidad de medir sobre el eje longitudinal, por lo que la medida ha de realizarse sobre uno de los transversales, en concreto VT2, al corresponder este con el que posee unas superficies de apoyo para los palpadores más planas, véase Figura 3.

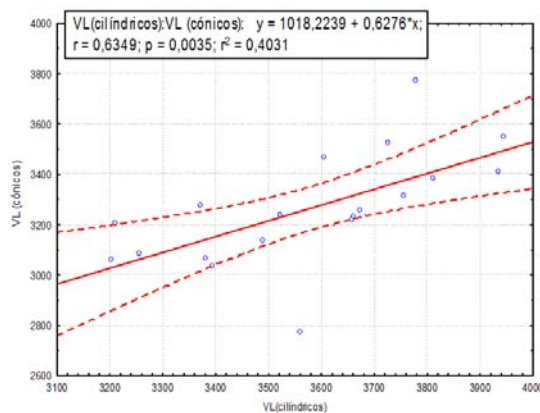


Figura 4: Relación lineal para VL de los dos tipos de palpadores.

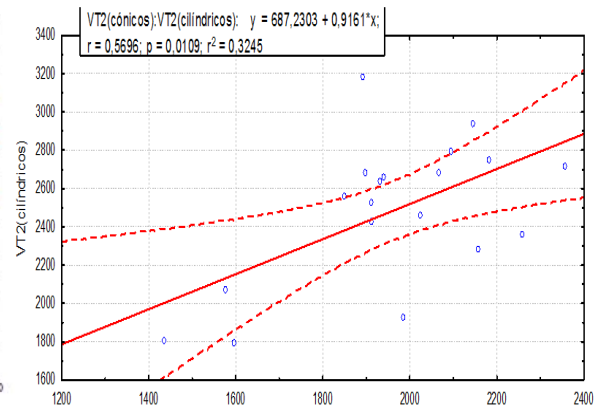


Figura 5: Relación lineal para VT2 de los dos tipos de palpadores.

CONCLUSIONES

- Hemos realizado un estudio detallado sobre las velocidades de propagación ultrasónicas obtenidas en diferentes piezas de cuernas de desmogue de ciervo ibérico, utilizando para ello dos tipos de palpadores diferentes: cónicos y cilíndricos.
- El estudio se ha realizado, en cada pieza, por transmisión directa según las direcciones de los ejes longitudinal (VL) y transversales (VT1 y VT2). Para el caso de los palpadores cónicos se han podido determinar las velocidades de propagación en la parte porosa (VL1) y en la compacta (VL2) de las piezas analizadas, con un cociente promedio entre ambas de 0.8, lo cual estaría motivado por la evidente mayor presencia de aire y menor densidad de la parte porosa. Éste tipo de palpador permite calcular la velocidad de propagación del ultrasonido de manera independiente para cada zona.
- Existen diferencias significativas entre las velocidades dependiendo del eje de medida. Según los ejes transversal y longitudinal (factor 0.6-0.8).
- También existen diferencias significativas entre las velocidades obtenidos con los palpadores cilíndricos y cónicos (factor 0.8-0.9).
- Existe una correlación (Pearson) entre los valores obtenidos con ambos palpadores en todos los ejes de medidas, con coeficientes de regresión en torno a 0.6-0.8, lo que nos permitiría utilizar cualquiera de los dos tipos de palpadores en nuestros estudios sobre propiedades mecánicas de las cuernas, aunque en el caso de los cónicos sería posible, tal como hemos señalado, diferenciar las partes porosa y compacta de las mismas.

REFERENCIAS

Clutton-Brock T H, Guinness FE, Albon SD (1982) Red deer: behavior and ecology of two sexes. Edimburg University Press, Edimburg, United Kingdom.

Chapman DI (1975) Antlers—bones of contention. *Mamm Rev* 5:121–72.

Ulrich D, van Rietbergen B, Laib A, Ruegsegger P (1999) The ability of three-dimensional structural indices to reflect mechanical aspects of trabecular bone. *Bone* 25:55–60.

Njeh CF, Boivin CM, Langton CM (1997) The role of ultrasound in the assessment of osteoporosis: a review. *Osteoporos Int* 7:7–22
Pain HJ (1985) The physics of vibrations and waves. Chichester: Wiley.

Gluer CC, Wu CY, Genant HK (1993) Broadband attenuation signals depend on trabecular orientation: an in-vitro study. *Osteoporosis Int* 3:185-91.

Tavakoli MD, Evans JA (1991). Dependence of the velocity and attenuation in bone on the mineral content. *Phys Med Biol* 36:1529-37.

Bonfield W, Tully AE (1982) Ultrasonic analysis of the Young's modulus of cortical bone. *J Biomed Eng* 4: 23–27.

Hartman C, Shamir R, Eshach-Adiv O, Iosilevsky G, Brik R (2004) Assessment of osteoporosis by quantitative ultrasound versus dual energy X-ray absorptiometry in children with chronic rheumatic diseases. *J Rheumatol* 31(5):981-985.