

Herraje innovador con aleación de cobre

Haciendo fe de la antigua expresión "sin casco no hay caballo" el herraje constituye la mejor herramienta para la conservación de los cascos en los equinos que -domesticados por el hombre- desempeñan algún tipo de actividad para éste.

El herraje de los cascos se efectúa en forma periódica y es un proceso que debe ser realizado por un herrador calificado y bajo la supervisión de un médico veterinario especialista, para mantener una adecuada conformación y balance de los cascos, y permitirle desarrollar las funciones a las que esté destinado.

La herradura es una pieza de metal con forma semicircular que se fija al casco por medio de clavos. Éstas pueden ser de

diferentes materiales, pero mayoritariamente se utiliza el hierro para su elaboración debido principalmente, a la facilidad para encontrarlo en el mercado y a su precio más económico. No obstante, presenta algunas desventajas como la poca atenuación de fuerzas que se desprenden del hierro al impactar contra el suelo en el apoyo, pudiendo afectar la integridad de las estructuras anatómicas contenidas en el interior de la cápsula del casco y otras a nivel inmediatamente superior.

No obstante el innegable efecto protector del herraje sobre el casco, existe una serie de inconvenientes que pueden afectar seriamente la integridad de éste y en consecuencia la salud y la vida útil del animal. En primer



Mario N. Acuña Bravo
Médico Veterinario
Área de Medicina y Cirugía de Equinos
Universidad de Chile
macuna@uchile.cl



Carolina Carvajal Meneses
Licenciada en Medicina Veterinaria
Memorista
Facultad de Ciencias Veterinarias y Pecuarias
Universidad de Chile
carovete@gmail.com





Foto N° 1. Cultivo de muestra de casco con herraje de aleación de cobre en medio MYP para detección de *Bacillus* sp. (7 ds.).

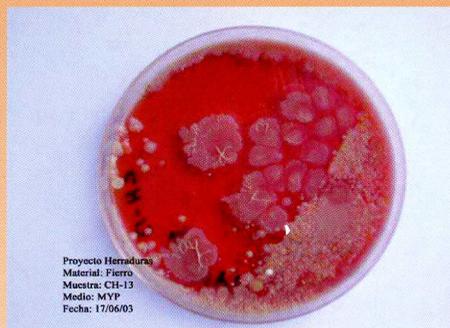


Foto N° 2. Cultivo de muestra de casco con herraje de hierro en medio MYP para detección de *Bacillus* sp. (7 ds.).

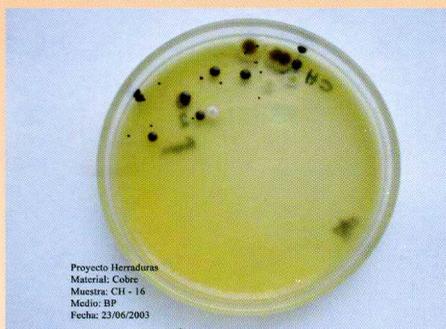


Foto N° 3. Cultivo de muestra de casco con herraje de aleación de cobre en medio Baird Parker para detección de *Staphylococcus* sp. (7 ds.).

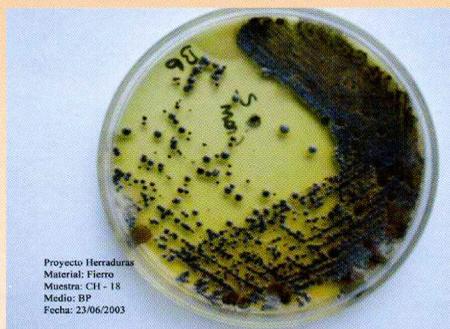


Foto N° 4. Cultivo de muestra de casco con herraje de hierro en medio Baird Parker para detección de *Staphylococcus* sp. (7 ds.).

lugar, el adosamiento de una estructura como la herradura, genera espacios absolutamente inaccesibles a las rutinas de limpieza que a diario se deben efectuar en el casco, con lo cual se suele producir desarrollo de bacterias y hongos, lo cual se ve favorecido por el continuo contacto con fecas y orina, especialmente en aquellos individuos que permanecen estabulados por largas horas en su pesebrera o por las inclemencias medioambientales en el caso de aquellos que permanecen a la intemperie. A lo anterior se agrega que una errada técnica aplicada al despalme y al posterior herraje puede provocar una mala conformación del casco y puede ser la causa de presentación de diversas patologías músculo-esqueléticas que suelen transformarse en causas predisponentes y determinantes en el acortamiento y/o cese de la vida competitiva, recreativa o laboral de los equinos.

En el presente estudio en ejecución, se abordan las dos principales aristas de la problemática del herraje, las complicaciones microbiológicas de su empleo y los factores inherentes al trauma que su uso conlleva, especialmente cuando la técnica del herraje omite o no efectúa en forma adecuada algún aspecto -por mínimo que éste

sea- en el despalme del casco o en la preparación y clavado de la herradura; todo mediante el empleo de herraduras confeccionadas a partir de una aleación de cobre al 83.5%.

Los alentadores resultados obtenidos -en lo referido a la problemática microbiológica primero y a los efectos biomecánicos después- son presentados en este trabajo como evidencia certificada de lo que constituye una innovación tecnológica que permitirá mejorar las condiciones de vida de los equinos y prolongar significativamente su uso recreativo, deportivo y laboral. Una mínima retribución a todo lo que esta noble especie le ha entregado a lo largo de siglos a la humanidad.

Propiedades bactericidas y fungicidas

En un estudio efectuado con el Laboratorio de Microbiología del Instituto de Nutrición y Tecnología de los Alimentos (INTA) de la Universidad de Chile sobre el empleo de herraduras confeccionadas con una aleación de cobre (83.5%), se demostró que con ello se logra una drástica reducción de los problemas de putrefacción en los cascos de los equinos, al generar una constante liberación de sales de cobre, las

cuales actúan sobre las bacterias aeróbicas y anaeróbicas que colonizan estas estructuras, como igualmente sobre los hongos que contribuyen al problema, y que en conjunto generan un serio daño estructural que frecuentemente imposibilita al equino de desarrollar su actividad habitual.

Esta primera fase del proyecto fue parte importante de las consideraciones mediante las cuales la Agencia de Protección Ambiental de los Estados Unidos de N.A. (EPA por nombre en inglés), certificó al cobre como primer metal bactericida, en marzo de 2008.

Con el objetivo de evaluar la actividad antibacteriana de herraduras de aleación de cobre sobre los agentes que causan patologías en el casco, se herraron 40 caballos de un centro ecuestre del Ejército de Chile en la Región Metropolitana; 20 experimentales herrados con aleación de cobre y 20 controles herrados con hierro tradicional; los 40 animales se mantuvieron en igualdad de condiciones de estabulación, trabajo y aseo diario. Se identificó y cuantificó cualitativamente la presencia de agentes aerobios y anaerobios mediante muestras tomadas en la suela de cada casco. En el grupo herrado con aleación de cobre hubo escaso desarrollo microbiano, sólo dos de 20 (10%) tenían *Klebsiella* mientras que en el grupo control (hierro) fue abundante, 19 de 20 (95%) mostraron presencia de una o más Enterobacteriaceas, con *E. coli* y *Proteus* (60%). En el caso de *Bacillus* sp, fue detectado en el grupo experimental en nueve de 20 (45%) en escasa cantidad, mientras que en el grupo control se aisló en 15 de 20 (75%) con abundante desarrollo. *S. aureus* sólo se detectó en el grupo con herraje de hierro. Con respecto a los anaerobios *C. novyi* fue aislado en el grupo experimental en escasa cantidad mientras que, en el grupo control *C. perfringens* en abundante cantidad. *B. gracilis* fue identificada en ambos grupos, con menor desarrollo en el grupo con aleación de cobre.



Foto N° 5. Casco severamente afectado por putrefacción en suela, ranilla y línea blanca.

En cuanto a hongos filamentosos y levaduriformes, la presencia de hongos filamentosos se demostró en regular cantidad en todas las muestras provenientes del grupo control (100%), en cambio se detectó menor frecuencia, 13 de 20 (65%) de los caballos herrados con aleación de cobre; respecto a las levaduras, estos microorganismos se aislaron en el casco de sólo uno de los caballos herrados con hierro.

Como efecto práctico del empleo de herraduras de aleación de cobre se observa una drástica reducción de bacterias y hongos, con una notable mejoría en la condición estructural del casco y la detención de los procesos de putrefacción con su característico olor. No obstante la inmediata acción antimicrobiana que el herraje con aleación de cobre desarrolla desde un primer momento de empleo, dado lo demoroso que resulta el proceso de reparación de los cascos, el uso preventivo de este herraje innovador resulta más que recomendable.



Foto N° 8 Clavos y herradura.



Foto N° 6. Herradura de aleación de cobre

Esta parte del estudio fue financiado por ProcoBRE Chile miembro de la International Copper Association (ICA - New York), entidad que promueve el uso del cobre en reemplazo de otros materiales, mediante estudios de investigación que avalen y justifiquen tal proceder.

Finalmente, y ante la posibilidad de un aumento en los niveles séricos de cobre, con la toxicidad que ello pudiera implicar, se efectuó una determinación de este elemento en cada uno de los 40 equinos que conformaron el estudio; analizadas las muestras de suero, no mostraron diferencias en el contenido de cobre, esto es, los caballos herrados con aleación de cobre y los caballos herrados con hierro tenían promedios similares de cobre sérico, 97.5 y 97 ug/dl respectivamente.

Corrosión galvánica

Siempre que dos o más metales no similares estando sumergido en un medio conductor



Foto N° 9. Examen estructural de las 48 herraduras en estudio.



Foto N° 7. Abundante liberación de sales de Cobre desde el inicio del uso de la herradura.

como es el agua, o con alto contenido de ésta, se produce una reacción química, haciendo que se establezca una corriente eléctrica. El flujo de dicha corriente eléctrica hace que el metal, químicamente más activo (más blando), se erosione.

Se ha demostrado que la corrosión galvánica es un fenómeno benéfico en el empleo de herraduras de aleación de cobre, por cuanto favorece e incrementa la liberación de sales de cobre. No existe riesgo de que esta corrosión genere un agrandamiento de los orificios para el clavado, por cuanto los clavos tendrían que permanecer por más de un año sujetando las herraduras para que el orificio de clavado llegara a ser más grande que la cabeza del clavo y así permitir que la herradura se caiga. Por lo anterior es que pudiendo desarrollarse clavos de cobre, se prefiere mantener el uso de clavos convencionales para aprovechar el efecto benéfico del fenómeno de corrosión galvánica.

Propiedades de absorción de impacto

El empleo de herraduras de aleación de Cobre (83.5%) reduce significativamente los traumas que se generan luego de cada impacto del herraje contra el suelo. Ello debido a las mejores características elásticas del cobre y sus aleaciones, con respecto al hierro con que tradicionalmente se han confeccionado las herraduras. Esta característica de las aleaciones de Cobre logra que una importante parte de las vibraciones (energía de reacción) que se generan al impactar la herradura contra el suelo, se disipen dentro de la herradura y se minimice la vibración que pasa al casco y a las otras estructuras del pie del equino.



Foto N° 10. Kit de tres aerosoles. Limpiador (Crick 110), Penetrador (Crick 120) y Revelador (Crick 130).

Este tipo de traumas son los responsables de numerosas lesiones irreversibles que derivan en la prematura incapacidad de muchos equinos para continuar desarrollando su actividad habitual.

Un estudio de "Análisis Comparativo del Comportamiento de las Herraduras de Hierro y de aleación de Cobre" efectuado con el Instituto de Investigación y Ensayo de Materiales (Idiem) de la Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas de la Universidad de Chile, permitió determinar que la aleación de cobre utilizada en el desarrollo de este herraje innovador posee la suficiente resistencia estructural para resistir, en primer lugar, el proceso de confección de la herradura (ya sea industrial o artesanal); luego, su adaptación al casco en forma previa a su clavado y, finalmente, el impacto reiterado sobre el suelo, y el desgaste que supone su uso durante un período

de 45 días. Adicionalmente, se herró un grupo de doce caballos de uso deportivo de un centro ecuestre del Ejército de Chile, a seis de los cuales se les herraron sus manos y patas derechas con aleación de cobre y con hierro sus manos y patas del lado izquierdo; los otros seis se herraron de forma inversa con cobre al lado izquierdo y hierro al lado derecho. Al cabo de 45 días de trabajo normal con actividad promedio de 90 minutos diarios, las herraduras de hierro mostraron un desgaste promedio, comparando el peso inicial con el peso final de cada una, de un 2.75% en las manos y de un 6.09% en las patas; para las herraduras de aleación de cobre, estos valores fueron de un 6.71% y 10.33%, respectivamente. En este último caso, en las herraduras de aleación de cobre, tal desgaste no afectó la resistencia de éstas y a su remoción mantenían una adecuada estructura para continuar siendo utilizadas.

Posterior a su remoción, todas las herraduras de aleación de cobre y las de hierro, fueron sometidas a un examen macroscópico por medio de un kit de tres aerosoles para estudio estructural de metales (limpiador, líquido penetrador y agente revelador), no observándose daños estructurales como grietas o fisuras al interior de cada herradura.

Con el Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la Universidad de Santiago se desarrolló un modelo computacio-

nal para determinar el porcentaje de atenuación y transmisión de impacto. Este estudio fue realizado con la finalidad de determinar la atenuación y transmisión de fuerzas que produce cada herradura durante la fase de apoyo en la superficie del suelo (a la fecha se cuenta con el informe preliminar). Para lograr esto, el estudio se centró en determinar los traumas producidos hasta la articulación interfalángica distal, en donde se incluye la cápsula del casco y sus estructuras anatómicas internas, principalmente, las óseas (tercera falange y huesos sesamoideos distales) y articulares, debido a que son las estructuras que sufren mayor trauma en cada impacto.

Para poder realizar este estudio, se desarrolló un modelo matemático denominado "Modelo de Impacto" (Figura 4), basado en el "Sistema Masa Resorte Amortiguador", que posteriormente fue implementado en forma de animación tridimensional con la ayuda de un programa computacional llamado "MSC. Visual Nastran 4D™4", desarrollándose de la siguiente manera: se consideraron tres componentes principales, la herradura (X0); el casco (X1) y el resto de la masa caballar (X2). Entre X0 y X1, se encontraron dos constantes que corresponden a la rigidez de la herradura (K1) y amortiguación de la herradura (C1). Luego, entre X1 y X2, se encontraron dos constantes que pertenecen a la rigidez de la cápsula del casco y estructuras óseas (K2) y amortiguación de la cápsula del casco y estructuras óseas (C2). Cada uno de estos componentes están unidos mediante resortes y amortiguadores, transmitiendo fuerzas desde un elemento al otro. Éstas fueron cuantificadas y así se determinó el comportamiento comparativo en forma porcentual.

Antes de desarrollar este estudio computacional, se debió determinar factores mecánicos como: módulo de elasticidad, coeficiente de restitución, y constantes de amortiguación y rigidez de las herraduras, cápsula del casco y estructuras óseas; y además, factores geométricos como: masa caballar, peso de la cápsula del

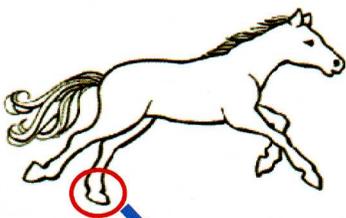


Figura N° 1. Modelo de Impacto. (X0) Herradura; (X1) Casco; (X2) Resto de la masa caballar. (K1) Constante de rigidez de la herradura; (K2) Constante de rigidez de la cápsula del casco y estructuras óseas. (C1) Coeficiente de amortiguación de la herradura; (C2) Coeficiente de amortiguación de la cápsula del casco y estructuras óseas.

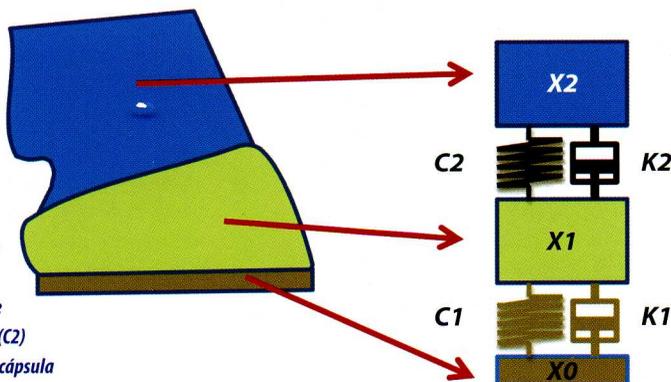
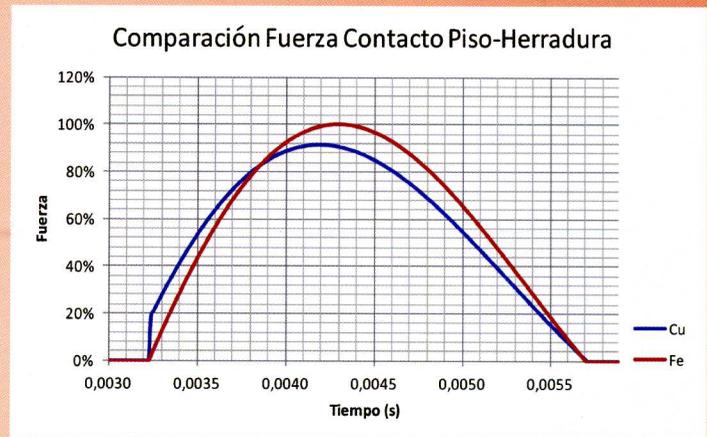


Gráfico N° 1. Determinación del porcentaje (%) de fuerza de reacción producido por el contacto entre la superficie del suelo y cada tipo de herradura, aleación de cobre (Cu) y hierro (Fe).



casco con todas sus estructuras internas, peso de cada herradura, y longitud y diámetro del casco y de los huesos. Los valores de cada una de estas constantes (rigidez y amortiguación) han sido determinados a partir de los distintos factores mecánicos, los que fueron modificados de acuerdo a su geometría.

Luego de ingresar estos datos, se realizó una caída de los cuerpos sobre una superficie totalmente rígida, y con esta acción se pretendió evaluar la respuesta al impacto entre las dos herraduras; se consideró para estos estudios el tiempo máximo de apoyo del casco contra el suelo.

Luego, una vez que el programa computacional resolvió la ecuación matemática del "Sistema Masa Resorte Amortiguador", se registraron los resultados de este impacto en tres gráficos. Cada gráfico representa la secuencia de marcha del caballo, determinando el tiempo de máximo apoyo (fuerza máxima). En el gráfico llamado "Fuerza Contacto Suelo-Herradura", se desarrolló con el objetivo de comparar el porcentaje de fuerza de impacto producido entre las dos herraduras. Luego, fue desarrollado otro gráfico llamado "Fuerza Herradura-Casco", con la finalidad de comparar el porcentaje de fuerzas transmitidas hacia la cápsula del casco y estructuras óseas, y el porcentaje de fuerza atenuada por cada herradura en estudio. Por último, mediante un gráfico llamado "Fuerza Casco- Resto Masa Caballo", se comparó la fuerza que se transmite hacia el resto de la masa caballar, y que comprende desde la articulación interfalángica proximal hacia arriba.

Gráfico N° 2. Determinación del porcentaje (%) de fuerza de reacción transmitida y atenuada por cada herradura (Cu/Fe).

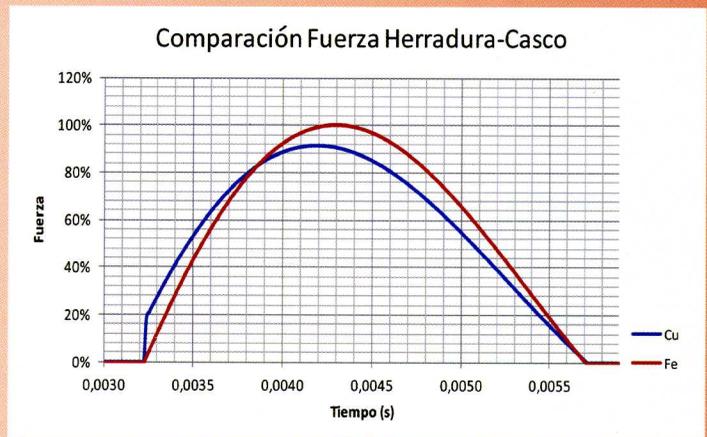


Gráfico N° 3. Determinación del porcentaje (%) de fuerza de reacción transmitida hacia el resto de la masa caballar, por cada tipo de herradura (Cu/Fe).

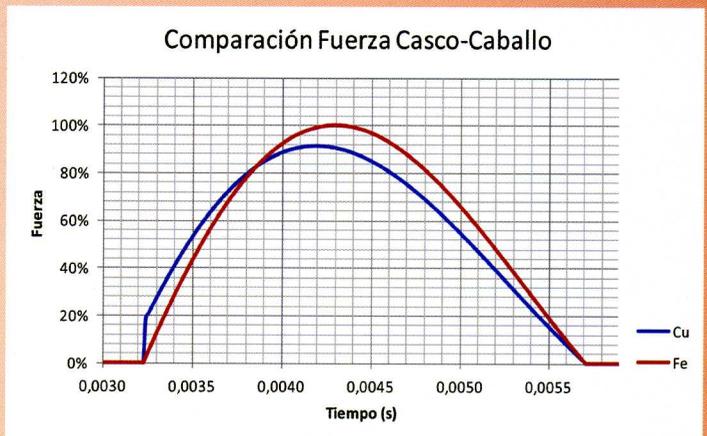


Tabla N° 1

Resumen de los valores máximos obtenidos en cada uno de las interacciones de los cuerpos.

	Piso-Herradura	Herradura-Casco	Casco-Resto (masa caballo)
Fuerza Máxima Cobre	91.44	91.46	91.47
Fuerza Máxima Hierro	100	100	100
% diferencia fuerza máxima	8,56%	8,54%	8,53%

En la Tabla N° 1 se muestra un resumen de las fuerzas máximas (tiempo de máximo apoyo) de cada herradura hacia los tres componentes del modelo.



Con este estudio, se buscó cuantificar en forma comparativa el efecto estructural que produce el uso de una herradura basada en una aleación de cobre en comparación a otra de hierro, conociendo las fuerzas que se generan en ambas herraduras bajo una misma condición de movimiento, y con esto demostrar que la herradura de aleación de cobre, luego de impactar contra el suelo en el apoyo de cada paso, transmite una menor cantidad de fuerza hacia las estructuras, principalmente óseas y articulares, que se encuentran dentro e inmediatamente sobre el casco de los caballos.

En el Gráfico N° 1 se puede observar que la herradura de aleación de cobre transmite una menor fuerza de impacto, alrededor de un 9% (8,56%), en comparación con la herradura de hierro. Por lo que, esta herradura logra atenuar un 8,56% de la fuerza de impacto.

En el Gráfico N° 2 se puede observar que la herradura de aleación de cobre transmite una menor cantidad de fuerza hacia la cápsula del casco y estructuras anatómicas internas, debido a que presenta una mayor atenuación, de un 8,54%, en comparación con la herradura de hierro.

En el Gráfico N° 3 se puede observar que la herradura de aleación de cobre transmite un 8,53%

menos de fuerza hacia el resto de la masa ballar, correspondiendo desde la articulación interfalángica proximal hacia arriba.

Una vez realizada la animación tridimensional en base a un modelo matemático, adaptado a las condiciones reales y con la ayuda de un programa computacional en particular, se logró establecer mediante gráficos los resultados.

El empleo de herraduras de aleación de cobre presenta la característica de poseer una mayor atenuación y menor transmisión de fuerza de impacto hacia los componentes del modelo, alrededor de un 8,56%, en comparación con la herradura de hierro, observándose una leve atenuación de la magnitud de fuerza a medida que avanza en la unión de los cuerpos.

El valor de 8,56% de atenuación de la fuerza de reacción es significativo, porque la locomoción del caballo corresponde a una secuencia cíclica que se prolonga por un tiempo significativo. Esta atenuación reduce significativamente los traumas de baja intensidad y repetitivos en el tiempo que se generan luego de cada impacto de la herradura contra el suelo. Esto se debe, principalmente, a las mejores propiedades mecánicas que presenta, siendo fundamental la gran capacidad de elasticidad, amortiguación

y ductilidad del cobre y sus aleaciones, con respecto al hierro con que tradicionalmente se han confeccionado las herraduras. Estas características de las aleaciones de cobre logran que una gran parte de las fuerzas de reacción que se generan luego del impacto, se mitiguen por la herradura y por lo tanto, se minimicen las fuerzas que, como reacción, se transmiten hacia el casco y hacia otras estructuras anatómicas del equino, logrando disminuir numerosas lesiones irreversibles que derivan en la prematura incapacidad de muchos equinos para continuar desarrollando su actividad deportiva.

Este porcentaje de atenuación es independiente de las condiciones físicas y ambientales en que se encuentre el ejemplar, debido a que será proporcional a estas variables, porque las propiedades mecánicas de los metales y de las estructuras anatómicas no cambian.

Si bien, las herraduras de aleación de cobre presentan una menor resistencia al desgaste debido a su alta elasticidad y flexibilidad, su dureza y durabilidad son similares a las herraduras de hierro, lo que les confiere grandes cualidades para ser utilizadas en cualquier tipo de terreno o ejemplar. Asimismo, al no presentar ningún tipo de daño estructural, al igual que el hierro, queda demostrado que esta innovadora herradura a base de cobre, presenta una alta resistencia a distintas tensiones, buena dureza y tenacidad, por lo que puede ser utilizada en igualdad de condiciones que el hierro.

Adaptabilidad

Las herraduras de aleación de Cobre son completamente adaptables a la condición de herraje especial o a un uso ortopédico, mediante soldadura al arco con electrodos para cobre o con oxígeno, pudiendo de esta forma ser transformadas a la totalidad de los modelos requeridos para corregir problemas de conformación, manejos terapéuticos o adaptarse a la función que desempeña el equino.

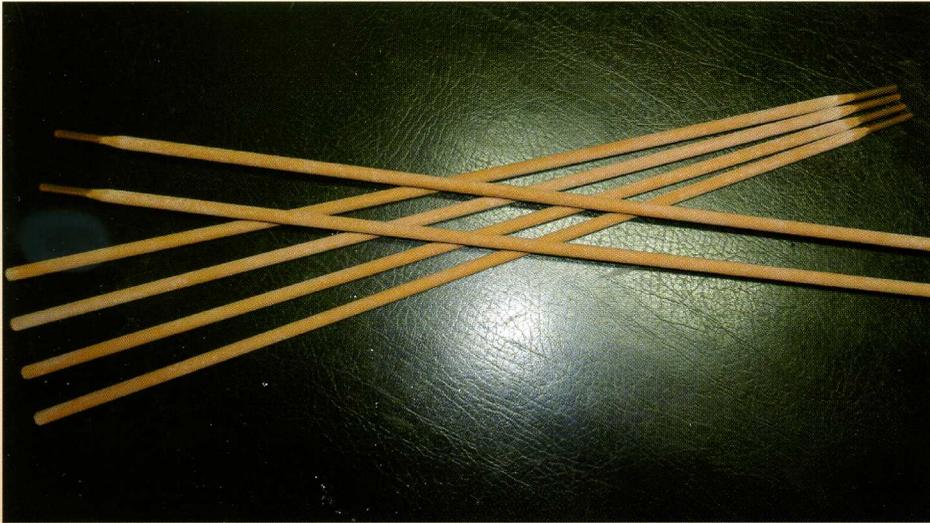


Foto N° 11. Barras de soldadura al arco para cobre y aleaciones de este metal.

Ventajas adicionales del herraje con aleación de cobre

- **Reciclabilidad:**
100% reciclables, con retribución económica a la devolución, en atención al precio internacional del cobre.
- **Protección del medio ambiente:**
En el herraje en caliente, requieren una menor aplicación térmica que el hierro (450° v/s 750° C), lo que influye favorablemente en la reducción de la Huella de Carbono.
- **Maleabilidad y rapidez:**
Pueden ser trabajadas EN FRÍO, sin que ello

implique una menor resistencia estructural respecto al hierro tradicional, permitiendo una notable economía de tiempo en cada herraje y ahorro energético (gas o carbón).

Como parte integral de este proyecto de estudio de nuevas aplicaciones del cobre, están en desarrollo una gama de productos adicionales basados en este metal para uso ecuestre

- **Pasta para cascos :**
Producto formulado para la protección de los cascos, en base a Sales de Cobre, vehiculizado en elementos humectantes,

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Ardila, W; Chaves, J; Quintero, E. Simulación de un sistema masa resorte amortiguador con circuitos electrónicos [paper]. Scientia Et Technica. 2009 Aug; 42(5): 220-225.
- Baxter G.M. Adams and Stashak's Lameness in Horses. Ed. Wiley - Blackwell. 2011.
- Berríos, a; martínez, r; peredo, a; baeza, E. Errores técnicos en el herraje de equinos fina sangre chilenos en la provincial de Ñuble, Chile. Avances en Ciencias Veterinarias. 1995; 10(1).
- Clayton, H. Ground Reaction Forces. The Dynamic Horse: A Biomechanical Guide to Equine Movement and Performance. Michigan, USA: Sport Horse Publications, 2004. p. 195-216.
- Codelco.com [Internet]. Chile: Codelco: Usos del cobre, Inc.; c2010-11 [actualizado el 12 de febrero del 2011]. Disponible en: http://www.codelco.com/cu_zonacobre/ usos.asp
- IDIEM. Instituto De Investigación y Ensayo de Materiales. Universidad de Chile. Análisis Comparativo del Comportamiento de las Herraduras de Hierro y de aleación de Cobre, a través del ensayo de Impacto Charpy y del Desgaste Abrasivo. 2010.
- Martínez, P; Azuaga, M. Medición del modulo de elasticidad de Young [paper]. Laboratorio IV, Departamento de Física, UBA. 1997.
- Rivas, P; Acuña, M; Figueroa, A; Troncoso, M; Ruiz, M; Figueroa, G. Estudio de la Actividad Antimicrobiana de Herraduras de Cobre en la Patología Infecciosa del Casco del Caballo. XXV Congreso Chileno de Microbiología, 2003 Nov 24-28, Antofagasta, Chile.
- Thomason, J. Review of Some Past, Present and Possible Future Directions in Biomechanics of the Equine Hoof [paper]. IVIS. 2009.

y adicionado con otros agentes antimicrobianos.

- **Atalajes textiles y vestuario con microfibras de cobre:**
Vendas de descanso, mandiles, capas, vestuario deportivo, etc.

ENTIDADES PARTICIPANTES

