

# Innovación tecnológica: dispositivo para el rodillado, en tornos horizontales, de los muñones de ejes.

L. Martín\* y A. García

Facultad de Electromecánica,  
Universidad de Camagüey “Ignacio Agramonte Loynaz” (UC)  
Camagüey, Cuba.  
e-mail: [luis.martin@reduc.edu.cu](mailto:luis.martin@reduc.edu.cu) [asdrubal.garcia@reduc.edu.cu](mailto:asdrubal.garcia@reduc.edu.cu)

*(Recibido/received: 19-Septiembre-2011; aceptado/accepted: 02-Marzo-2012)*

## RESUMEN

Consiste en el diseño de un dispositivo para el rodillado, adaptado a torno horizontal, para la deformación plástica superficial, mediante la aplicación de rodillos, para el reacondicionamiento de ejes dañados en los muñones producto del rozamiento durante su trabajo. Hay ejes que trabajan en condiciones de gran contaminación por suciedades y a bajas velocidades soportando altas solicitaciones, en contacto con cojinetes de deslizamiento lubricados por salpicadura. Después de dos o tres años de trabajo tienen que retirarse de explotación debido al alto deterioro de los muñones, a pesar de que interiormente no presentan ningún síntoma de fatiga. Después de realizarle el tratamiento superficial, con el dispositivo de la invención, tardan el doble de tiempo para que aparezcan los síntomas de deterioro. Se diseñó, fabricó y puso en explotación un dispositivo adaptado al torno horizontal. Se aplicó para la recuperación de los ejes de los carros jaula ferroviarios para el transporte de la caña de azúcar. El dispositivo garantiza la calidad de acabado superficial y resistencia al desgaste, sin afectar las exigencias de la seguridad ferroviaria.

**Palabras claves:** rodillado de superficies cilíndricas; deformación plástica superficial.

## ABSTRACT

The design consists of a device, adapted to a horizontal lathe, for the surface plastic deformation using a roller for refurbishing damaged shafts in the core of the product by friction during operation. These are shafts working under conditions of high contamination by dirt and low speeds to endure high loads, in contact with sliding bearings lubricated by splashes. After two or three years of work they have to be withdrawn from operation due to the high deterioration of the stumps, while internally they have no symptoms of fatigue. After applying the surface treatment to the shaft, the for symptoms of deterioration appear during a period of time which is twice, respect the normal one. The device was designed, manufactured and put into operation adapted to the horizontal lathe. The device was implemented in the recuperation of the axels for the cage cars in the railway transportation of sugar cane. It guarantees the quality of the surface finish and the wear resistance, without affecting railway safety requirements.

**Key words:** rolling of cylindrical surfaces; surface plastic deformation.

---

\* Autor para la correspondencia

## INTRODUCCIÓN

El mayor volumen de trasiego de la caña de azúcar hacia las fábricas azucareras (centrales) se realiza en distintas partes de América Latina, como Cuba, a través del transporte ferroviario. Los equipos de arrastre especializados para dicha actividad son denominados carros jaulas, siendo características de esta forma de transportación grandes cargas (30 t o más) y bajas velocidades (menos de 60 km/h), por lo que se admite aún el uso de cojinetes de contacto plano acoplados a los muñones de los ejes ensamblados a las ruedas (Estrada, 1983).

En la literatura especializada no aparecen menciones que se refieran a la recuperación de este tipo de eje, sino que se dedican a variar el diseño buscando determinadas ventajas, como son aumento de velocidad y capacidad de carga, mejor lubricación y mejor distribución de las cargas actuantes.

La revisión de las patentes ofrece similar situación y todas se dirigen a aspectos del diseño, la lubricación, la elevación de la resistencia al desgaste o a los materiales que intervienen en la fabricación de distintas partes, pero ninguna dirigida a la recuperación del eje dañado. Al parecer esto está causado por el hecho de que prácticamente toda la literatura y patentes se refieren a ejes para equipos de arrastre ferroviario que trabajan en condiciones de alta velocidad. También se puede concluir del análisis de la información existente y recopilada y de las patentes que el énfasis, que se hace para este tipo de piezas, se hace sobre la fabricación y no sobre la recuperación de ejes que están en explotación y esto explica la carencia de trabajos en esta dirección. Por eso, en la presente innovación se hace especial referencia a que la misma es aplicable para ejes de carros ferroviarios que trabajan a bajas velocidades (menos de 60 km/h) y grandes cargas (por encima de 30 t), como es el caso típico de los carros jaula para la transportación de la caña de azúcar u otras producciones agrícolas Fig. 1, donde el sistema de rodamiento utilizado sea el de contacto por deslizamiento. En consonancia con esto tampoco se hace mención a la utilización o invención de dispositivos para la realización de tratamientos de acabado superficial por deformación plástica con aplicación de rodillos (rodillado) de estos ejes en tornos horizontales.

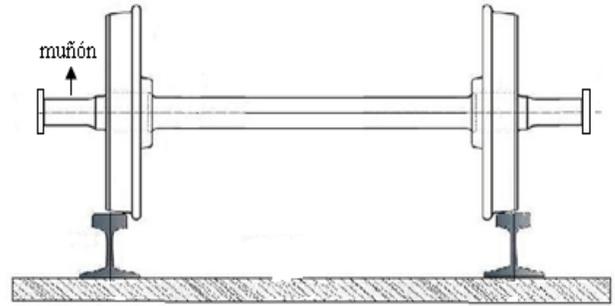


Fig. 1 Eje acoplado al par de ruedas

La revisión de patentes realizada utilizó tanto la revisión por internet de la Oficina de Patentes de los Estados Unidos de América como la española Spacenet encontrando que no existen patentes sobre dispositivos para facilitar la recuperación de ejes para equipos de arrastre del transporte ferroviario.

## METODOLOGÍA

Los ejes de los carros jaula ferroviarios para el transporte de la caña de azúcar, sufren daños en la superficie de los muñones durante su explotación, debido a la fricción que se genera entre esta superficie y el cojinete de deslizamiento, este proceso no está exento de la presencia de partículas extrañas (polvos y otros), además de las partículas metálicas que se incorporan producto del desgaste de las superficies del par tribológico.

Durante la revisión periódica que se realiza a los pares de ruedas ferroviarios se retiran los ejes dañados. A los mismos se les realiza una revisión por ultrasonido con la finalidad de detectar posibles grietas de fatiga. Los ejes que se comprueban con cierta presencia de fatiga son desechados y enviados como chatarra hacia los centros recolectores para las acerías. Los que no, se someten a un proceso de cilindrado en un torno horizontal a fin de eliminar defectos superficiales, como: ralladuras, quemaduras o adherencia del material de la base del cuerpo del cojinete (bronce) por soldadura en frío.

Varios son los métodos que pueden emplearse para mejorar el acabado superficial, sin embargo peso y dimensiones de la pieza a tratar. Aproximadamente el 95% de los ejes que salen de explotación por las causas antes mencionadas viene acoplados a los pares de ruedas Fig. 1, esta situación es otro de los inconvenientes presente, al no contarse con una máquina herramienta especializada para las operaciones de rodillado y que

cuenta con los parámetros tecnológicos adecuados para el montaje de este tipo de pieza Fig. 1.

Una de las formas muy empleadas de aumentar la universalidad de las máquinas herramienta es la fabricación de dispositivos que permitan realizar otras operaciones, sin que se ponga en peligro los requisitos técnicos que se exigen.

Por lo que se decide la fabricación de un dispositivo, que tuviera como principio de funcionamiento la deformación plástica por rodillado para lograr disminuir la rugosidad, con el objetivo de minimizar el desgaste adhesivo – abrasivo que se manifiesta en el par eje – cojinete y además provocar un aumento de la resistencia a la fatiga superficial en el muñón como consecuencia de la aparición de tensiones residuales a compresión, posibilitando un alargamiento del período de explotación del eje.

Este método consiste en provocar una deformación plástica en la superficie de la pieza, a partir de un desplazamiento del material de los picos o crestas a los valles o depresiones de las micro irregularidades superficiales, a consecuencia de la aplicación de una carga a compresión a la superficie a tratar a través de una herramienta (Rose, 2003).

Este método ha sido muy estudiado por varios autores y su utilización ha ido ganando espacio en los procesos de recuperación y reacondicionamientos de piezas. Autores como (El Axir, 1988) hacen referencia dentro del proceso de deformación plástica empleando rodillo, al comportamiento de la dureza y la rugosidad superficial bajo el efecto de la fuerza, el número de pasadas de la herramienta, el avance y la frecuencia de giro de la pieza. El propio autor recomiendan emplear fuerzas superiores a 250 N para lograr un buen acabado superficial y superiores a los 350 N para obtener una alta dureza y propone además valores de avance entre 0,06 y 0,2 mm/rev y de tres a cinco pasadas de la herramienta, así como un rango de frecuencia de giro de 150 a 230 rev/min. Los resultados obtenidos en la rugosidad superficial (Ra) están enmarcados en un rango de 0,5 a 3  $\mu\text{m}$ .

Otros autores como (Michael, 2002) demuestra la influencia positiva que sobre la calidad superficial presenta el material del rodillo y el material de la pieza a tratar.

Para el diseño del dispositivo de la invención, se tuvieron presente varios factores: dimensiones del torno,

facilidad de montaje y desmontaje del dispositivo en el torno, facilidad de montaje y desmontaje del eje en el dispositivo, rigidez necesaria para resistir los esfuerzos que se generan durante el proceso, buena maniobrabilidad, selección de materiales para la fabricación de cada una de sus partes y costos. Dentro de estos factores uno muy importante es el de la selección de los materiales, pues este tiene en cuenta la solicitud de servicio a que va estar sometida cada una de las partes del dispositivo. Para la base, elemento que interactúa directamente con las guías transversales y los soportes inferiores y superiores, además de las bisagras, se utilizó como material acero AISI 1010. Para el caso de los rodillos, para los que se exige una dureza por encima de los 60 HRC, de acuerdo a las recomendaciones planteadas por (Fernández, 1987), se seleccionó un acero herramental AISI M2 y para los demás elementos se seleccionó el acero AISI 1030.

Para evitar grandes reacciones durante el proceso de rodillado y para evitar el error de ovalidad, posible a aparecer cuando se usa un rodillo, se utilizaron tres rodillos (3) dispuestos uno de otro a 120° de acuerdo a lo planteado por (Fernández, 1987).

Para la colocación de este dispositivo se requiere de una sujeción más rígida por lo que se aprovechan las colas de milano del carro transversal. Con esto se garantizan los parámetros geométricos de explotación del eje. El resto de los parámetros de diseño del dispositivo permiten su adecuación al torno.

Con esta invención se garantiza la fluidez operativa del taller al realizarse la operación de rodillado inmediatamente después del maquinado (cilindrado) de los ejes en el torno durante su recuperación, sin necesidad de cambiar de máquina, ni aumentar los tiempos de maquinado.

En la Fig. 2 aparece una vista frontal del dispositivo de rodillar. En la Fig. 3 una vista lateral y en la Fig. 4 la vista de corte del torno con la ubicación del dispositivo.

En la Fig. 2 se observa el dispositivo de la invención formado por un cuerpo inferior (1) que es el encargado de sostener los pasadores de rodillos (2) que se deslizan por dos ranuras dispuestas en el mismo; el volante de ajuste (3) ejerce la fuerza de empuje sobre el cuerpo superior (8) y gira en el tornillo de ajuste (6) instalado en el cuerpo inferior mediante acople con el pasador (11); los cuerpos inferior (1) y superior (8) se unen mediante los pasadores de articulación (4) y las placas de articulación (10); el sistema de ajuste de rodillos (5)

es el encargado de ajustar los rodillos desplazables a las dimensiones del eje y se mueven por las ranuras situadas en el cuerpo inferior (1); en el cuerpo superior (8) se encuentra instalado un rodillo no ajustable (12) que sirve para ejercer la fuerza de deformación sobre el eje a rodilar.

En la Fig. 3 aparece una vista lateral donde se muestra como el cuerpo inferior (1) se acopla a la base o cola de milano (7) mediante soldadura; y esta base permite la ubicación del dispositivo en el carro transversal del torno.

En la Fig. 4 se observa la ubicación del dispositivo de la invención (13) en el carro transversal del torno (18) y se mueve longitudinalmente por el eje que se rodilla (14) mediante el carro longitudinal del torno (17). Este carro longitudinal se mueve a través de los prismas que forman parte de la bancada del torno (19). El eje a rodilar está sostenido entre el plato (15) y la contrapunta (16). El dispositivo se mueve aprovechando el mecanismo normal de avance longitudinal del torno, y los rodillos (9) y (12) giran como consecuencia del giro del husillo del torno.

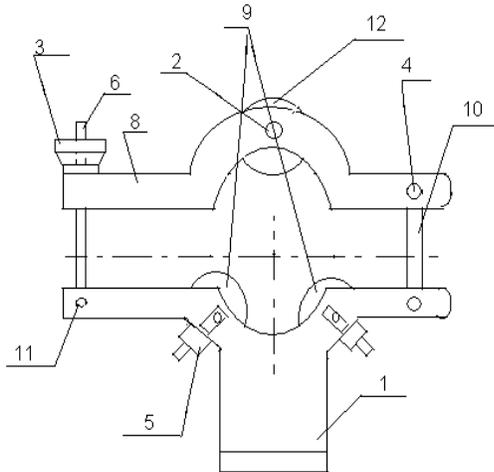


Fig. 2 Vista frontal del dispositivo.

Luego de diseñado y fabricado el dispositivo se procedió a introducir en un taller de reparación ferroviaria, en el cual se comprobó en la práctica, lográndose el acabado superficial deseado, aproximadamente  $Ra = 1,0 \mu m$ . Se realizó una comprobación de la rugosidad superficial después del proceso de cilindrado y después del rodillado, medido este parámetro con un rugosímetro digital portátil (marca Mitutoyo), demostrándose la disminución de la rugosidad como se refleja en la Tabla 1, o sea

lográndose un mejoramiento del acabado superficial, lo que conlleva a la superación de las condiciones de lubricación. Además, se conoce que el rodillado provoca tensiones residuales a compresión que permiten la elevación de la resistencia a la fatiga mecánica, lo que es igualmente beneficioso (Rose, 2003)

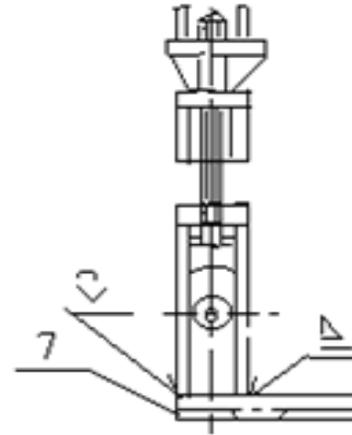


Fig. 3 Vista lateral

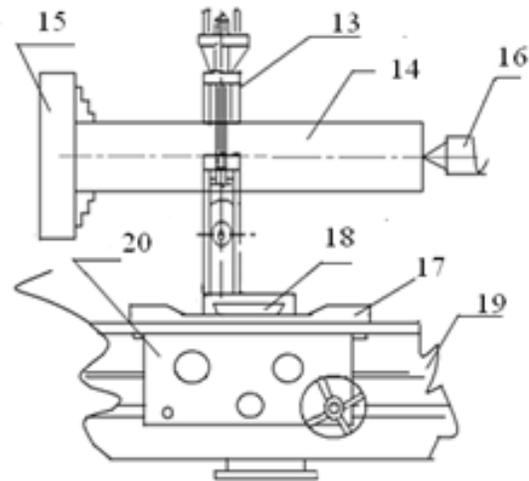


Fig. 4 Ubicación del dispositivo en el torno.

Tabla 1. Medición de la rugosidad.

Operación	Ra ( $\mu m$ )
Cilindrado	2,6 – 3,0
Rodillado	1,0 – 1,2

Teniendo en cuenta que el dispositivo de la invención se construyó para aplicarlo al tratamiento de recuperación de ejes ferroviarios, para carros jaula de transportación de la caña de azúcar, se diseñó un experimento para

comprobar el comportamiento al desgaste de los ejes en fricción con los cojinetes planos. Para ello se usó un tribómetro existente en el Laboratorio de Tribología de la Universidad de Oriente, en Santiago de Cuba.

Las pruebas experimentales se ajustaron a la norma ASTM G77, siguiendo una configuración del experimento en correspondencia con lo establecido para pares cinemáticos tipo “block on ring” (anillo-bloque) donde el anillo representa el eje y el bloque representa el cojinete plano. El número seleccionado de réplicas a ensayar fue de tres.

Los bloques fueron fabricados a partir de una aleación fundición gris aleada con Al como base y con capa de rodamiento de Babbitt 83 y el anillo se elaboró a partir de un eje (acero AISI 1045). Ambas probetas se fabricaron según las dimensiones establecidas por las normas (ASTM G77) para este tipo de ensayo, las probetas bloque con forma geométrica tipo cubo de dimensión de 10 x 10 mm y los anillos con un diámetro exterior de 50 mm, interior 16 mm y un ancho de 11 mm (Fig. 5 y 6).

El acabado superficial para el caso de los anillos estaba en correspondencia con el de los muñones de los ejes, ya que estos fueron rodillados con el mismo régimen. Se fabricaron anillos sin realizarles el tratamiento de rodillado.



Fig. 5. Bloque



Fig. 6 Anillo

La intensidad del desgaste depende de muchos factores, pero el tiempo, la velocidad y las cargas tienen una marcada influencia. Por lo que es de gran importancia modelarlos en correspondencia con la magnitud real. Para el experimento se decidió usar una fuerza normal de 200 N; una velocidad de deslizamiento de 1,3 m/s y un tiempo de 120 min.

Se decidió realizar el experimento sin lubricación o sea para obtener la fricción en seco. Esto permitió simular, en forma muy severa, superior a la realidad, el desgaste que se puede producir por la fricción de la base de la chumacera contra el eje, se midió el desgaste de ambos cuerpos para poder analizar la intensidad del daño que se le ocasionaría al eje.

Tabla 2. Resultados del desgaste.

Rodillo S/T	Wv (mm <sup>3</sup> )	
	Bloque	Rodillo
1	0,00034	0,00085
2	0,00031	0,00103
3	0,00051	0,00100
Rodillo C/T		
1	0,00008	0,00043
2	0,00014	0,00021
3	0,00021	0,00028

Al analizar el comportamiento ante el desgaste de los ejes (anillos), Tabla 2, se demuestra que los anillos que fueron tratados superficialmente por rodillado tuvieron resultados de desgaste inferiores a los que no fueron tratados.

La innovación se sometió a un procedimiento de protección de invención en la República de Cuba, obteniéndose certificado de autor de invención.

Se aplicó a la recuperación de ejes para carros jaula de carga de caña por ferrocarril, en las condiciones de la industria azucarera de la provincia de Camagüey, Cuba, habiéndose recuperado más de 300 unidades. Se comprobó que a partir de la introducción en la recuperación de los ejes del proceso de rodillado se mostró una elevación de la vida útil de estos ejes en por lo menos el doble del tiempo anterior.

Un eje para estos tipos de carros ferroviario cuesta hasta 3000 USD a los precios actuales. Recuperándose, aproximadamente el 30% de los ejes desechados, por defectos en los muñones, se hace evidente que el ahorro anual puede alcanzar cientos de miles de dólares, ya que sólo en carros jaula de este tipo se usan en Cuba más de cinco mil unidades. Su uso se puede extender a otros tipos de carros ferroviarios de carga que trabajen en la combinación de grandes cargas (30 t o más) y bajas velocidades (menos de 60 km/h) donde son efectivos los cojinetes planos.

## CONCLUSIONES

La fabricación del dispositivo y su instalación en el torno universal elevó la capacidad operativa de la máquina herramienta, disminuyendo el tiempo en el proceso de reacondicionamiento del eje.

La aplicación del método de rodillado, permitió obtener mejor acabado en la superficie de los muñones y por

ende, facilitar una mejor lubricación, influyendo sobre el retardo de la aparición de nuevas ralladuras de desgaste y redundando en la elevación de la resistencia y de la vida útil.

## NOTACIÓN

Wv Desgaste volumétrico ( $\text{mm}^3$ )  
S/T Sin tratamiento  
C/T Con tratamiento

## REFERENCIAS

*Cálculo para la construcción de vagones.* (1992). La Habana, Cuba: Ciencia y Técnica

Estrada, R. (1983). *Construcción y reparación del truck.* Ciudad Habana, Cuba: Edit. Pueblo y Educación.

Callister, W. (2003). *Material Science and Introduction.* (6<sup>ta</sup>, ed). New York: John Wiley & Sons cop.

El Axir, M.H., Serage, S. M. (1988) Investigations into the burnishing of external cylindrical surface of 70/30 Cu-Zn alloy. *Wear*, Vol. 127, UK.

Fernández Levy, Gilda. (1987) *Resistencia de Materiales*, Cuba: Pueblo y Educación.

Michael. M. (2002). Micro strain in HMX investigated with powder X-Ray diffraction and correlation with the mechanical sensitivity. JCPDS – International Centre for Diffraction, *Advances in X-Ray Analysis*, Vol. 45, (pp 212 – 217)

*Procesos de Manufactura.* (2009). ISPJAE. La Habana, Cuba

Rose, S. (2003). Rolling a superior finish, T&P Shop Talk, *Tooling & Production Magazine*. disponible en: <http://www.Cnc-training.com>. [Consulta: 25 de octubre del 2010]



Luis Orlando Martín Carvajal se graduó de Ingeniero Mecánico en la Universidad de Camagüey, Cuba en 1997. Cursó la Maestría en Ingeniería Mecánica de la Universidad Central de Las Villas la que concluyó exitosamente en el 2008. Ha desarrollado su trabajo de doctorado en la Universidad de Camagüey sobre el tema que da contenido al presente artículo. Su área de investigación es la manufactura y los materiales. Actualmente es Profesor Asistente del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Camagüey e investiga en el Centro de Estudio de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas de esa Universidad.



Asdrúbal García Domínguez se graduó de Ingeniero Mecánico en la Universidad de Oriente, Santiago de Cuba en 1970. Cursó estudios de posgrado en fundición de metales hasta el 1973 en el Instituto Superior Politécnico de Kiev, Ucrania. Defendió el grado de Doctor en la Universidad Técnica de Belarús, en Minsk, Belarús en 1984. Es profesor Titular del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Camagüey. Sus áreas de investigación son los materiales y la manufactura así como la gerencia de la innovación tecnológica. Investiga en el Centro de Estudio de Explotación, Fabricación y Recuperación de Equipos y Piezas (CEEFREP). Ha tutorado doctorados en sus áreas de investigación.