



Ciencias Holguín
ISSN: 1027-2127
revista@cigetholguin.cu
Centro de Información y Gestión Tecnológica de
Holguín
Cuba

Recuperación del par cinemático pin-buje del cargador frontal Komatsu asistida por computadoras

Pérez-Rodríguez, Roberto; Adrián-García, Ángel; Simeón-Monet, Rolando Esteban

Recuperación del par cinemático pin-buje del cargador frontal Komatsu asistida por computadoras

Ciencias Holguín, vol. 25, núm. 1, 2019

Centro de Información y Gestión Tecnológica de Holguín, Cuba

Disponible en: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181558076005>

Esta licencia permite a otros entremezclar, ajustar y construir a partir de su obra con fines no comerciales, y aunque en sus nuevas creaciones deban reconocerle su autoría y no puedan ser utilizadas de manera comercial, no tienen que estar bajo una licencia con los mismos términos.



Esta obra está bajo una Licencia Creative Commons Atribución-NoComercial 4.0 Internacional.

Recuperación del par cinemático pin-buje del cargador frontal Komatsu asistida por computadoras

Front-loading kinematic pin-bushing pair recovery of computer-assisted Komatsu loader

Roberto Pérez-Rodríguez 1
Universidad de Holguín, Cuba
roberto.perez@uho.edu.cu

Redalyc: <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181558076005>

Ángel Adrián-García 2
Universidad del Estado Bolívar, Venezuela
angelgarcia000@gmail.com

Rolando Esteban Simeón-Monet 3
Universidad de Holguín, Cuba
simeon@uho.edu.cu

Recepción: 21 Abril 2018
Aprobación: 10 Noviembre 2018
Publicación: 30 Enero 2019

RESUMEN:

Una de las aplicaciones de los cargadores frontales Komatsu WA900-3 se relaciona con la recolección de mineral de las minas a cielo abierto. Los pines de sujeción que forman parte de la pala de este cargador presentan un elevado número de fallas, principalmente por estar en un ambiente de alta contaminación y estar sometidos a grandes esfuerzos. Estas roturas encarecen los costos operativos y afectan su disponibilidad. Este artículo presenta una tecnología para la recuperación del par cinemático pin-buje del cargador frontal Komatsu WA900-3 con herramientas CAD/CAM. Se obtuvo la tecnología del proceso de recuperación y se realizaron los análisis de esfuerzos, costos e impacto ambiental, asistidos por computadoras. El presente artículo ilustra el proceso realizado y muestra los resultados fundamentales.

PALABRAS CLAVE: Recuperación, Komatsu Wa900-3, CAD, CAM.

ABSTRACT:

One of the applications of the Komatsu WA900-3 front loaders is related to the collection of ore from open-cast mines. The clamping pins that are part of the blade of this charger have a high number of failures, mainly because they are in an environment of high contamination and are subject to great efforts. These breakages increase operational costs and affect their availability. This article presents a technology for the recovery of the kinematic pin-bushing pair of the Komatsu WA900-3 front loader with CAD / CAM tools. The technology of the recovery process was obtained and the analysis of efforts, costs and environmental impact, assisted by computers. This article illustrates the process carried out and shows the fundamental results.

KEYWORDS: Recovery, Komatsu Wa900-3, CAD, CAM.

NOTAS DE AUTOR

- 1 DrC. Roberto Pérez-Rodríguez, roberto.perez@uho.edu.cu Ingeniero Mecánico, Doctor por la Universidad Politécnica de Cataluña (Barcelona, España). Director del Centro de Estudios CAD/CAM, Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Holguín. Investiga en temas de micro-maquinado, micro-fábricas, micro-máquinas herramienta reconfigurables, teoría y metodología del Diseño, Sistemas CAD/CAM/CAE, Ingeniería Concurrente y mecanizado de alta velocidad.
- 2 MSc. Ángel Adrián-García, angelgarcia000@gmail.com Ingeniero Mecánico, Máster en CAD/CAM, Profesor del Departamento de Ingeniería Mecánica, Universidad del Estado Bolívar, República Bolivariana de Venezuela, Investiga en la aplicación docente e industrial de los sistemas CAD/CAM.
- 3 DrC. Rolando Esteban Simeón-Monet, simeon@uho.edu.cu Ingeniero Mecánico, Doctor en Ciencias Técnicas, Profesor del Centro de Estudios CAD/CAM, Facultad de Ingeniería, Universidad de Holguín, Holguín. La programación funcional y el desarrollo de aplicaciones CAD para la industria metal mecánica y de la construcción.

INTRODUCCIÓN

Estudios acerca del proceso de remanufactura

Schau et al. (Schau, Traverso, & Finkbeiner, 2012) evalúan el estado de la ciencia de la sostenibilidad del ciclo de vida de los productos en el sector de los alternadores para automóviles, con el objetivo de apoyar la gestión de la toma de decisiones. Trabajos similares fueron realizados por Dong et al. (Dong, Xu, Xue, Wang, & Li, 2013) y otros (Barquet, Rozenfeld, & Forcellini, 2013). Si bien estos estudios se aplican al sector de la remanufactura, no evalúan el caso de los equipos de laboreo minero, sólo se especifica el sector del automóvil.

Otros autores (Errington & Childe, 2013), así como (Hatcher, Ijomah, & Windmill, 2013) presentan una investigación basada en casos, dirigida a la inspección de productos remanufacturados. Muestran los diagramas genéricos de inspección en las actividades de remanufactura, para una mejor comprensión de los procedimientos de inspección. Fatimah et al. (Fatimah, Biswas, Mazhar, & Islam, 2013) proponen un nuevo concepto para la remanufactura sostenible a través de las PyMES en Indonesia. Los criterios definidos para la evaluación de la remanufactura sostenible fueron la durabilidad, el costo del ciclo de vida, la oportunidad de empleos, entre otros. Estos análisis no evalúan los casos específicos de los equipos de laboreo minero.

Estado actual en el estudio del desgaste de los pares cinemáticos pin-buje

En estudios recientes (Alcántara, Fernández, & Rodríguez, 2009), se establece el comportamiento de los pasadores fabricados de acero AISI 1045 empleados en las esteras de los equipos de laboreo minero. Con el trabajo se demostró que el acero se endurece por acritud cuando el material es sometido a la fricción por rodadura y que los pasadores están sometidos simultáneamente a diferentes tipos de desgaste. El análisis no incluye los pines de sujeción de cargadores frontales.

Por otra parte, (Jacas et al., 2013) estudiaron la integridad superficial de la superficie maquinada a altas velocidades de corte en el acero 40XHMA. Como resultado se demostró que la variación de valores de la velocidad de corte no tuvo un efecto significativo en los valores de rugosidad superficial. Los experimentos, aunque analizan un acero similar a los utilizados en los pares cinemáticos pin-buje, no analizan la tecnología de remanufactura del par cinemático.

Se han realizado estudios experimentales (Kruse, Hasler, & Dunkel, 2013) de los pines esféricos para los automóviles y varios autores (Wallin, Aboubakr, Jayakumar, Letherwood, & Gorsich, 2013) se centraron en la formulación dinámica de las uniones mecánicas al utilizar diferentes tipos de modelos con varios grados de libertad. Los autores no incorporan en su análisis los pares cinemáticos pin-buje.

Se evidencia que el estudio de los pares cinemáticos pin-buje es aislado y generalmente no están referidos a los equipos de laboreo minero. El objetivo del presente trabajo es proponer una tecnología para la remanufactura del par cinemático pin-buje del cargador frontal WA900-3 utilizando las herramientas CAD/CAM.

MATERIALES Y MÉTODOS

Los elementos de máquinas están sujetos a distintos mecanismos de fallas y las mismas describen diferentes fases que pueden ser explicadas con diferentes gráficos, uno de los más usados en la ingeniería es la curva de la bañera.

Existen tres fases de fallas durante el ciclo de vida del producto. Primero, aparecen las fallas prematuras, que a menudo ocurre de manera intensa. La segunda fase, mucho más extensa que la primera y que ocurre de manera menos frecuente, se caracteriza porque las fallas ocurren a partir de razones coincidentes, por accidentes, esfuerzos extraordinarios, etc. En la etapa final, la ocurrencia de fallas aparece de manera intensa, debido al desgaste y a la fatiga de las piezas.

En general, la reparación extiende la vida útil de una pieza, mientras que la remanufactura establece su próximo ciclo de vida completo (Matsumoto, Yang, K., & Kainuma, 2016). En la Figura 1a se muestra la conexión existente entre el mantenimiento y el reciclaje de piezas, así como, los cinco pasos del proceso de remanufactura propuesto por Steinhilper (García, 2014).

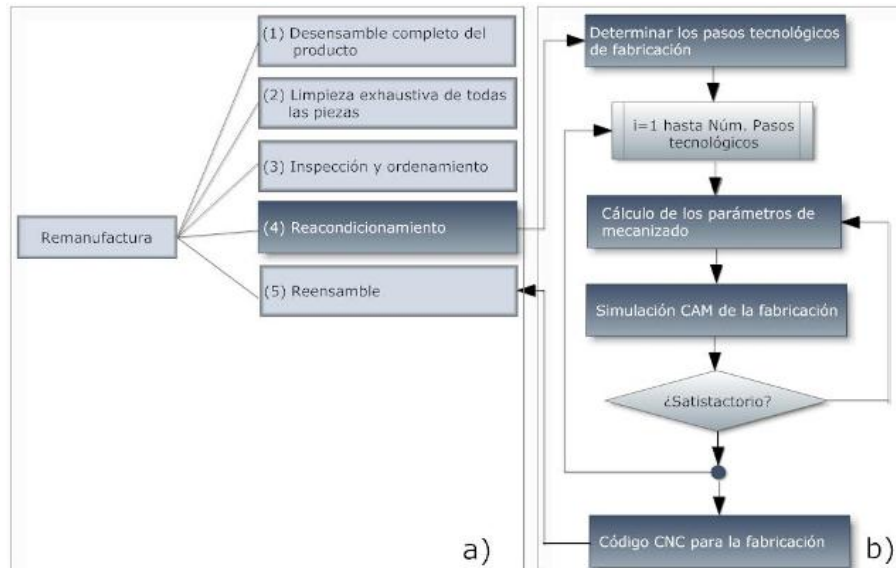


FIGURA 1.

(a) Conexión entre el mantenimiento, reciclado y etapas de la remanufactura, según Steinhilper (García, 2014), (b) Utilización de las herramientas CAD/CAM.

Caracterización y funcionamiento del cargador frontal Komatsu WA900-3

Según los datos estadísticos de la producción de mineral de hierro en diversas empresas mineras, generalmente la capacidad instalada de producción no se alcanza, principalmente por problemas en la operatividad de los equipos y maquinarias. Un aspecto que incide de manera sensible es la funcionalidad de los cargadores frontales, y de ellos, los de la marca Komatsu modelo WA900-3 son los que tienen mayor incidencia en las roturas de pines de sujeción del mecanismo de carga (García, 2014). El cargador frontal Komatsu WA900-3 es una máquina versátil de auto propulsión que está montada sobre orugas o ruedas, fabricado por la empresa japonesa del mismo nombre. En la Figura 2 se muestran las partes principales y el mecanismo de trabajo.

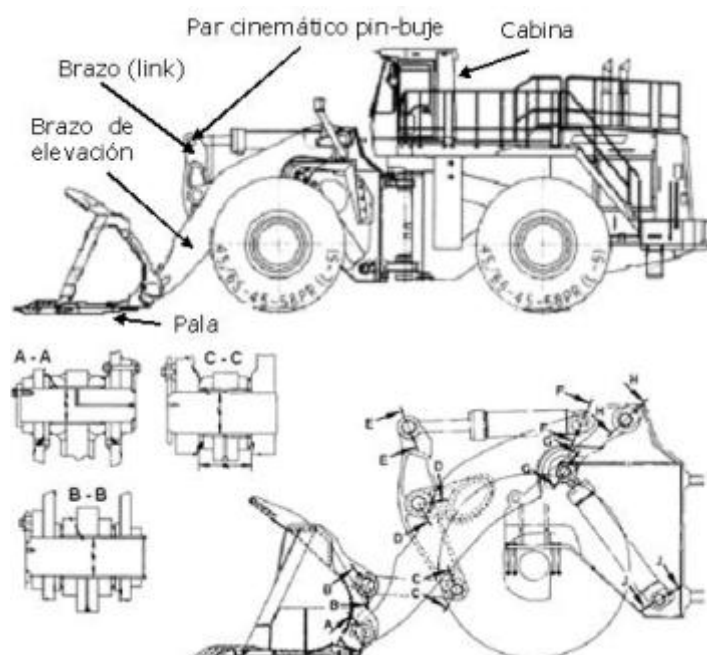


FIGURA 2.

Partes y mecanismo de trabajo del cargador frontal.

El subconjunto de carga del cargador frontal está constituido por el mecanismo de elevación, volteo y la pala. Los brazos de elevación (también conocidos como estructura H) están unidos por un puente central que garantiza la rigidez del conjunto, y son accionados por cilindros hidráulicos.

El par cinemático pin-buje es el que permite la articulación entre los distintos elementos de trabajo del cargador frontal y transmite los distintos movimientos de la estructura en general. De acuerdo a las severas condiciones de trabajo de los equipos mineros, estos sufren un elevado desgaste hasta quedar incluso fuera de servicio. En la Figura 2 se aprecia la existencia de diez tipos de uniones cinemáticas pin-buje, que garantizan la cinemática de movimiento del cargador frontal. En esta investigación se analiza el caso de los tipos de uniones A-A, B-B y C-C.

En investigaciones previas se determinaron los históricos de fallas más frecuentes de estas máquinas (García, 2014). Se identificó que la unión pin-buje tiene la mayor cifra de roturas (26) en el periodo evaluado, luego le sigue la pala (16), la lubricación (12) y el brazo (5). La presencia de fallas de alguno de estos dos elementos implica el cambio completo del par cinemático. En el caso de las horas paradas por fallas, la unión pin-buje provocó en el periodo analizado 210 h de paradas productivas, seguida por la pala (160 h), la lubricación (70 h) y el brazo (60 h).

Analizando estos datos, se puede señalar que las fallas presentes en los cargadores frontales tienen una incidencia importante en el número de horas de paradas en los equipos, especialmente las que ocurren en el par cinemático pin-buje, lo que se traduce en pérdidas significativas para las empresas (García, 2014).

Proceso de remanufactura del par cinemático pin-buje

La variante de solución típica para la reparación del pin objeto de estudio es que, una vez se presentan defectos en alguno de los dos elementos del par cinemático pin-buje o en ambos, se realiza la requisición al almacén, para su importación desde Japón. Esto trae como consecuencia el encarecimiento del mantenimiento de los equipos, pues además de pagar los altos costos de las piezas, también se deben costear los gastos de transporte, nacionalización y otros gastos asociados.

Teniendo en cuenta lo planteado anteriormente, se procede a realizar una propuesta para la sustitución de importaciones de piezas y partes. A partir del estudio de varias alternativas de solución, se consideró la

remanufactura del pin y del buje. En el presente artículo solo se aborda la recuperación del pin, a partir de realizar un encamisado del mismo.

En la Figura 1a) aparecen los cinco pasos esenciales para la remanufactura, y en la Figura 1b) se muestra cómo incorporar en el proceso de remanufactura de piezas y partes, las herramientas CAD/CAM. La simulación definitiva, a través del software CAM permite la obtención del código CNC correspondiente, listo para ser enviado al Control Numérico de la máquina herramienta para su fabricación.

Caracterización físico mecánica y modelación CAD de la pieza

Como paso fundamental en el proceso de remanufactura del pin objeto de estudio, se realizó la caracterización físico – mecánica a través de un estudio metalográfico. El acero utilizado según la composición química es un AISI 4130 de baja aleación. Luego, se le realizó un análisis del tipo de desgaste, producto de la fricción con su par cinemático. Se observa un desgaste predominante del tipo abrasivo, con profundidades no superiores a 3 mm.

Para poder establecer las alternativas de remanufactura utilizando las herramientas CAD/CAM, se siguió el procedimiento siguiente: (a) análisis de la geometría del pin y su conjugación con el buje, (b) modelación CAD del dibujo del pin, (c) evaluación del costo tecnológico en SolidWorks, y (d) proyección del proceso tecnológico.

Evaluación del costo tecnológico de la remanufactura por computadora

Para el proceso de remanufactura, se evaluaron dos alternativas tecnológicas posibles, con el objetivo de proponer la más adecuada. La primera alternativa estudiada consistió en utilizar como pieza en bruto una barra de 180 mm de diámetro, con una longitud de 470 mm de acero AISI 4130 (tolerancias de 5 mm de diámetro y 5 mm en cada lado). La segunda variante analizada consistió en una barra de acero AISI 4340 de las mismas dimensiones.

A partir del modelo CAD del pin, se utilizó el análisis de costo asistido por computadora, que ofrece el SolidWorks. Este análisis posee una extensa base de datos que facilita el cálculo de los impactos ambientales.

RESULTADOS

En la Tabla 1 se muestra los resultados obtenidos por computadora, de las dos variantes analizadas. Como se observa, la variante de la barra de acero de AISI 4130 consume menos energía total, tiene una menor huella de carbono del material y menor impacto financiero, que la variante de la barra de acero de AISI 4340. A partir de este análisis, se decide por la primera variante de solución.

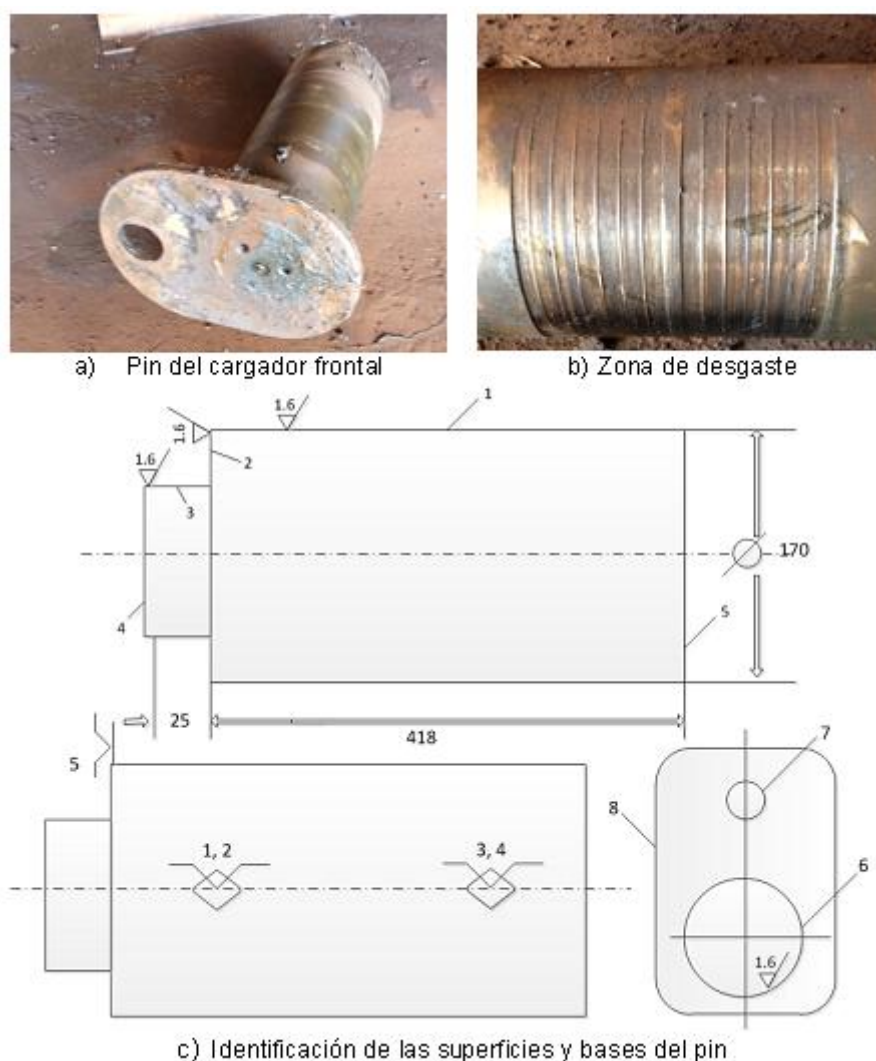
TABLA 1.
Evaluación del costo e impacto ambiental asistido por computadora.

Material	Costo material	Costo fabricación	Energía total	Huella de carbono	Impacto financiero
AISI 4130	1412.68 USD	176.84 USD	3400 MJ	160 kgCO ₂ e	40.60 USD
AISI 4340	1412.68 USD	176.84 USD	3400 MJ	160 kgCO ₂ e	40.60 USD

Proyección del proceso tecnológico para la remanufactura de los pines

Destino de servicio de la pieza

El par cinemático pin-buje del mecanismo de trabajo del cargador frontal Komatsu WA900-3 cumple la función de articular los implementos de trabajo del mencionado cargador, estos a su vez cumplen con la función de permitir la transmisión de movimiento de empuje y rotación de la pala de carga (Figura 3). El pin objeto de estudio se muestra en la Figura 3a). La holgura existente entre el pin y el buje es con ajuste deslizante. En el caso del acoplamiento entre la pala y el brazo de elevación, así como entre el link y el balancín, poseen una holgura para facilitar el movimiento.



c) Identificación de las superficies y bases del pin

FIGURA 3.

Pin objeto de estudio y zona de desgaste.

Clasificación de las diferentes superficies de la pieza según su asignación y definición de los pasos tecnológicos para la remanufactura

En la Figura 3c) (superior) se muestra la identificación de las superficies del pin según su designación. En el caso del eje, la superficie 1 es fundamental, las superficies 2 y 3 son auxiliares y las superficies 4 y 5 son libres. En el caso de la placa, la superficie 1 es fundamental, la superficie 2 es auxiliar y la superficie 3 es libre.

Del conjunto de bases fundamentales, el eje del pin es una base doble directriz por tener cuatro puntos de referencia y eliminar cuatro movimientos de la pieza que son: dos desplazamientos en dos ejes y dos rotaciones alrededor de los mismos ejes. El movimiento axial de la pieza es eliminado por la superficie frontal de la ranura (2) que sirve de alojamiento a la placa soldada, por lo que constituye una base de apoyo (Figura 3c, inferior).

El tipo de producción del pin es unitaria, pues está destinada a la remanufactura de los pines cuando estos se encuentren con los criterios de desgaste no permisibles. Primeramente, se adquiere un tubo de material AISI 4130, de diámetro exterior 180 mm y longitud de 418 mm, con una dureza superficial de 42 HRC. A través de un proceso de rectificado, se deberá lograr una dimensión de 180 mm con una desviación máxima de -0.043 mm y una desviación mínima de -0.106 mm. El diámetro interior de la camisa deberá ser de 170 H7 mm, con desviación superior de +0.035 mm y con una desviación inferior de 0 mm.

Para lograr el proceso de encamisado con un ajuste por interferencia, se realiza el cálculo de ajuste utilizando el software MitCalc, ofreciendo como resultado un ajuste por interferencia entre el pin mecanizado y el tubo adquirido de 170 H7/p6. Una vez mecanizado el pin con las dimensiones y tolerancias antes citadas, con la utilización de una prensa se logra el encamisado por interferencia. Luego se taladra el agujero concéntrico para la lubricación. A continuación, se establece el procedimiento de elaboración que asegura los requisitos de rugosidad superficial y de exactitud establecidos para cada superficie.

Tecnología asistida por computadora del pin

Una vez diseñada la pieza en el modelador de sólidos, se activa el módulo de torneado en la pestaña de CAMWorks en el mismo entorno de SolidWorks.

A continuación, se genera el plan de operaciones tecnológicas, en función de la máquina herramienta seleccionada, la herramienta de corte a utilizar y los parámetros del régimen de corte. Estos son procesos iterativos, es decir, son cíclicos en función de la toma de decisiones del ingeniero. Luego se generan las trayectorias, si son viables, entonces se pasa a la simulación y generación del código CNC. De la misma forma se realiza para el caso de las operaciones tecnológicas de taladrado y fresado. En la Tabla 2 se muestra un fragmento del código CNC generado para las piezas que componen el pin objeto de estudio.

TABLA 2.
Fragmento del Código CNC generado en SolidCAM.

Pin	Placa
O0001 (Main Spindle) (Must Customize Main Spindle Per Machine) N1 G50 S3000 N2 T0200 M42 N3 G00 G97 S1201 M03 N4 G00 Z2.54 T0202 M08 N5 X180.16 N6 G01 X175.08 Z0 F.007 N7 Z-443.396 N8 G00 X508. N9 Z254. (Main Spindle) (Must Customize Main Spindle Per Machine) N10 G97 S899 N11 Z2.144 N12 X175.08 N13 G01 X170. Z-.396 F.006 N14 Z-443.396 N15 G00 X508. N16 G97 S3281 M09 N17 Z254. T0200 N18 M30	O0001 N1 G21 N2 (10MM 60 DEG CENTERDRILL) N3 G91 G28 X0 Y0 Z0 N4 T34 M06 N5 S2000 M03 N6 G90 G54 G00 X0 Y0 N7 G43 Z.1 H34 M08 N8 G81 G99 R.1 Z-9.196 F100. N9 G80 Z1. M09 N10 G91 G28 Z0 N11 (25MM JOBBBER DRILL) N12 T41 M06 N13 S2000 M03 N14 G90 G54 G00 X0 Y0 N15 G43 Z5. H41 M08 N16 G81 G99 R5. Z-38.504 F200. N17 G80 Z25. M09 N18 G91 G28 Z0 N19 (25MM 4 FLUTE CARB E.M.) N20 T20 M06 N21 S2000 M03 N22 G90 G54 G00 X0 Y0 N23 G43 Z5. H20 M08 N24 G01 Z-10. F62.5 N25 G17 X7.5 F125. N26 G03 I-7.5 J0 F500. (fragmento)

De la misma forma se realiza la simulación del mecanizado de la placa base del pin objeto de estudio. De esta forma se obtiene el código CNC necesario para la manufactura de las partes que componen el par cinemático pin-buje del cargador frontal Komatsu WA-900-3.

CONCLUSIONES

La investigación permitió proyectar el proceso tecnológico para la remanufactura del par cinemático pin-buje objeto de estudio, extensible a otros tipos similares de pares cinemáticos. Además, se realizó la simulación CAM y la generación del código CNC para la remanufactura del par cinemático pin-buje objeto de estudio, utilizando herramientas CAD/CAM.

REFERENCIAS

- Alcántara, D., Fernández, F., & Rodríguez, I. (2009). Fricción y desgaste en elementos circulares empleados en pasadores. *Ingeniería Mecánica*, 12(2), 49–57.
- Barquet, A. P., Rozenfeld, H., & Forcellini, F. A. (2013). An integrated approach to remanufacturing: model of a remanufacturing system. *Journal of Remanufacturing*, 31(1), 2-11.
- Dong, L. H., Xu, B. S., Xue, N., Wang, H. P., & Li, H. Y. (2013). Development of remaining life prediction of crank shaft remanufacturing core. *Advanced Manufacturing*, 1, 91–96.
- Errington, M., & Childe, S. J. (2013). A business process model of inspection in remanufacturing. *Journal of Remanufacturing*, 3(7), 2-22.
- Fatimah, Y. A., Biswas, A., Mazhar, I., & Islam, M. N. (2013). Sustainable manufacturing for Indonesian small- and medium-sized enterprises (SMEs): the case of remanufactured alternators. *Journal of Remanufacturing*, 3(6), 2-11.
- García, A. A. (2014). Remanufactura del par cinemático pin-buje del cargador frontal Komatsu WA900-3 con herramientas CAD/CAM. Universidad de Holguín, Holguín, Cuba.
- Hatcher, G. D., Ijomah, W. J., & Windmill, J. F. C. (2013). Design for remanufacturing in China: a case study of electrical and electronic equipment. *Journal of Remanufacturing*, 3(3), 1-11.
- Jacas, M., Rodríguez, T., Lopes, J. L., Carro, G. E., Sánchez, T., & San, D. (2013). Caracterización de la integridad de las superficies maquinadas a altas velocidades en el acero 40XHMA. *Ingeniería Mecánica*, 16(2), 91-99.
- Kruse, J., Hasler, S., & Dunkel, V. (2013). Stainless Steel ball pins in the car chassis. *ATZ Worldwide*, 115, 40-43.
- Matsumoto, M., Yang, S., K., M., & Kainuma, Y. (2016). Trends and Research Challenges in Remanufacturing. *International Journal of Precision Engineering and Manufacturing-Green Technology*, 3(1), 129-142.
- Schau, E. M., Traverso, M., & Finkbeiner, M. (2012). Life cycle approach to sustainability assessment: a case study of remanufactured alternators. *Journal of Remanufacturing*, 2(5), 2-14.
- Wallin, M., Aboubakr, A. K., Jayakumar, P., Letherwood, M. D., & Gorsich, D. J. (2013). A comparative study of joint formulations: application to multibody system tracked vehicles. *Nonlinear Dyn*, 74, 783-800.