

Comprobación de flexión y rugosidad superficial de la rueda dentada intermedia del Final Drive de un Bulldozer Komatsu D85A-18

Yasmani Romero Gé romerogeyasmani446@gmail.com

Alejandro Fernández Peña afernandezp@ismm.edu.cu

Universidad de Moa (Cuba)

Resumen: Se determinaron las tolerancias dimensionales y la evaluación de la resistencia mecánica de una rueda dentada de dientes recto ubicada en el mando final de un *Bulldozer Komatsu D85A-18* la cual presenta problemas de cálculo y redimensionamiento. Al emplear los procedimientos del cálculo se obtuvieron resultados que satisfacen la condición de resistencia y el buen funcionamiento de la pieza en la transmisión.

Palabras clave: acero SAE AISI 3140; engranaje mecánico; resistencia mecánica; rotura por fatiga

Checking bending and surface roughness of intermediate gear wheel of the Final Drive of a Bulldozer Komatsu D85A-18

Abstract: Dimensional tolerances and the evaluation of mechanical strength of a straight-toothed gear located in the final control of a Bulldozer Komatsu D85A-18 that presents problems of calculation and resizing were determined. Calculation procedures showed results that satisfy the strength condition and good function of the part in the transmission.

Keywords: SAE AISI 3140 steel; mechanical gear; mechanical resistance; fatigue break

Introducción

Las ruedas dentadas constituyen un tipo de transmisión mecánica ampliamente empleado. Se caracterizan por una relación de velocidad constante e independiente de la carga transmitida, por su seguridad de funcionamiento y larga duración, así como por sus dimensiones y elevado rendimiento. Sus vastas aplicaciones en casi todos los dispositivos mecánicos han hecho este componente un elemento imprescindible.

El *bulldozer* es una máquina diseñada para ejercer fuerza de empuje o tracción. Esta provista de una pala frontal que se desplaza con ruedas o sobre cadenas y se utiliza para el derribo y nivelación de terrenos (Méndez, 2022). En la industria minera, el mando final de un *bulldozer komatsu* es de suma importancia, ya que siendo este el último sistema reductor de la máquina provee de una reducción de velocidad aumentando el torque, es decir una fuerza impulsora a las ruedas o cadenas así desempeñando su papel en la producción y brindando gran facilidad de trabajo en el ámbito minero.

En la tecnología de la rueda dentada los cálculos y el dimensionamiento, constituyen un factor principal para la posterior conformación de la misma. Por ellos las mediciones se realizan con total precisión al igual que el cálculo para su condicionamiento de resistencia mecánica, dependiendo del trabajo que valla a realizar la misma en la maquinaria, donde la rueda dentada se vaya a emplear, así como su posterior tratamiento térmico para la garantiza con de la correcta dureza que la pieza necesite. Las ruedas dentadas son construidas de tal manera que en cada par de engranajes las salientes de uno se introducen en los vaciados del otro produciéndose el movimiento (Rodríguez, 2009).

Las piezas que realizan relaciones de transmisión, requieren de tecnologías y métodos de fabricación los cuales deben tener características acordes en su rama de acción. Así como a la hora de su implementación la pieza no produzca ningún paro respecto a la producción donde radique. Estas deben cumplir todas las características para la hora de esta realizar su función sea eficiente y no produzca fallos o roturas.

Las ruedas dentadas pueden fabricarse de una extensa variedad de metales para obtener las propiedades adecuadas según el uso que se les va a dar. Hernández-González *et al.* (2022) coinciden en que las ruedas dentadas son uno de los componentes más críticos en los sistemas de transmisión de energía mecánica. La selección del material de estos elementos garantiza su fiabilidad.

Los defectos de fabricación de las ruedas dentadas y del ensamble de las transmisiones provocan la variabilidad de la relación instantánea de velocidades, como resultado de lo cual surgen golpes, ruidos y cargas dinámicas adicionales, las cuales se incrementan al aumentar la velocidad circular de las ruedas y al disminuir su exactitud (Jaimes-Rolon & Romero-Piedrahita, 2022).

Es necesario aplicar una serie de procesos, así como la metodología del cálculo, el material a implementar para su fabricación además de que conocer todas las generalidades correspondientes a la pieza.

Materiales y métodos

Desde el punto de vista de diseño mecánico, la resistencia y la durabilidad son las propiedades más importantes. Sin embargo, por lo general los materiales que se utilizan para la fabricación de engranajes; pueden encontrarse, aceros de alta resistencia, aceros inoxidables, aleaciones a base de cobre, aleaciones de aluminio fundidas o forjadas, hierro fundido o gris y aleaciones de magnesio, entre otros. Durante la vida útil para la que son diseñadas, las transmisiones por engranajes deben mantener un nivel de integridad que permita que su funcionamiento no se interrumpa ni se deteriore. Esto se consigue mediante un dimensionado correcto de los elementos que la componen, la selección correcta del material con el que se fabrican, una experimentada fabricación y un control severo de la calidad Hernández-González *et al.* (2022).

El material por el cual está fabricado esta rueda dentada, es según la norma AISI, SAE 3140 o su equivalente en la norma rusa GOST 40XH.

Las tablas 1, 2 y 3 muestran las propiedades mecánicas, físicas y químicas del acero níquel-cromo con aproximadamente 0,40 % de contenido de carbono según Luz (2022).

Tabla 1. Propiedades mecánicas del acero SAE AISI 3140

Resistencia a fluencia	447,04 MPa
Resistencia a rotura	689,5 MPa
Alargamiento	24,5 %
Estricción	50 %
Módulo de elasticidad	190-210 GPa
Densidad	7,7-8,03 g/cm ²
Módulo de Poisson	0,27-0,3
Dureza	197 HB
Límite fatiga	335,28 MPa
Dureza máxima (HB)	0,235

Tabla 2. Propiedades físicas del acero SAE AISI 3140

Tensión admisible a la rotura	675 kgf/mm ²
Límite de fluencia	45 kgf/mm ²
Densidad	7,85 kg/dm ³
Módulo de elasticidad	210 kN/mm ²
Conductividad térmica	42 W/(m·K)
Capacidad calorífica	460 J/kg·K
Resistencia eléctrica específica	19Ω(mm ² /m)
Temple	180-650 °C
Medio de enfriamiento	Aceite
Temperatura normalizada	850-880 °C
Recocido	650-700 °C
Temperatura de conformado en caliente	1050-1850 °C

Tabla 3. Composición química del acero SAE AISI 3140

Carbono	0,40 %
Cromo	0,75 %
Níquel	1,40 %
Magnesio	0,70 %
Fósforo	0,040 %
Silicio	0,15 %

Fallas o motivo de avería de la rueda dentada de dientes rectos en la máquina

La práctica totalidad de los engranajes industriales sufren cargas variables que están asociadas a la rotura por fatiga del material de los dientes, debido a que la casi generalidad de los engranajes presenta algún tipo de movimiento o reciben cargas que no son constantes (González, 2008).

La principal falla que puede presentar la máquina es la fractura por sobrecarga a la flexión. Entre las causas se encuentra el exceso de la capacidad del material.

La rotura por fuerza se produce por un aumento del esfuerzo, como sobrecarga por golpes, momento de arranque demasiado grande, cuerpos extraños en el engranamiento, bloqueo de la máquina operadora, falla del sistema de seguridad contra sobrecarga, o capacidad de esfuerzo deficiente, dimensionamiento incorrecto, material no adecuado, tensiones adicionales que no fueron tenidas en cuenta.



Figura 1. Rotura en el diente en la rueda dentada.

Tolerancia dimensional de la pieza

Se puede definir tolerancia dimensional como la cantidad total que se permite variar una pieza, durante el proceso de fabricación de la misma, respecto a la medida nominal indicada en la cota del plano (Toapanta, 2013).

Es posible utilizar las desviaciones en los diámetros, de la pieza para determinar las rugosidades de la pieza en esas áreas de maquinado.

Analizando el diseño de la rueda en la vista frontal derecha en el agujero con $\varnothing 60$ con una desviación máxima de $+0,021$ y mínima de $+0,02$, se plantea que:

$$\text{desviación máx.} - \text{desviación mín.} = \text{valor de desviación}$$

Aplicando esta expresión de cálculo y utilizando la figura 1 se puede determinar los valores máximos y mínimos de rugosidad superficial según las desviaciones estándar del diseño de la rueda dentada (Rodríguez, 2009).

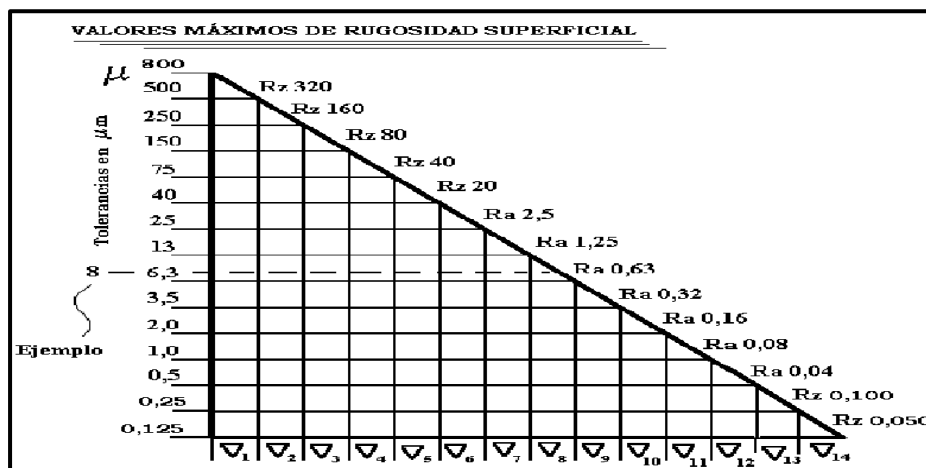


Figura 2. Valores máximos y mínimos de rugosidad superficial.

Para establecer el cálculo correctamente es necesario convertir el valor a micrómetro ya que la tabla esta expresada en esa unidad.

Cálculos de flexión en los dientes

Determinación del esfuerzo admisible a la flexión según Drovobolski, Zablonki & Radchik (1976).

Se plantea la ecuación:

$$\sigma_{of} := \frac{\sigma_f}{n' \cdot K_t} \cdot K_r$$

Dónde:

σ_{of} : esfuerzo admisible del material a flexión

n' : factor de seguridad que va en función del material del diente y del tipo de tratamiento térmico

K_t : coeficiente de concentración de tensiones en función de dientes

K_r : se puede tomar igual a una unidad.

Para el acero 3140 según la norma AISI, su equivalente es el acero 40XH según la norma GOST, ya que este acero tiene una aleación de cromo más níquel (Aneiros Paradam, 1987) el valor del esfuerzo admisible del material. Donde se identifica que para el acero 40XH, tiene un esfuerzo admisible a flexión de $60 \text{ kgf/cm}^2 = 6000 \text{ kgf/cm}^2$.

Al ser un acero procesado por temple con una dureza HRC de 48...54, el mismo lleva un temple a corazón con un HB > 350 siendo el valor de $n' = 2$. El factor de seguridad n' y el coeficiente de concentración de tensiones K_t en función del número de dientes o brinda Drovobolski, Zablonki & Radchik (1976).

Tratamiento térmico de la pieza

El proceso de temple y revenido implica el calentamiento de las ruedas dentadas para formar austenita a 800 y 900 °C seguida de un templado en un medio adecuado como aceite. El enfriamiento rápido hace que las ruedas dentadas presenten mayor dureza y sean más fuertes por la formación de martensita. Las ruedas dentadas endurecidas entonces se templan en una temperatura generalmente debajo de 690 °C para alcanzar las características mecánicas deseadas. Este proceso es el más comúnmente utilizado para las ruedas dentadas endurecidas. El templado baja la dureza y la fuerza de los

aceros revenidos, pero mejora las características de los materiales tales como ductilidad, dureza y resistencia al impacto. La temperatura de templado debe ser cuidadosamente seleccionada en base a la gamma de dureza específica, la dureza de revenido de la pieza y el material. La temperatura óptima de temple es la temperatura más alta posible manteniendo el rango de dureza específica (Caballero, 2010).

Resultados y discusión

La tabla 4 muestra los resultados obtenidos de la metodología expuesta correspondiente a la determinación de las rugosidades según las desviaciones en los diámetros de la pieza.

Tabla 4. Rugosidad superficial en los diámetros según las desviaciones máximas y mínimas empleadas.

Diámetro (mm)	Desviación máx. (mm)	Desviación mín. (mm)	Valor del cálculo (μm)	Rugosidad
60	+0,021	+0,02	1	Ra 0,08
60	+0,021	+0,002	9	Rz 0,63
164	0	-0,063	63	Rz 20

Los resultados obtenidos fueron logrados a partir del material acero 3140, según la norma AISI. donde se determinó los valores a utilizar para el cálculo, así como los parámetros que se emplean en la ecuación empleada

En la tabla 5 se muestran los resultados del cálculo de flexión del engrane.

Tabla 5. Resultado del cálculo de flexión del diente de la rueda dentada de dientes rectos

Parámetros calculados	resultados
esfuerzo admisible del material a flexión σ_{of}	215,2 MPa

El diente es sometido a flexión durante su trabajo donde en comparación el esfuerzo del material a la rotura es de 7030,94 kgf/cm² y a través de la metodología aplicada se obtiene que los dientes están sometidos a un esfuerzo de 2194,8 kgf/cm².

A partir del valor obtenido de esfuerzo admisible del material a flexión bajo las condiciones de trabajo del mismo se establece que el diente resiste ya que su valor está por debajo del admisible cumpliendo las condiciones de diseño y de resistencia mecánica.

Conclusiones

A través de la evaluación de la resistencia mecánica en la rueda dentada de dientes rectos del mando final de un *Bulldozer Komatsu D85A-18* se puede afirmar que la misma es capaz de soportar las cargas que actúan propiciando una resistencia del material a flexión de 588,4 MPa.

Las rugosidades calculadas cumplen con la condición de diseño de la rueda dentada para las desviaciones dadas por el diseño de la misma teniéndose en cuenta que la pieza tiene una rugosidad general de Rz 20.

El tratamiento térmico para obtener las condiciones de dureza deseada se logra a partir del tratamiento establecido en temple y revenido a una temperatura estable al proceso.

Referencias bibliográficas

Aneiros Paradam, J. M. (1986). *Problemas de Diseño de Elementos de Máquinas*. Pueblo y Educación. <https://koha.unl.edu.ec/cgi-bin/koha/opac-detail.pl?bibliomu,ber=820>.

Caballero, N. (2010). *Manual de práctica de tecnológica de tratamiento térmico*. Editorial CUJAE. <https://isbn.cloud/cu/autor/nilda-caballero-stevens/>.

Drovobolski, V., Zablonki, K. & Radchik, A. (1976). *Elementos de Máquina*. Editorial Mir.

González, G. (2008). Procedimiento para estimar la vida útil de engranajes cilíndricos de acero en base a la resistencia a la fatiga del material y norma AGMA 2101-D04. *Ingeniería Mecánica*, 11(2), 35-41. <https://ingenieriamecanica.cujae.edu.cu/index.php/revistaim/article/download/96/419>.

Hernández-González, L. W., Marín-Figueroa, H., Dumitrescu, L. & Martínez-Grave de Peralta, J. (2022). Procedimiento para fabricar un piñón a partir de la evaluación del material. *Ciencias Holguín*, 28(2), 9-19. <https://www.redalyc.org/articulo.oa?id=181571550002>.

Jaimes-Rolon, R. A. & Romero-Piedrahita, C. A. (2022). Desarrollo de un banco didáctico para verificación de los parámetros de calidad de las transmisiones dentadas cilíndricas, *Revista UIS ingenierías*, 21(2), 61-70.
<https://doi.org/10.18273/revuin.v21n2-2022006>.

Luz, G. (2022). *Propiedades Mecánicas, Químicas y Clasificación del acero (SAE) AISI 3140*. <https://www.materiales.gelsonluz.com/2020/12/sae3140-propiedades-mecanicas-quimicas.html?m=1>.

Méndez, J. (2022). Maquinaria amarilla: ¿qué es, para qué sirve? *Episteme. Revista de divulgación en estudios socioterritoriales*, 14(1). 90-96.
<https://doi.org/10.15332/27113833.8344>.

Rodríguez, J. M. (2009). *Dibujo para Ingenieros Mecánicos*. Editorial Universitaria.

Toapanta, C. O. (2013). *Estudio de los ajustes y tolerancias mecánicas de precisión en los procesos industriales*. (Trabajo de diploma, Universidad Central del Ecuador).
<https://core.ac.uk/download/pdf/71903345.pdf>.