

TÍTULO: Diseño y tecnología de fabricación del árbol de un reductor planetario.

TITLE: Design and manufacturing technology of the tree of a planetary gear.

AUTORES

Dra.C. Ing. Ana María Quesada Estrada
Dr. C. Ing. Roberto Pérez Rodríguez
M.Sc. Ing. Luis Wilfredo Hernández González
Ing. Armando Almaral Miranda

PAÍS: Cuba

RESUMEN

Se señaló que la Industria Azucarera no dispone de un reductor que cumpla con los parámetros necesarios para la grúa puente de dos velocidades, empleado en montar y desmontar las mazas de los molinos durante el mantenimiento de los Centrales Azucareros por lo que se plantea como objetivo el diseño y el desarrollo de la tecnología de fabricación del árbol para dicho reductor y se realizó la simulación empleando el método de los elementos finitos para el análisis estático del diseño propuesto. El resultado de la investigación muestra la comprobación estática con valores satisfactorios en cuanto a las tensiones, desplazamientos y al factor de seguridad del árbol diseñado.

PALABRAS CLAVES: DISEÑO, FABRICACIÓN, MÉTODO DE LOS ELEMENTOS FINITOS, REDUCTOR PLANETARIO, INDUSTRIA AZUCARERA.

ABSTRACT

It was noted that the sugar industry does not have a choke(reducer) that meets the parameters for the two-speed gantry crane used in mill the mounting and dismounting of mill drums for the maintenance of the sugar mills so therefore seeks the design and development of manufacturing technology for the gear shaft and the simulation was performed using the finite element method for static analysis of the proposed design. The research result shows the static test values satisfactory for stress, displacement and the safety factor of the tree designed.

KEY WORDS: DESIGN, FABRICATION, FINITE ELEMENT METHOD, PLANETARY REDUCER, SUGAR INDUSTRY.

INTRODUCCIÓN

La industria azucarera cubana está actualmente inmersa en una desfavorable coyuntura técnica, en la cual inciden múltiples factores sobre los que hay que actuar para resolver esta situación, lo que fomenta el incremento de la eficiencia, la calidad y un aumento en la productividad en diferentes sectores industriales.

El aumento de las molidas en los centrales azucareros ha provocado la necesidad del análisis de todo el proceso productivo para ganar en eficiencia y cumplir con la capacidad de trabajo, lo que requiere en ocasiones hacer modificaciones de diseño en diferentes elementos mecánicos.

Este trabajo tiene por objetivo el análisis del diseño y el planteamiento de la tecnología de fabricación del árbol para el reductor planetario de la grúa puente de dos velocidades, para que cumpla con los parámetros necesarios, el cual es utilizado en montar y desmontar las mazas de los molinos durante el mantenimiento de los Complejos Agroindustriales. Además, se realizará la simulación empleando el método de los elementos finitos para el análisis estático que permite la determinación de los componentes de los modos por efecto de una sollicitación estática y, en una segunda fase, la determinación del estado en ciertos puntos característicos de cada elemento. Este tipo de análisis permite acotar la deformación del componente de estudio y localizar zonas altamente solicitadas o zonas de sollicitación baja, según sea el interés en evaluar la resistencia estática o en disminuir el consumo de material.

MATERIALES Y MÉTODOS

En la Figura 1 se muestra un reductor planetario con un portasatélites (2) que puede girar alrededor de un eje de giro (1), por lo menos un piñón satélite (3) dispuesto sobre el portasatélites (2), un engranaje planetario (4) y una corona con dentado interior (5), estando dispuesto el piñón satélite (3) desplazable al menos radialmente con respecto al eje de giro (1) del portasatélites (2). Está caracterizado porque la corona (5) está realizada partida en un plano perpendicular al eje de giro (1) del portasatélites (2), pudiendo torsionarse las dos mitades (5', 5'') de la corona (5) la una respecto a la otra, provocando de esta manera un desplazamiento radial del satélite (3) en dirección hacia el planetario (4) para reducir la holgura.

El presente reductor ha sido realizado para cumplir el objetivo de obtener en la grúa puente dos velocidades, lo cual eléctricamente se hacía difícil lograr en el izaje, las que son necesarias para el tipo de trabajo que realiza (montar y desmontar las masas de los molinos) durante el mantenimiento del central azucarero.

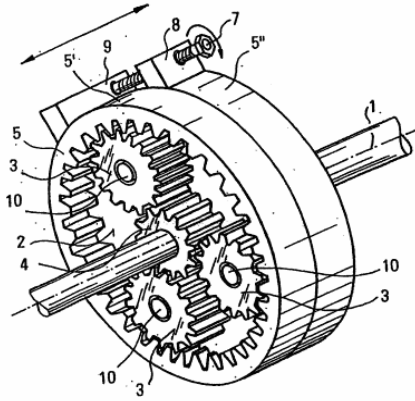


Figura 1. Reductor Planetario.

Características técnicas del reductor

El reductor tiene dos árboles de entrada (Figura 2), uno para un motor de 884 r.p.m. y 27 kW de potencia y el otro de 36 kW y 886 r.p.m., ambos con brida y freno del tipo IP, éste último acoplado al planetario directamente, para lograr unas velocidades de salida de 0.5 y 3.6 r.p.m. respectivamente .

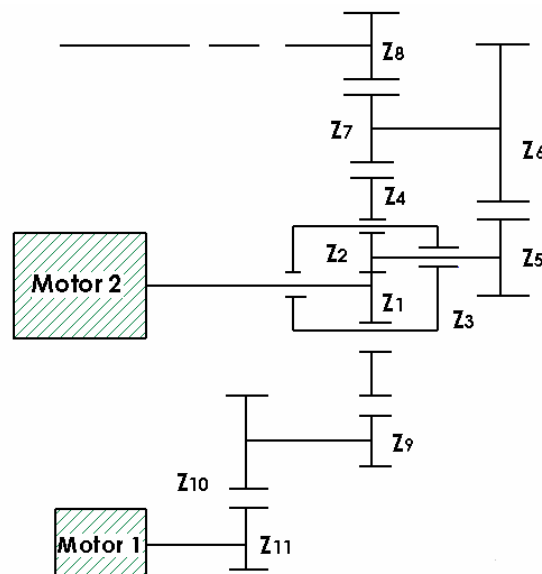


Figura 2. Esquema cinemático del reductor planetario.

El principio de funcionamiento del reductor consiste en que cuando se acciona el primer motor a través de dos pares engranados el movimiento llega al bastidor del planetario, haciendo la función de rueda y transmitiendo a los pares finales como se muestra en el esquema y logrando con una reducción: 1 768, una salida de 0.5 r.p.m., siendo las relaciones de transmisión:

$$i_{T1} = 1768 = i_1 * i_2 * i_3 * i_4 * i_5 \quad (1)$$

$$i_1 = 5.554$$

$$i_2 = 5.554$$

$$i_3 = 1.232$$

$$i_4 = 6.82$$

$$i_5 = 6.82$$

Cuando el movimiento se inicia por el motor número 2, se acciona el sol (elemento motriz) y éste a los satélites, siguiendo el movimiento por la rueda interior del bastidor para continuar por los engranes finales $Z_5 - Z_6$ y $Z_7 - Z_8$, logrando una velocidad final de 3.6 para una relación de transmisión total de 246, siendo las relaciones del siguiente modo, según esquema.

$$iT_{11} = 246 = i_3 * i_4 * i_5 \quad (2)$$

$$i_3 = 5.289$$

$$i_4 = 6.82$$

$$i_5 = 6.82$$

En esta transmisión los ejes geométricos de varias ruedas dentadas se desplazan en el espacio; por eso se llaman planetarios.

Los satélites están engranados con el sol y con el bastidor inmóvil y se mueve con movimiento compuesto, gira respecto a su eje y junto con el conector rueda alrededor del piñón – sol.

En el cálculo geométrico de esta transmisión se consideraron las condiciones de:

1. Condición para la coincidencia de los ejes.
2. Condición de velocidad.
3. Condición de montaje.

Esta transmisión tiene un alto rendimiento y las dimensiones son relativamente pequeñas por lo que se pueden transmitir grandes fuerzas y grandes relaciones de transmisión. El cambio de las relaciones de transmisión se logra mediante un embrague.

RESULTADOS DEL TRABAJO

Caracterización del árbol del reductor

El árbol presenta 460 mm de largo con varios escalones de diámetros 120, 150, 160, 170, y 180 mm; el material es de acero 40CrNi según la Norma Cubana (acero aleado al Cromo Níquel); tiene un piñón de 13 dientes, módulo 12, el diámetro de pie del diente es de 129 mm, el diámetro primitivo es de 156 mm y el de cabeza del diente es de 180 mm; la altura del diente es de 25.5 mm

con un paso de 37.6 mm. El piñón está acoplado a un portasatélite (y éste acoplado por una unión por chaveta); también tiene acoplado tres cojinetes, un separador y por el interior un eje solidario.

Entre los datos constructivos del piñón más relevantes encontramos:

Módulo: $m = 12$

Número de dientes: $z_1 = 13$; $z_2 = 86$.

Datos para el control y la posición de los flancos: $s = 16,644$; $h = 3.0288$.

Rueda conjugada: $\varnothing 200$, de Ac 40CrNi (NC – 57. 39: 84).

Espesor del diente: $e = 18.84$ mm

Verificación del diseño de árbol

Con el desarrollo de la informática a partir de los años 70 del siglo pasado, los modelos basados en métodos numéricos comenzaron su evolución. El método de los elementos finitos, entre otros (diferencias finitas, volúmenes finitos...) ha sido el más utilizado. Otras técnicas más recientes, permiten eliminar ciertos problemas que aparecen en el caso de grandes deformaciones como las distorsiones de mallado.

El interés creciente por la modelación numérica se debe entre otros al hecho que permite el acceso a campos de valores de variables termomecánicas como tensiones, temperaturas, deformaciones plásticas, etc., que difícilmente son mensurables a través de ensayos experimentales, con una relación coste/precisión interesante, y en consecuencia, ayuda a una mejor comprensión de lo que sucede.

Los cálculos de verificación del diseño fueron definidos a partir de la utilización de los software profesionales SolidWorks y Cosmos Works que permiten realizar el análisis de tensiones (esfuerzo estático, utilizando el criterio de Von Misses), desplazamientos y coeficiente de seguridad. El material utilizado fue tomado de la biblioteca de materiales del Cosmos Works.

El material de la pieza es acero 40CrNi y sus propiedades mecánicas después del termomejorado son:

Límite de fluencia (kgf/mm^2): 110 [1 100 MPa]

Límite de rotura (kgf/mm^2): 130 [1 300 MPa]

Alargamiento relativo (%): 12

Extracción relativa (%): 48

Resiliencia (kg m/cm^2): 6

Dureza (HRC): 40 a 45.

Este material se recomienda para elementos de gran responsabilidad. Tienen alta tenacidad y gran templabilidad. Se utiliza en estado de mejoramiento.

A partir de la utilización de este software, éste plantea una definición mediante una escala de colores; las tensiones, desplazamiento y el factor de seguridad, tres aspectos fundamentales para el diseño de la pieza.

Tensiones:

Como se puede apreciar de la Figura 3, las tensiones máximas alcanzan los valores aproximados de 5 447 kgf/cm² en la zona de la base de los dientes.

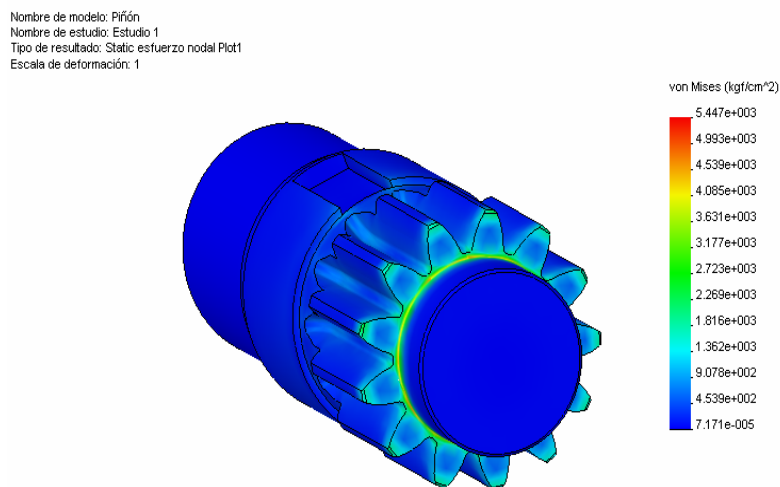


Figura 3. Tensiones máximas evaluadas con Cosmos Works.

Los resultados de las tensiones obtenidos son razonables, ya que las deformaciones no tienen una magnitud significativa, dependen principalmente de la variación de propiedades mecánicas.

Desplazamiento:

Según la Figura 4, el valor máximo de desplazamiento se alcanza en la zona de la cabeza de los dientes del piñón y está en el orden aproximado de 0.0512 mm , lo que resulta despreciable para el funcionamiento del árbol.

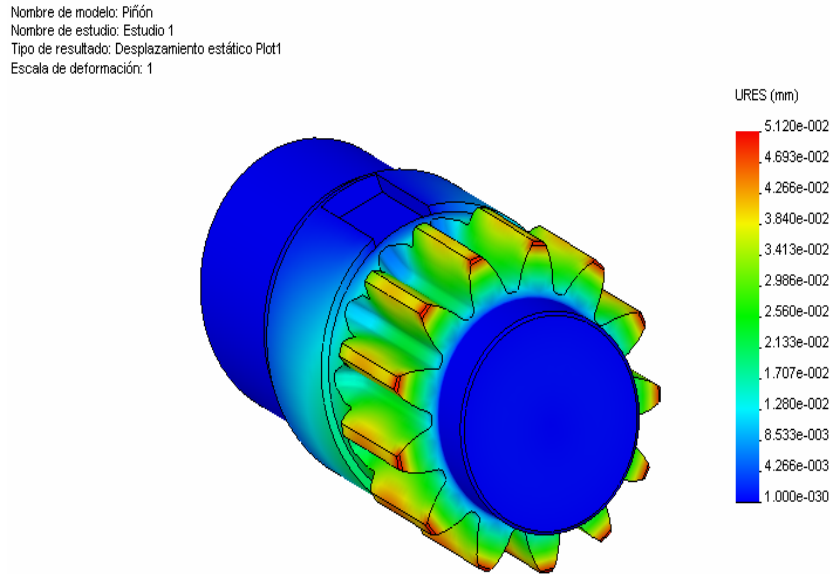


Figura 4. Desplazamientos evaluados según Cosmos Works.

Factor de seguridad:

La interpretación de los valores del factor de seguridad, a partir de la utilización del Cosmos Works se define mediante las siguientes afirmaciones:

- Un factor de seguridad inferior a 1.0 en una ubicación significa que el material de esa ubicación ha cedido y que el diseño no es seguro.
- Un factor de seguridad de 1.0 en una ubicación significa que el material de esa ubicación ha empezado a ceder.
- Un factor de seguridad superior a 1.0 en una ubicación significa que el material de esa ubicación no ha cedido.

Según la Figura 5, el menor factor de seguridad es de aproximadamente 1.16 y se alcanza en los dientes, lo cual significa que el material no ha cedido a los esfuerzos y que el diseño es seguro.

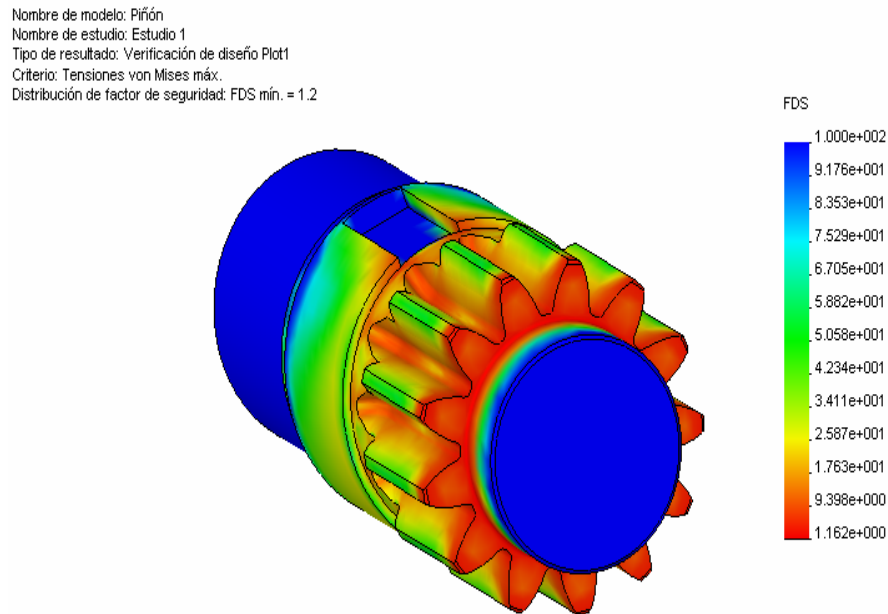


Figura 5. Factor de seguridad obtenido con Cosmos Works.

Tecnología de fabricación

A continuación se muestra en la Tabla 1 la ruta tecnológica de fabricación del árbol motriz.

El tratamiento térmico de la pieza consiste en un temple y revenido. El temple se realiza a una temperatura de 820 °C y enfriamiento en aceite. El revenido se realiza a una temperatura entre 420 y 450 °C.

La tecnología de fabricación desarrollada permite la adecuación de su fabricabilidad a las condiciones de la Industria Azucarera en Cuba.

Tabla 1. Ruta tecnológica de fabricación del árbol del reductor planetario.

Ruta tecnológica de fabricación del árbol del reductor planetario.			
Tipo de pieza en bruto: Laminada		Material: AC 40CrNi	No. de piezas: 1
Operación	Contenido de la operación	Máquina o Instrumento	Dispositivo
005	Corte de la pieza en bruto	Sierra Circular 8B663	Mordazas
010	Operación de control	Cinta métrica	
015	Torneado	Torno 1M63	Plato autocentrante
020	Operación de control	Pie de rey universal	
025	Taladrado	Taladradora 2M55	Plato autocentrante
030	Operación de control	Micrómetro para interiores	
035	Torneado	Torno 1M63	Plato autocentrante
040	Operación de control	Pie de rey universal	
045	Torneado	Torno 16K20.	Plato autocentrante
050	Operación de control	Pie de rey universal	
055	Fresado (elaboración del chavetero)	Fresadora 692P	Bancada
060	Operación de control	Pie de rey universal	
065	Rectificado	Rectificadora 3A151	Muelas Abrasivas
070	Operación de control	Micrómetro, muestrario de rugosidad.	
075	Tallado	Fresadora universal 6P82	Bancada
080	Operación de control	Pie de rey para medición de engranajes, Muestrario de	

		rugosidad.	
085	Tratamiento Térmico (40...45 HRC)	Horno Eléctrico	
090	Control Técnico.	Durómetro	

CONCLUSIONES

- Se realizó el diseño y el planteamiento de la tecnología de fabricación del árbol del reductor planetario para la grúa puente de dos velocidades, empleado en montaje y desmontaje de las mazas de los molinos de los Centrales Azucareros.
- Se realizó la verificación del diseño del árbol empleando la simulación numérica a través de los software SolidWorks y Cosmos Works.

AGRADECIMIENTOS

El colectivo de autores agradece la colaboración del Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), de la Provincia de Holguín, para el desarrollo de esta investigación.

BIBLIOGRAFÍA

- Almaral, A. Diseño y fabricación del piñón-eje de un reductor planetario. Holguín; Universidad "Oscar Lucero Moya": Facultad de Ingeniería, 2008. 61 h. (Tesis de grado).
- Álvarez, J. Elementos de Máquinas: manual Complementario / J. Alvarez, G. Pérez. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1986. 134 p.
- Balakshin, B., Fundamentos de la tecnología de construcción de maquinaria. Moscú: Editorial Mir, 1974. 591 p.
- Casillas, A. L. Máquinas: cálculo de taller. La Habana: Edición Revolucionaria, 1989. 643 p.
- Congreso de Máquinas-Herramienta y Tecnologías de Fabricación'2004 (15.: 2004: San Sebastián: España). Modelación numérica del proceso de formación de viruta: estudio de sensibilidad de parámetros de entrada / J. Arrazola, S... [et al.]. Lugar; ISPJAE, 2004. 250p.
- Martínez, F. Teoría y Tecnología del tratamiento térmico / F. Martínez, J. Gordon. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1985. 276 p.
- Principios del diseño universal o diseño para todos. [documento en línea]. <http://www.go.microsoft.com/fwlink/?LinkId=69157> [Consultado: 19 mayo 2008].
- Reductor Planetario: engranaje planetario. [documento en línea]. <http://www.patentados.com> [Consultado: 19 mayo 2008].

Reductores Planetarios: Serie S Alto Torque, [documento en línea].
<http://www.sew-eurodrive.es/news/torque.htm> [Consultado: 19 mayo 2008].
Tecnología de la construcción de maquinaria / M. E. Egorov... [et al.]. La Habana: Editorial Pueblo y Educación, 1985. 2 t.

DATOS DE LOS AUTORES:

(1) Dra.C. Ing. Ana María Quesada Estrada. Profesora Auxiliar.
aguesada@facing.uho.edu.cu

(1) Dr. C. Ing. Roberto Pérez Rodríguez. Profesor Titular.
roberto.perez@facing.uho.edu.cu

(1) M.Sc. Ing. Luis Wilfredo Hernández González. Profesor Auxiliar.
wilfredo@facing.uho.edu.cu

(1) Ing. Armando Almaral Miranda. armando@facing.uho.edu.cu

Colaboradores:

(1) M.Sc. Luminita Dumitrescu. Profesora Auxiliar¹.
dumitrescul@facing.uho.edu.cu

(2) M.Sc. Ing. Flor María Zellek Libera².

CENTRO DE TRABAJO: (1) Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín "Oscar Lucero Moya". Carretera Vía Guardalavaca, Gaveta Postal 57, 80100. Holguín. Cuba.

(2) Instituto Cubano de Investigaciones Azucareras (ICINAZ), Provincia de Holguín

Fecha de recepción: 20 de Noviembre de 2009

Fecha de aprobación: 29 de Enero de 2010

Fecha de Publicación: 31 Marzo de 2011