

Análisis de molino de caña de azúcar por método de elementos finitos

Raudel Flores-Moreno¹
Ramiro Martínez-Cruz¹
Alma Alicia Gómez Gómez²
Carlos Ernesto Luquez Gaitan^{2,§}

1 Universidad Politécnica de Texcoco. Carretera Federal Los Reyes-Texcoco km 14.2 San Miguel Coatlinchan, Texcoco de Mora, Estado México, México. CP. 56250. Tel. 595 9576886. (raudel.flores@uptex.edu.mx; ramiro.martinez@uptex.edu.mx).

2 Universidad Autónoma Chapingo. Carretera México-Texcoco km 38.5, Chapingo, Texcoco, Estado México, México. CP. 56230. Tel. 55 5405 6986. (agomezg@chapingo.mx).

Autor para correspondencia: carlosluquezgaitan@gmail.com

Resumen

Se efectuó un estudio de tensiones y deformaciones del conjunto eje-corona con chavetas tangenciales de una maza de los molinos de caña de azúcar (*Saccharum officinarum*) del tándem de un central azucarero en octubre de 2025. El estudio surge debido a la necesidad de efectuar modificaciones durante el montaje del conjunto eje-corona en la etapa de reparaciones, consistentes en maquinar el diámetro interior de las coronas con vistas a disminuir los niveles de interferencia y de esa forma economizar combustible durante la fase de calentamiento de las coronas durante el montaje y posterior desmontaje. En esta forma se varía el estado de pretensión de la unión eje-corona, es predecible un incremento de las tensiones sobre los chaveteros al corresponderles mayor cuota de transmisión del torque. El estudio fue abordado con herramientas de diseño asistido por computadora, empleando el análisis por elementos finitos, para determinar el estado tensional y deformación al del conjunto. Como resultado se determinó que, con una interferencia de 0.5 mm, siendo la interferencia original de 2 mm, el conjunto podía trabajar con un coeficiente de seguridad superior al de los dientes de la corona, que constituyen el punto crítico del conjunto. El ahorro de combustible en los procesos de calentamiento durante el montaje y desmontaje representó un 45.8% del consumo original.

Palabras clave:

Saccharum officinarum, chavetas tangenciales, eje-corona.



License (open-access): Este es un artículo publicado en acceso abierto bajo una licencia **Creative Commons**

Introducción

Anualmente, durante el período de reparaciones en los centrales azucareros e incluso, durante el periodo de zafra, se hace necesario proceder al desmontaje de los tandems de molinos con vistas a la reparación o sustitución de alguno de sus componentes (Hernández-Rivera, 2018). Una vez realizadas las reparaciones necesarias, se procede nuevamente a su montaje.

La magnitud y el peso de sus componentes (mazas, ejes, coronas) exigen el uso de equipos de levante pesado y procedimientos de seguridad estrictos, alargando las fases de desmontaje y montaje (Quexel, 2004). Las coronas son capaces de transmitir altos momentos y producen grandes fuerzas en los dientes de estas, con las consecuentes deformaciones de dichos elementos, producto de los golpes durante el funcionamiento.

Cuando el sistema pierde su capacidad de trabajo se necesita el desmontaje para someterlas a recubrimiento y maquinado, como vía para su recuperación (Moya *et al.*, 2011). Cuando la interferencia es demasiada o los coeficientes de recubrimiento de las coronas sea igual o menor a la unidad, se pierde la continuidad del contacto para la transmisión del torque. Por lo que se originan cargas dinámicas adicionales resultantes mucho mayores que las esperadas y una pérdida de la capacidad de trabajo de los elementos (Mendoza-Fernández *et al.*, 2013).

El proceso de desmontaje y montaje de las coronas se torna complejo, provocando un alto consumos de combustible durante el tiempo de duración del proceso de precalentamiento. Disminuir el nivel del ajuste por interferencia en la unión eje-corona mejora las condiciones de contacto, evitando choques en los dientes, disminuyendo el deterioro y las cargas dinámicas en los molinos.

La determinación del nivel de ajuste por interferencias y de las cargas dinámicas durante la operación del molino es prácticamente imposible, por lo que se hace necesario utilizar modelos dinámicos de simulación (Moya *et al.*, 2011).

Bajo estas restricciones es posible aplicar los métodos clásicos de la resistencia de materiales para el caso de cilindros de paredes gruesas (Dobrovolski *et al.*, 1980; Reshetov, 1985), basadas en las teorías de Lamé (basada en el criterio de falla por esfuerzo cortante máximo) o de Birnie (basada en el criterio de falla por deformación máxima).

En las uniones eje-corona de los molinos cañeros, los elementos que conforman la unión por interferencia presentan una alta complejidad en cuanto a sus configuraciones, por lo que el uso de los métodos clásicos de cálculo no es recomendado. En el caso de las transmisiones mediante chavetas tangenciales las dificultades son aún mayores (Dubbel, 1969).

La integración de herramientas de diseño asistido por computadora (CAD) y del método de los elementos finitos (MEF) es fundamental en los procesos industriales actuales, como en la fabricación de azúcar, ya que permiten el modelado, simulación y optimización de equipos y procesos complejos con gran precisión y eficiencia (Zienkiewicz *et al.*, 2013; Flores-Moreno *et al.*, 2009; Lee, 2022; Berrone *et al.*, 2026; Liu *et al.*, 2026; Zhang, *et al.*, 2026).



Específicamente, en la producción de azúcar, las simulaciones por elementos finitos ayudan a analizar fenómenos como los esfuerzos en piezas y mecanismos, contribuyendo significativamente a mejorar la productividad (Owen *et al.*, 1998; Martínez *et al.*, 2009; García *et al.*, 2021). El MEF se ha aplicado con resultados satisfactorios en el análisis de uniones por interferencia (Madej y Sliwka, 2021; Nagib-Elmekawy *et al.*, 2023).

El objetivo fue calcular los mínimos niveles de interferencia, que garanticen la transmisión del torque requerido en los molinos de caña de azúcar, sin ocasionar fallas en el conjunto eje-chaveta-corona, centrando la atención en la corona, que constituye el elemento crítico del conjunto en cuanto a durabilidad y periodicidad de su reparación o cambio (Rodríguez *et al.*, 2000).

Materiales y métodos

La investigación realizada en octubre de 2025 tuvo como objeto un molino de extracción del jugo de la caña de azúcar. Sobre la base de estos métodos analíticos, la presión (p_c) generada en la superficie de contacto de una unión por interferencia cubo-eje puede determinarse como:

1

$$p_c = \frac{A_p}{d_c \left[\frac{d_c^2 + d_i^2}{E_i(d_c^2 - d_i^2)} + \frac{d_o^2 + d_c^2}{E_o(d_o^2 - d_c^2)} - \frac{\mu_i}{E_i} + \frac{\mu_o}{E_o} \right]}$$

1). Donde: A_p = apriete o interferencia total del ajuste; d_i = diámetro interior del elemento interno (eje); d_c = diámetro de la superficie de contacto; d_o = diámetro exterior del elemento externo (cubo); μ_i = coeficiente de Poisson del eje; μ_o = coeficiente de Poisson del cubo; E_o = módulo de elasticidad del material del cubo; E_i = módulo de elasticidad del material del eje.

En el caso de las tensiones radiales (σ_r) en la zona de contacto eje-cubo, su magnitud coincidirá con la presión de contacto p_c , mientras que las tensiones circunferenciales (σ_t) estarán dadas por la teoría de Lamé:

$$2 \quad \sigma_{to} = \frac{2 \cdot p_c \cdot d_c^2}{d_o^2 - d_c^2}; \sigma_{tco} = p_c \left[\frac{d_o^2 + d_c^2}{d_o^2 - d_c^2} \right]; \sigma_{tci} = -p_c \left[\frac{d_c^2 + d_i^2}{d_c^2 - d_i^2} \right]; \sigma_{ti} = \frac{-2 \cdot p_c \cdot d_c^2}{d_c^2 - d_i^2}$$

2) y por la teoría de Birnie:

$$3 \quad \sigma_{to} = \frac{2 \cdot p_c \cdot d_c^2}{d_o^2 - d_c^2}; \sigma_{tco} = p_c \left[\frac{d_o^2 + d_c^2}{d_o^2 - d_c^2} + \mu_o \right]; \sigma_{tci} = -p_c \left[\frac{d_c^2 + d_i^2}{d_c^2 - d_i^2} - \mu_i \right]; \sigma_{ti} = \frac{-2 \cdot p_c \cdot d_c^2}{d_c^2 - d_i^2}$$

3). Donde: σ_{to} = tensión circunferencial en la superficie exterior del elemento externo (cubo); σ_{tco} = tensión circunferencial en la superficie de contacto del elemento externo; σ_{tci} = tensión circunferencial en la superficie de contacto del elemento interno (eje); σ_{ti} = tensión circunferencial en la superficie interior del elemento interno (en caso de eje hueco).

El estudio fue abordado con métodos de diseño asistido por computadora (CAD), empleando el software autodesk inventor profesional para la digitalización 3D de los diferentes componentes del conjunto objeto de estudio. También mediante la aplicación de análisis por elementos finitos (MEF), se determinan las tensiones ocasionadas por diferentes niveles de interferencia del conjunto eje-chavetas-corona, centrando la atención al caso de la corona que constituye el elemento crítico del conjunto.

Durante la simulación, se aplicaron diferentes presiones entre el eje de la maza y la corona dentada, calculando la deformación correspondiente a dichos niveles de presiones. De esta forma, efectuando un análisis inverso, se determinaba la presión que provocaba determinado nivel de interferencia entre ambos elementos, para lo cual se consideró tanto la deformación del eje en la dirección radial, como la de la corona.

Una vez determinada la presión ocasionada por determinado nivel de interferencia, se calculaba la fuerza de fricción circunferencial máxima entre la corona y el eje, así como el torque posible a transmitir sobre la base únicamente del ajuste forzado. Restando este torque del torque total que debe transmitir el conjunto, pudo determinarse qué parte del torque a transmitir correspondía a las chavetas, a partir de lo cual, se procedía al cálculo de comprobación de su resistencia.

Las propiedades mecánicas de los materiales empleados en los análisis de resistencia y deformaciones de las coronas poseen la siguiente composición química: C (0.5%); Si (0.2%); Mn (0.65%); P (0.035%); S (0.028%). Las propiedades mecánicas del material de las coronas poseen resistencia a la tracción 550 MPa, límite de fluencia de 320 MPa, alargamiento del 12%, reducción del área del 20% y una dureza Brinell de 166 HB.

Los valores del módulo de elasticidad ($E = 2 \times 10^{11}$ MPa) y del coeficiente de Poisson, ($\mu_p = 0.29$) fueron tomados de la biblioteca de Autodesk, correspondientes a acero al carbono, al igual que el resto de las propiedades mecánicas para los ejes y las chavetas. Como objeto de estudio para el cálculo y ejecución de las modificaciones al nivel de interferencia eje-corona, se tomó la corona correspondiente a la maza cañera del primer molino de un tándem de seis.

Durante el desmontaje de la unión con nivel de interferencia original, mediante calentamiento empleando un mechero de combustible diésel, fue contabilizado el volumen de combustible empleado en esta operación. Una vez maquinada la corona al nuevo nivel de interferencia calculado, fue montada al eje, contabilizándose el combustible consumido en el proceso de calentamiento.

Durante el periodo de zafra, se coordinó con la oficina de maquinaria del Central, efectuar un control diario del funcionamiento del conjunto objeto de modificaciones y la anotación de cualquier anomalía detectada. Al finalizar la zafra se procedió al desarme del conjunto y se procedió a efectuar un examen del estado técnico del mismo, así como su comparación con el estado técnico del resto de los conjuntos eje-corona de los molinos sometidos a desarme. Durante la operación de desarme, se volvió a medir el consumo de combustible empleado en el proceso de calentamiento en todos los casos, promediándose dichos consumos.

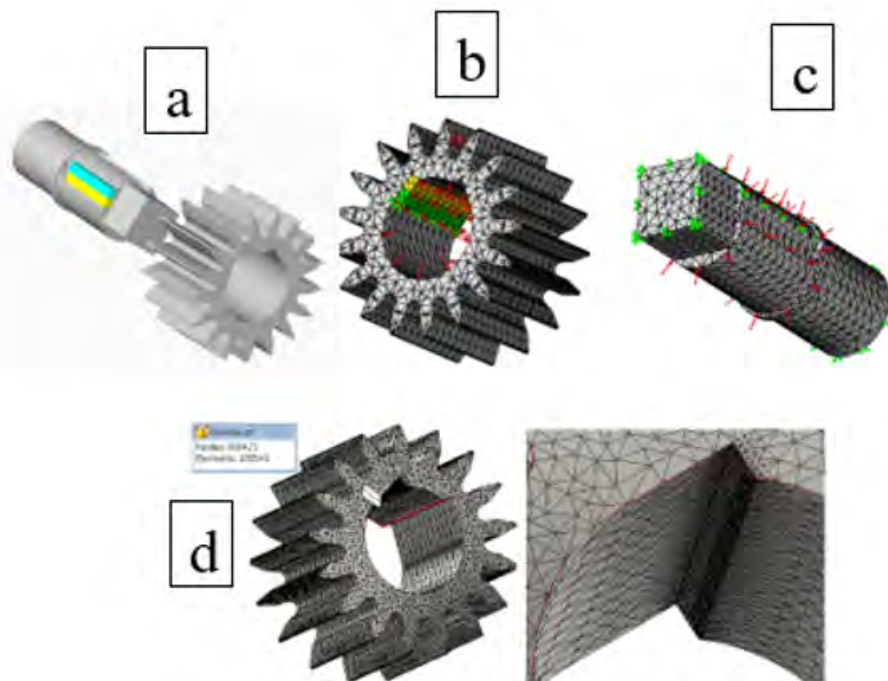
Resultados y discusión

Determinación de la relación presión-interferencia

La Figura 1 muestra la digitalización realizada a dicha unión con vistas a su análisis empleando el método de los elementos finitos, pudiendo apreciarse el mallado y la aplicación de cargas y restricciones realizadas durante la aplicación de dicho método. Como tamaño de malla, a partir de un análisis de convergencia, se aplicó un tamaño medio para los elementos de 15 mm, con un refinamiento de malla de tamaño medio de 4 mm, aplicado en las zonas de contacto chaveta-corona (Figura 1d) y chaveta-eje, resultando para la corona un total de 105 549 elementos con 168 421 nodos.



Figura 1. a) modelo 3D; b y c) mallado, cargas y restricciones para análisis por MEF; y d) refinamiento de mallado en la zona de contacto entre chaveta-corona.

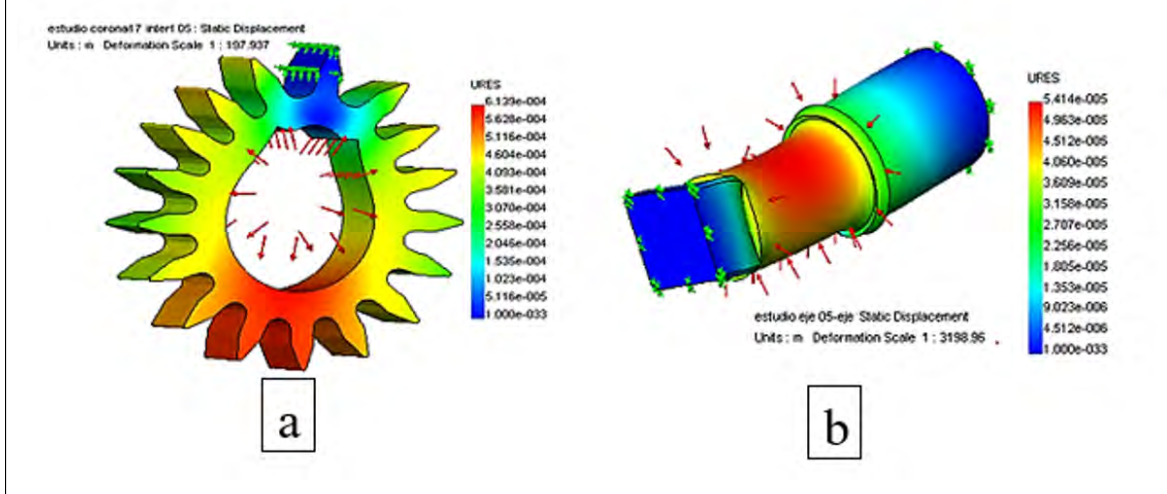


Estos resultados se avalan un estudio realizado por López-Ortiz *et al.* (2024), donde se detallan las consideraciones necesarias para crear un modelo computacional fiable que pueda ser validado con criterios específicos. En el estudio usan elementos Shell, para el estudio de impacto en carrocerías de autos con un tamaño máximo de 50 mm y mínimo de 16.62 mm con total de 15 530 nodos y 23 403 elementos. En comparación en su estudio emplean elementos de mayor tamaño teniendo como resultado menor número de nodos y de elementos.

Parte de las corridas de análisis por elementos finitos que permitieron determinar la deformación correspondiente a un nivel de presión dado y viceversa, se muestra en la Figura 2. En estos tipos de molinos se busca disminuir la interferencia y en el caso de este estudio se logra un ajuste por interferencia con niveles del orden de 0.5 mm a la altura del diámetro horizontal de la corona, provocado por una presión $p = 19.6$ MPa.



Figura 2. Análisis de presiones y deformaciones en la interferencia por MEF: a) corona y b) eje.

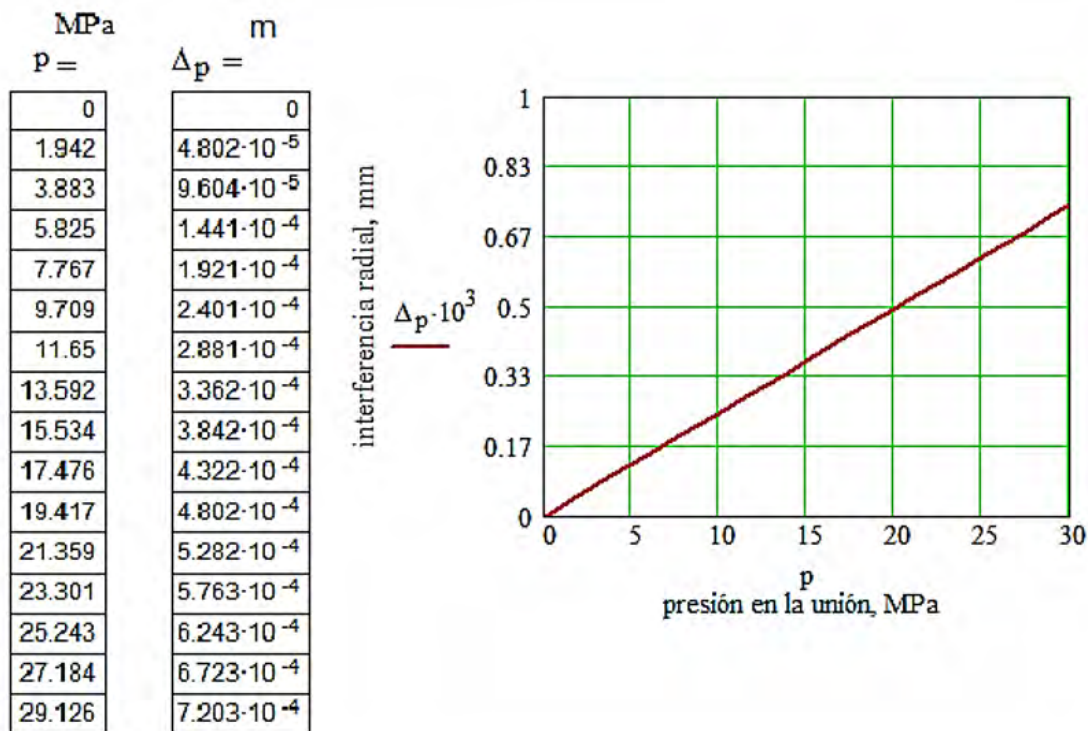


Según estudios realizados por Moya *et al.* (2011), producto de ser la capa soldada más dura, los dientes no pueden fluir y esto engendra cargas enormes sobre el molino, produciéndose las roturas de otros elementos. Cuando el valor del coeficiente de recubrimiento disminuye y llega a ser inferior a la unidad se producen altas cargas dinámicas en el molino; por tanto, hay que lograr para todas las aberturas del molino un valor mayor que 1 (Moya *et al.*, 2011).

El resultado de la evaluación del cálculo de la interferencia producto de la programación en Mathcad de la ecuación de Lamé, sobre una geometría simplificada de la unión, sin considerar el rebajo de los chaveteros ni el tallado de los dientes de la corona, se muestra en la Figura 3.



Figura 3. Resultado del cálculo de la interferencia de la unión eje-corona mediante la ecuación de Lamé.



De la Figura 3 puede apreciarse una alta coincidencia entre ambos métodos, resultado durante el cálculo analítico, valores ligeramente superiores de la presión que provoca un mismo nivel de interferencia. En el caso de una interferencia de 0.5 mm, se obtiene por el método analítico una presión de 20.2 MPa, superior en un 2.97% a la calculada, para la misma interferencia, mediante el análisis por elementos finitos (19.6 MPa).

Las causas fundamentales de las fallas de las coronas de molinos de caña de azúcar son varias, pero entre las principales esta la interferencia entre los flancos del diente (Moya *et al.*, 2011).

Cálculo del torque que es posible transmitir por la fricción provocada por la interferencia

Una vez conocida la presión que provoca la interferencia (en este caso de 0.5 mm) fue posible determinar la fuerza de fricción circunferencial (F_f), así como la porción del torque (M_f) que puede transmitirse por esta vía o por la vía de la fricción de la unión eje-corona:

4

$$F_f = \mu p A$$

4). Donde: A es el área de contacto entre la corona y el eje, m^2 ; μ es el coeficiente de fricción entre el eje y la corona, $\mu = 0.155$; p es la presión generada en la unión por interferencia, $p = 19.6$ MPa.

El área de contacto entre la corona y el eje se determinó sobre los dibujos digitalizados, empleando la herramienta 'inspect-area' de autodesk inventor, de manera de no considerar el rebajo en la zona de colocación de las chavetas, resultando $A = 0.99$ m^2 . Sustituyendo las magnitudes de A, μ y p en la expresión 4, se obtiene: $F_f = 3 \cdot 10^6$ N. El torque capaz de ser transmitido con dicha fuerza

de fricción estará dado por: $M_f = F_f \cdot r_c$ siendo r_c el radio interior de la corona con valor de 0.285 m. Entonces, sustituyendo en 5, se obtiene: $M_f = 0.855 \cdot 10^6$ Nm.

Cálculo del torque total para transmitir

El torque total que es posible transmitir (M_t) se determina en función de la potencia del motor ($N_m = 630$ kW) y la velocidad de rotación a la salida del reductor ($\omega = 0.18$ rad/s):

$$M_t = \frac{N_m}{\omega} = 1.095 \cdot 10^6 \text{ Nm}$$

Se aprecia que el torque capaz de transmitirse por la fricción ocasionada por la interferencia (M_f) representa el 77% del torque total a transmitir (M_t). En el estudio realizado por Torres y Eras (2010) se observa un torque a transmitir por la corona de 7 162 Nm el estudio actual maneja un torque 15 veces mayor, coherente con una mayor potencia y menor velocidad.

Torres asume transmisión solo por engranaje; el estudio actual demuestra que la fricción por interferencia domina la transmisión. Los resultados del estudio actual sugieren que los modelos de coronas de molino deberían incorporar el efecto de la fricción/interferencia, ya que este puede ser el mecanismo principal, especialmente en condiciones de baja velocidad y alto torque.

La fuerza aplicada al diente del engranaje (F_t) de la corona, correspondiente al torque total (M_t), se determinó como:

$$F_t = \frac{M_t}{r_d}$$

Donde: r_d es la distancia desde el centro del eje hasta la zona de contacto de los dientes durante la transmisión del torque ($r_d = 0.5053$ m). Entonces, sustituyendo en 7: $F_t = 2.168 \cdot 10^6$ N.

Cálculo de la fuerza a transmitir por las chavetas

La fuerza para aplicar al diente del engranaje para transmitir el torque de fricción es:

$$F_{fd} = \frac{M_f}{r_d} = 1.678 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Descontando esta fuerza de la fuerza total, se determina la fuerza resultante (F_r) a aplicar que le corresponde transmitir a las chavetas:

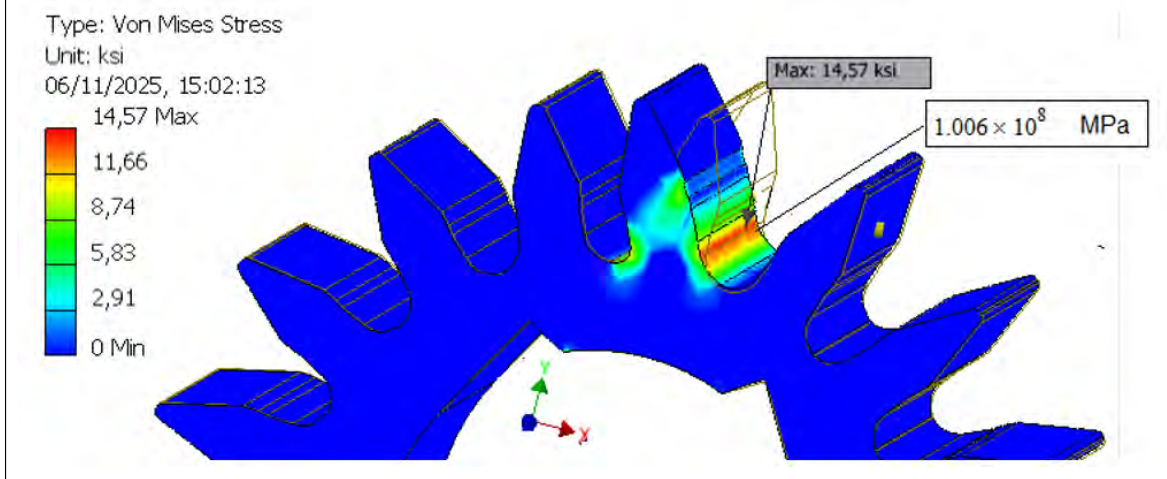
$$F_r = F_t - F_{fd} = 0.49 \cdot 10^6 \text{ N}$$

Determinación de las tensiones en la corona

En la Figura 4 se muestra la distribución de tensiones en la corona, determinada mediante análisis por elementos finitos bajo la aplicación de las cargas anteriormente calculadas. Como puede apreciarse las tensiones equivalentes máximas de Von Mises, se localizan en las proximidades de la base del diente de la corona que transmite el torque, alcanzando un valor de 100 MPa.



Figura 4. Distribución de las tensiones equivalentes de Von Mises en la corona.



Comparando las tensiones equivalentes máximas en la zona de contacto de las chavetas con la corona, con el límite de fluencia del material de la corona (320 MPa), se obtiene el coeficiente de seguridad (ecuación 11):

$$11 \quad n_{ch} = \frac{320}{72.5} = 4.4.$$

El coeficiente de seguridad que se obtiene para el caso de los dientes de la corona (ecuación 12) es:

$$12 \quad n_{ch} = \frac{320}{100} = 3.$$

De esta manera se comprueba que, a pesar de la reducción del nivel de interferencia, el fallo de la corona continuaría produciéndose en el diente y no en la zona de contacto con la chaveta. En estudios donde se analiza el cambio del factor de seguridad en diferentes condiciones; su valor se incrementa de 0.959 en un modelo simplificado a 3.48 en el guijo; en el cambio de sección, el factor de seguridad disminuye de 1.07 a 0.53. La variación en la magnitud del torque consumido por el molino se determina a partir de su factor de servicio, que es habitualmente de 1.2 (Murillo *et al.*, 2004).

Resultados de la aplicación del nuevo nivel de interferencia

Durante el desmontaje del conjunto eje-corona objeto de estudio, correspondiente a un tándem de molinos de un central azucarero de la provincia Mayabeque, Cuba, con el nivel de interferencia original de la unión ($A_{po} = 2$ mm), se consumió un volumen de combustible ascendente a 120 L durante el proceso de dilatación por calentamiento con un mechero empleando combustible diésel.

Una vez sometida a un proceso de maquinado con el nuevo ajuste por interferencia ($A_{po} = 0.5$ mm), se procedió al montaje de la corona, consumiéndose en su dilatación 65 L, economizándose 55 L, lo que representó un 45.8% de ahorro de combustible diésel. Considerando que en cada molino existen tres uniones eje-corona, entonces la economía de combustible por cada molino, si se consideran ambos procesos de montaje y desmontaje, ascendería a 165 L y para un tándem de seis molinos el ahorro calculado resultaría de 990 L.

Durante el monitoreo del funcionamiento de la unión objeto de modificación, no fueron detectadas deficiencias en su funcionamiento durante el periodo de zafra. Según lo reportado por Moya *et al.* (2011), las causas principales de roturas en sistemas reparados por recubrimiento se deben al aumento de la dureza de los dientes, producto de ser la capa soldada más dura, los dientes no pueden fluir y esto engendra cargas enormes sobre el molino; produciéndose las roturas de otros elementos.

Determinar el valor correcto de interferencia (0.5 mm) se garantiza una operación adecuada. No es aconsejable aumentar la rigidez del diente a no ser que se garantice el contacto ininterrumpido de los mismos, en este estudio se logra obtener el valor de interferencia que garantiza la continuidad del contacto entre los dientes.

Conclusiones

La aplicación de este método en el cálculo de una transmisión por chavetas tangenciales y unión por interferencia eje-corona de molinos de caña de azúcar, arrojó que, con una interferencia del orden de los 0.5 mm es posible transmitir el 77% del torque requerido a través de la unión chaveta-corona, con un coeficiente de seguridad con relación a la fluencia superior a cuatro y manteniéndose la base de los dientes de la corona como puntos más peligrosos del conjunto.

La economía de combustible diésel, invertido durante el montaje o desmontaje de la corona modificada, resultó un 45.8% del combustible consumido con el nivel de interferencia original del conjunto. Durante el seguimiento al funcionamiento y estado técnico del conjunto modificado, durante el periodo de zafra y reparaciones, no fueron detectadas deficiencias o afectaciones achacables a las modificaciones efectuadas.

Bibliografía

- 1 Berrone, S.; Neva, L.; Pintore, M.; Teora, G. and Vicini, F. 2026. The zipped finite element method: high-order shape functions for polygons. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 458(10):119060. <https://doi.org/10.1016/j.cma.2026.119060>.
- 2 Dobrovolski, V. A.; Zablonki, K. N.; Mak, S. P.; Radchik, A. A. y Erlij, L. N. 1980. Elementos de máquinas. Ensayo Ciencia Mecánica. 3^{ra} edición. Editorial MIR. Rusia, Unión Soviética, Moscow. 323-356 pp.
- 3 Dubbel, H. H. 1969. Manual del constructor de máquinas tomo I. Editorial Labor, SA. España. 806 p.
- 4 Flores-Moreno, R.; Rodríguez, A. M. and Montes, J. S. 2009. Análisis por elementos finitos de cargas de impacto. Estudio de caso de viga de tren de rodaje de remolque agrícola. *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 18(4):21-27.
- 5 García, M. A.; Fernández, A. F. and López, D. E. 2021. Fluid-structure interaction analysis of a centrifuge basket in sugar cane processing. *Engineering Failure Analysis*. 128(18):105605. <https://doi.org/10.1016/j.engfailanal.2021.105605>.
- 6 Hernández-Rivera, E. 2018. Manual de procedimientos para la reparación de molinos. Tesis de Ingeniería en Mantenimiento Industrial. Reporte de proyecto. Universidad Tecnológica del Centro de Veracruz. Central Progreso, SA. de CV. México. 59 p.
- 7 Lee, K. K. 2022. Principles of CAD/CAM/CAE systems. Addison-Wesley. 45-67 pp.
- 8 Liu, Z.; Ma, R. and Zhang, M. M. 2026. A new mixed finite element method for the Cahn-Hilliard equation, *Computers and mathematics with applications*. 216(8):162-176. <https://doi.org/10.1016/j.camwa.2026.05.010>.
- 9 López-Ortiz, S. A.; Abarca-Pérez, E. P.; Sánchez-Carrión, E. F. and Quinga-Morales, M. I. 2024. Metodología para la simulación de un ensayo de impacto mediante el MEF. *Ingeniería, Tecnología e Investigación Revista Científica INGENIAR*. 7(14):131-146.

- 10 Madej, J. M. and Śliwka M. A. 2021. Analysis of Interference-Fit Joints. *Applied Sciences*, 11(23):11428-11428. <https://doi.org/10.3390/app112311428>.
- 11 Martínez, E. L.; González-Quiroga, A.; Jardini, A. L. and Maciel-Filho, R. 2009. Computational fluid dynamics simulation of the water-sugar cane bagasse suspension in pipe with internal static mixer. Jeżowski, J. and Thullie, J. (Editors). *Computer Aided Chemical Engineering*. Elsevier. 26(19):683-688. [https://doi.org/10.1016/S1570-7946\(09\)70114-2](https://doi.org/10.1016/S1570-7946(09)70114-2).
- 12 Mendoza-Fernández, A.; Cabello-Ulloa, M. J.; Cabello-Eras, J. J.; Goytisol-Espinosa, R. y Moya, R. J. 2013. Modelación del contacto entre dos pares de dientes en las coronas de molinos de caña. *Ingeniería Mecánica*. 16(3):178-185.
- 13 Moya R. J.; Velázquez-Pérez, J.; Goytisol-Espinosa, R. and Machado-Rodríguez, A. 2011. Dynamic modeling of sugar cane mills. *Centro Azúcar Journal*. 38(4):53-59. <https://centroazucar.uclv.edu.cu/index.php/centro-azucar/article/view/391>.
- 14 Murillo, J. S. R.; Pulecio, S. A. R. y Marín, J. J. C. 2004. Análisis de la confiabilidad de los ejes de molino de caña de azúcar. *Tecnura*. 8(15):45-54.
- 15 Nagib-Elmekawy A. M.; Badr, T. T. and Elgamal H. H. 2023. Interference fit contact finite element modelling and optimization for modal analysis and friction instability. In: *AIAA SciTech forum and exposition 2023*. USA. AIAA. 2023-2233:1-15. <https://doi.org/10.2514/6.2023-2233>.
- 16 Owen, D. R. J.; de Souza, N. E. A.; Zhao, S. Y.; Peri#, D. and Loughran, J. G. 1998. Finite element simulation of the rolling and extrusion of multi-phase materials Application to the rolling of prepared sugar cane. *Computer Methods in Applied Mechanics and Engineering*. 151(3-4):479-495. [https://doi.org/10.1016/S0045-7825\(97\)00173-4](https://doi.org/10.1016/S0045-7825(97)00173-4).
- 17 Quexel, H. B. 2004. Plan de mantenimiento para una máquina cosechadora de caña de azúcar marca Austoft 7700 y posibles causas que provocan las fallas más frecuentes en los motores diésel de las unidades de transporte del Ingenio Tululá SA. Tesis de ingeniería mecánica. Universidad de San Carlos de Guatemala, Facultad de Ingeniería, Escuela de Ingeniería Mecánica (USAC). Guatemala. 121 p.
- 18 Reshetov, D. A. 1985. Elementos de máquinas. Editorial Pueblo y Educación. La Habana, Cuba. 111-112 pp.
- 19 Rodríguez, J. L. M.; Hernández, L. I. N. y Eras, J. J. C. 2000. Aspectos generales sobre el diseño y la recuperación de las coronas de molinos de caña de azúcar. Informe Técnico. Universidad de Cienfuegos. Cuba. 23 p. <https://es.scribd.com/document/469843828/>.
- 20 Torres, L. A. y Eras, J. J. C. 2010. Determinación de un coeficiente de carga dinámica que permita considerar la dinámica del funcionamiento de las Coronas en el cálculo de elementos del molino de caña. Tesis de grado. Facultad de Ingeniería Mecánica. Cienfuegos, Cuba. 50-55 p.
- 21 Zhang, Y. Y; Ding, J. J. and Xie, W. W. 2026. A novel hybrid method comprising of finite element and reduced multibody system transfer matrix methods for vehicle collision simulations, *Computers and Structures*. 328(7):108252. <https://doi.org/10.1016/j.compstruc.2026.108252>.
- 22 Zienkiewicz, O. C.; Taylor, R. L. and Zhu, J. Z. 2013. The finite element method: its basis and fundamentals. 7th Edition. Amsterdam: Elsevier/Butterworth-Heinemann. 714 p. <https://doi.org/10.1016/C2009-0-24909-9>.



Análisis de molino de caña de azúcar por método de elementos finitos

Journal Information
Journal ID (publisher-id): remexca
Title: Revista mexicana de ciencias agrícolas
Abbreviated Title: Rev. Mex. Cienc. Agríc
ISSN (print): 2007-0934
ISSN (electronic): 2007-9230
Publisher: Instituto Nacional de Investigaciones Forestales, Agrícolas y Pecuarias (México)

Article/Issue Information
Date received: 01 June 2026
Date accepted: 01 September 2026
Publication date: 01 September 2026
Volume: 17
Issue: 6
Electronic Location Identifier: e4125
DOI: 10.29312/remexca.v17i6.4125

Categories

Subject: Artículo

Palabras clave:

Palabras clave:

Saccharum officinarum

chavetas tangenciales

eje-corona

Counts

Figures: 4

Tables: 0

Equations: 10

References: 22