

Design of two bearings with sealing system for the top roll shaft of sugar cane mill

Walter Mora Perdomo, John Sandro Rivas Murillo
y John Jairo Coronado Marín

Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial, Escuela de Ingeniería Mecánica,
Universidad del Valle, A.A. 25360. Fax 0572-3334899. Tel. 0572-3212133.
johncoro@univalle.edu.co / johnjairocoronado@yahoo.com

Abstract

The bronze bearings currently used in sugar cane mills undergo an excessive wear due to both, the extraneous matter entering in the bearing gap when the shaft lift by effect of cane passing through the mill and heating caused by failures in both the lubrication and the refrigeration systems. In order to solve this problems two bearing were designed: one cooled in the box and other cooled in the roofing tile, both using a sealing system. Finite Elements Analysis of the designs showed that they will have a good mechanical and thermal performance.

Key words: Bearing, sealing system, wear, sugar cane mill, roofing tile.

Diseño de dos chumaceras con sistema de sellado para el eje de maza superior de molino de caña de azúcar

Resumen

Las chumaceras de bronce utilizadas actualmente en los molinos de caña de azúcar presentan elevado desgaste debido, entre otros factores, a la materia extraña que ingresa en ella cuando el eje superior se eleva (flota) por efecto del colchón de caña que pasa entre las mazas y al sobrecalentamiento causado por fallas en los sistemas de lubricación y refrigeración. Con el objetivo de solucionar estos problemas dos diseños de chumaceras fueron realizados: uno con refrigeración en la caja y otro con refrigeración en la teja, ambos usando un sistema de sellado. Análisis por Elementos Finitos del comportamiento mecánico y térmico de los diseños garantiza un buen desempeño en operación.

Palabras clave: Cojinetes, sistemas de sellado de cojinetes, desgaste, molinos de caña de azúcar.

1. Introducción

El proceso de extracción de jugo de caña para la producción de azúcar se realiza empleando el principio de aplicar grandes cargas a un colchón de caña mientras éste pasa por un arreglo de rodillos (conocidos como mazas); en un proceso semejante al de formar una chapa metálica en un tren de laminación. La unidad empleada para este efecto es conocida como molino de caña y consta de tres mazas dispuestas en los vértices

de un triángulo imaginario; donde la maza ubicada del lado de entrada de la caña se denomina Maza Cañera (MC), aquella ubicada hacia la salida del colchón de caña se denomina Maza Bagacera (MB). La Maza Superior (MS) está dispuesta en el vértice superior del triángulo y juega un papel preponderante en la extracción del jugo de caña, puesto que debe mantener el nivel de carga aplicado a la caña durante su tránsito por el molino (Figura 1). Un elemento ubicado entre las MC y MB sirve para dirigir el flujo de la caña en el mo-

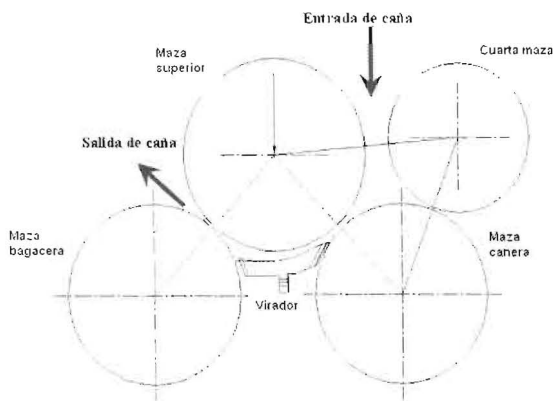


Figura 1. Disposición de las mazas de un molino azucarero.

lino y es conocido como Virador. Adicionalmente, una maza adicional, denominada Cuarta Maza (CM) se ubica al lado de la MS y facilita la alimentación de caña al molino; esta última se hace a través de una tolva, conocida como Chute.

Una maza consta de un eje de acero, tradicionalmente acero AISI 1045 (aunque también se usan de acero AISI 4140 o 4340), sobre el cual se ajusta por interferencia un casco de hierro gris o acero (Figura 2). Los ejes de maza están montados sobre un par de elementos estructurales del molino, que son denominados cureñas (Figura 3), este apoyo se realiza por medio de cojinetes de bronce, llamados chumaceras (Figura 4). La zona del eje que entra en contacto con la chumacera se denomina guijo (Figura 2).

Debido a las características de operación de un molino de caña las mazas inferiores (MC y MB) son apoyadas de modo que se mantienen fijas mientras que a la maza superior le es permitido desplazarse verticalmente para tolerar la irregular alimentación del molino (hay momentos en los que puede llegar mucha caña al molino y momentos en los que llega muy poca). El movimiento vertical del molino se denomina flotación.

El diseño de las chumaceras para el eje superior tiene la particularidad de ser un cojinete bipartido cuya parte superior (la caja) aloja los sistemas de refrigeración y lubricación, mientras que a parte inferior (la teja) sólo sirve para completar el conjunto. En las chumaceras convencionales usadas por algunos ingenios azucareros de la región la teja se mantiene apoyada en la cureña aún cuando el eje se eleva producto del paso



Figura 2. Maza y eje de maza.

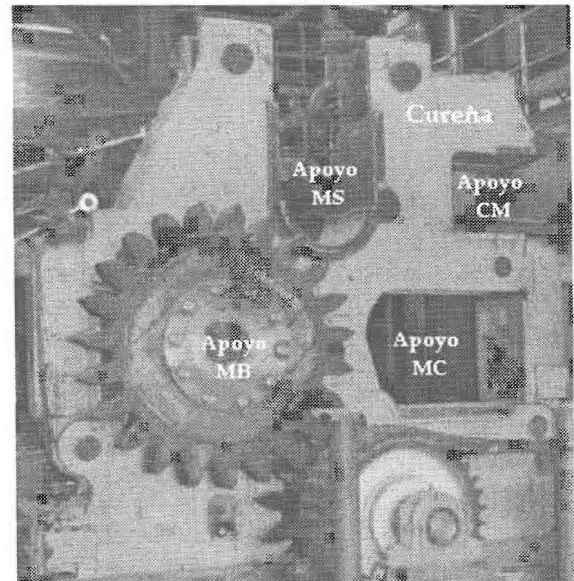


Figura 3. Cureña de molino de caña.

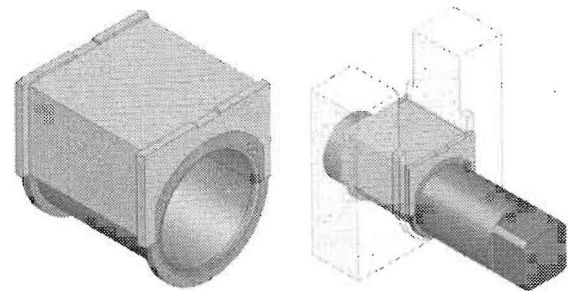


Figura 4. Montaje de eje superior y chumacera.

de caña por el molino (esta flotación puede alcanzar 0.012 m-1/2 in) lo cual permite que material extraño ingrese en espacio de la chumacera y actúe como abrasivo (ingreso de tierra) o deteriore las propiedades del lubricante (jugo de caña) [1-4].

El ingreso de material extraño a la chumacera no es la única causa del deterioro de ésta. La disposición del molino y las características del

proceso de molienda hacen que sea necesario aplicar una carga alta al eje superior a fin de mantener una presión sobre la caña que permita la separación del jugo; dicha carga se aplica por medio de dos cilindros hidráulicos dispuestos sobre las chumaceras superiores. La carga total aplicada está en el orden de 5000 KN. La presión específica sobre cada una de las chumaceras superiores es del orden de 8 MPa, por lo que se considera un caso de lubricación límite, es decir, se puede presentar desgaste adhesivo en la chumacera. La alta carga y los problemas de desgaste generan frecuentes sobrecalentamientos de la chumacera, que reducen aún más el funcionamiento del lubricante y facilitan el desgaste progresivo de los componentes.

Actualmente las chumaceras se fabrican de bronce, como una caja compacta, esto implica que cuando se cumple su ciclo de vida sea reemplazada en su totalidad. En este trabajo se elaboró una metodología de diseño y comparación de nuevos prototipos de chumaceras [5] donde se analizaron aspectos como: confiabilidad estructural y transferencia de calor. Con los diseños planteados en éste artículo se busca dividir la chumacera en un conjunto caja-teja superior-teja inferior, con lo cual al llegar al máximo desgaste sólo se reemplaza las tejas, quedando la caja reutilizable. Estas propuestas también buscan aumentar el tiempo de uso del bronce por medio de la utilización de un sello que evite el contacto del lubricante con las impurezas y man-

tenga los elementos (caja y tejas) unidos durante la flotación del eje superior. En las Figuras 5 y 6 se muestra el despiece de las dos chumaceras diseñadas.

2. Diseño de Chumacera Refrigerada en la Caja

Esta alternativa consiste en el diseño de una chumacera conformada por una caja en la que se encuentra alojado el sistema de refrigeración y el cual está en contacto directo con el otro elemento de la chumacera que es la teja, donde se encuentran los conductos de lubricación. La caja se observa en la Figura 7. Una de las funciones básicas de la caja es la contener el circuito de refrigeración de la chumacera; éste consiste de un laberinto en la cara interior de la caja (Figura 7). Así el agua esta en contacto directamente con la teja superior de la chumacera, lo cual permite una más fácil evacuación del calor generado en el sistema. Para evitar fugas del agua de refrigeración se debe garantizar la estanqueidad entre la caja y la teja superior mediante un empaque, el cual va colocado sobre una ranura que se encuentra en la superficie circular de la caja y que cubre el contorno de los canales de refrigeración. En la caja se encuentra un conducto de lubricación conectado con una serie de ranuras ubicadas al costado de la caja por la que puede circular el lubricante y reduce el rozamiento con la cureña.

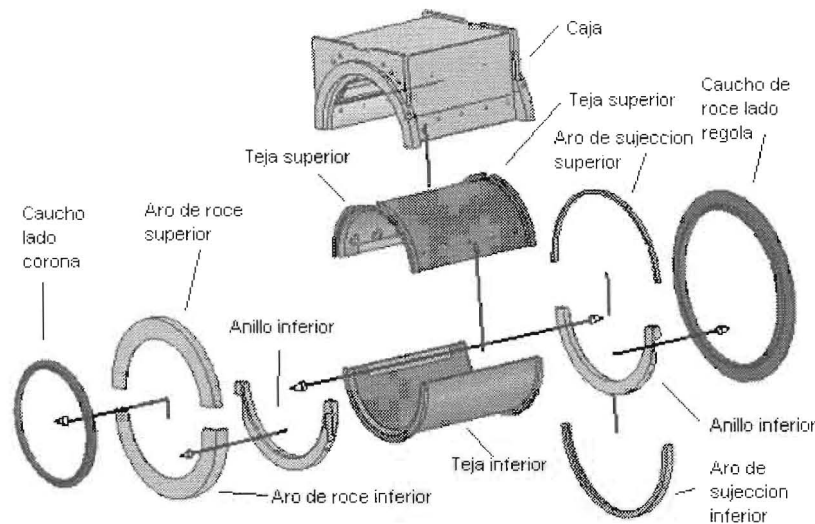


Figura 5. Chumacera refrigerada en la caja.

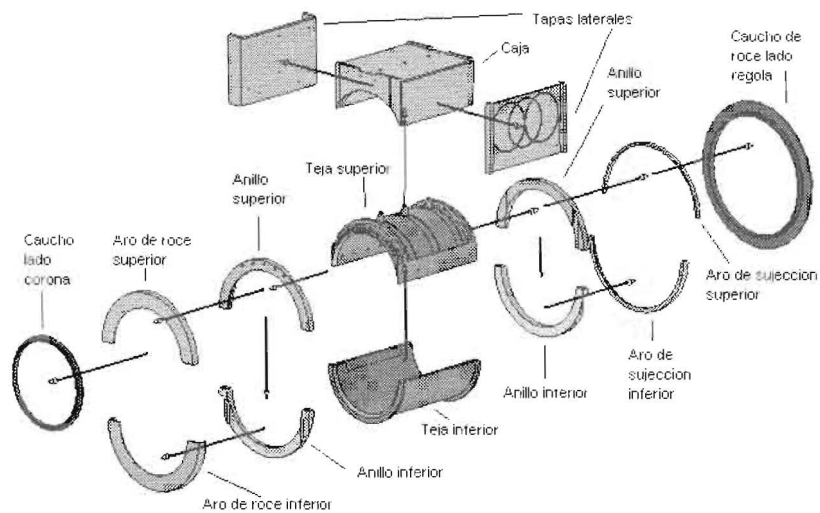


Figura 6. Chumacera refrigerada en la teja.

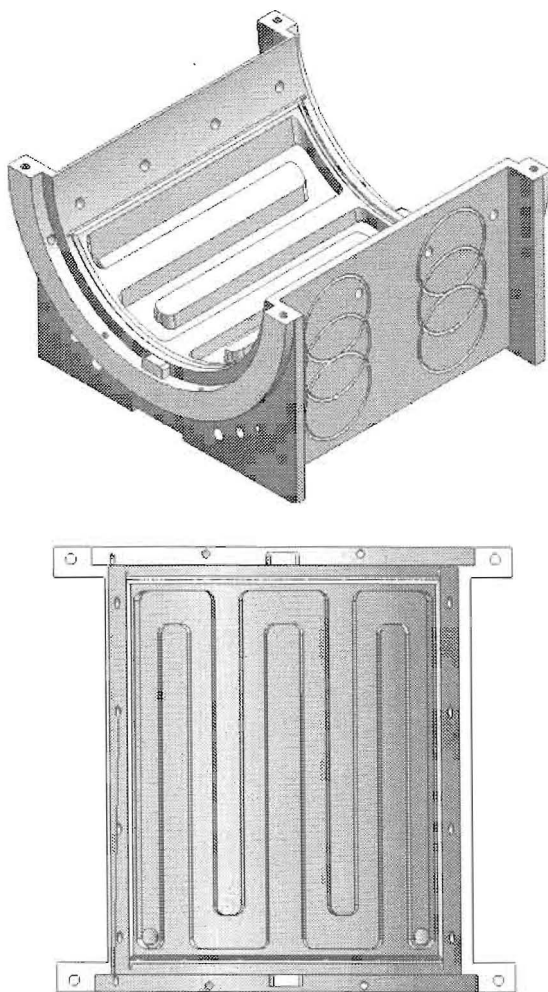


Figura 7. Vista isométrica y superior de la caja.

La teja superior tiene como objetivo principal soportar la presión del guijo y reducir la fricción producida. Ésta cuenta con conductos de lubricación los cuales entran radialmente por la pestaña, estos conductos de entrada son independientes por lado y lado de la chumacera. Una ranura de lubricación es la encargada de recibir el lubricante que viene de los dos conductos de entrada y genera la película lubricante por su forma característica de gota. Esta ranura, se encuentra ubicada en la zona donde teóricamente se presenta menos presión sobre la teja. Otro elemento importante de la teja es la pestaña, que se encuentra en cada uno de sus extremos, ésta se diseñó para contrarrestar el empuje axial que se produce debido a que el colchón de caña no es uniforme. En la Figura 8 se observa la teja superior.

La teja inferior es un elemento que presenta la misma geometría para los dos diseños de chumacera. Sirve como apoyo del eje en los momentos en que no se presente la molienda de caña. El empaque caja-teja consiste en un elemento de estanqueidad de sección rectangular, en combinación con el diseño de la ranura para evitar fugas del agua refrigerante. Las superficies de la caja y la teja entran en contacto con los elementos de sellado que se encuentran en los alrededores de los canales de refrigeración. Al apretarse los tornillos entre caja y teja, los elementos de sellado se comprimen y se desplazan a los lados dentro de la porción inclinada de la ranura, desarrollando

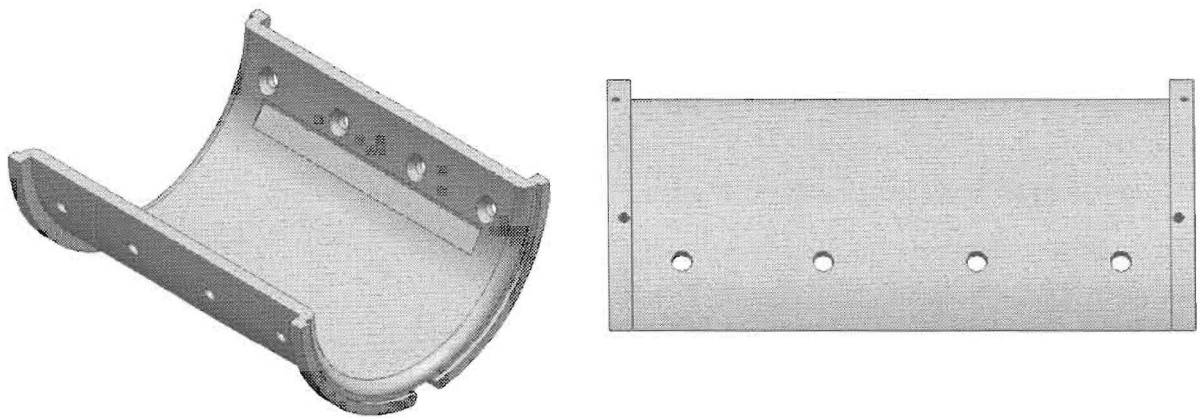


Figura 8. Vista isométrica y lateral de la teja superior.

una alta presión contra la cara de la teja y la cara de la caja, como se observa en la Figura 9.

Uno de los parámetros a tener en cuenta en la selección del sello es la temperatura debido a que las propiedades de los elastómeros varían con ella. De acuerdo a las características de interés, se escogió el Vitón (Fluorocarbon Rubber) debido a su resistencia a altas temperaturas. En la Figura 10 se observa el empaque y su montaje en la caja.

3. Diseño de la Chumacera Refrigerada en la Teja

Consiste en una teja de bronce con refrigeración interna y un cuerpo en acero, la cual posee un sello que impide la entrada de materia extraña a las superficies en contacto eje-teja. La caja tiene la función de soportar la presión que ejerce el

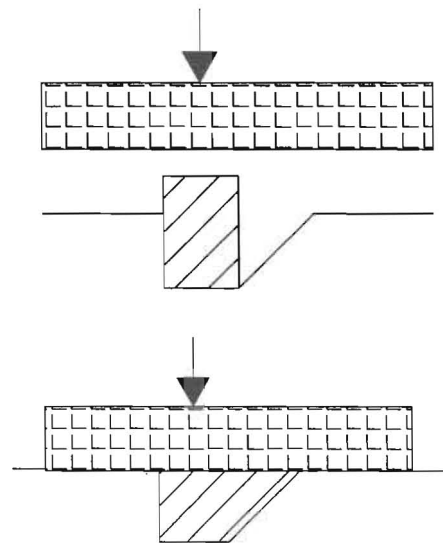


Figura 9. Simulación de deformación del sello antes y después de la carga.

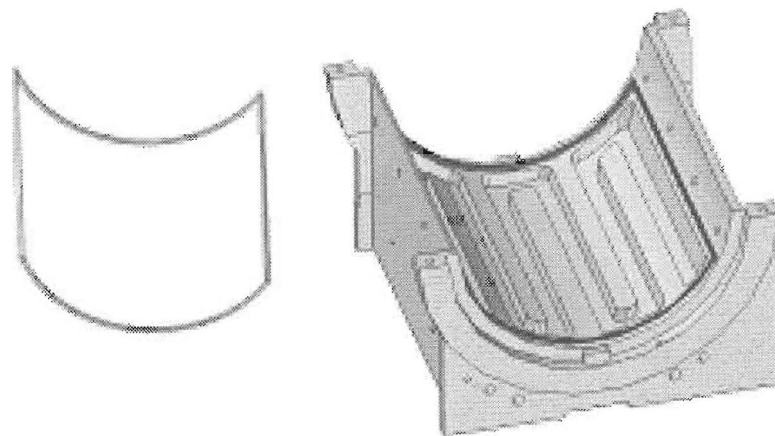


Figura 10. Empaque caja con teja superior.

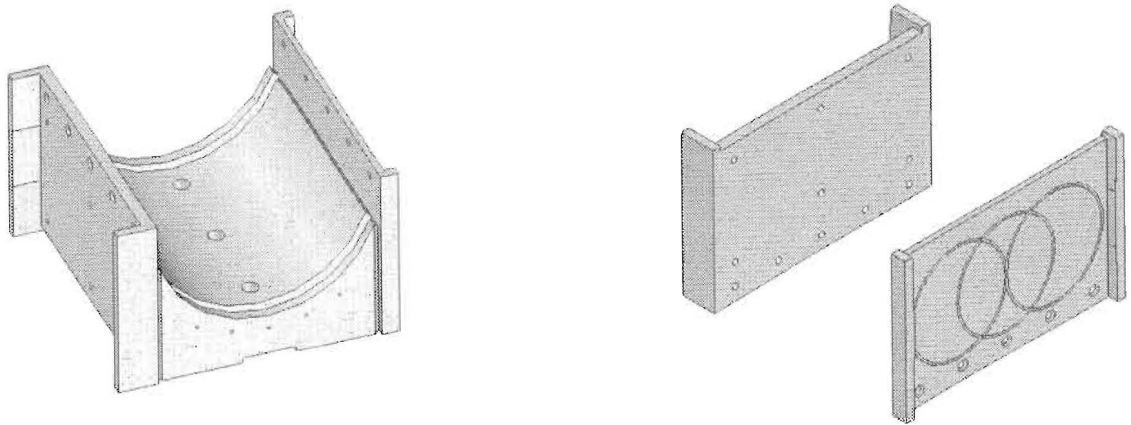


Figura 11. Vista isométrica y tapas laterales de la caja.

eje y el desplazamiento axial. Su construcción se debe realizar mediante un elemento central y placas laterales. Las características de ranuras de lubricación son similares a la chumacera refrigerada en la caja. La caja y las tapas laterales se puede observar en la Figura 11.

En la teja superior la refrigeración es realizada mediante agujeros pasantes que se conectan en los extremos debido a la presencia de tapas laterales. La teja posee otras características como pestañas ubicadas cerca de los extremos para soportar el empuje axial y presenta mamelones que la ayudan a posicionarla en la caja, como se observa en la Figura 12.

La tapa lateral es la encargada de conectar los agujeros de refrigeración, presenta agujeros por donde se produce la entrada vertical y de forma directa a los conductos de refrigeración, así como de lubricación y mediante la precarga a los tornillos se realiza el sellado del circuito de refrigeración. El empaque de tapa lateral es el encargado de realizar el sellado del circuito de refrigeración y el material seleccionado es el Vitón debido a su característica de resistencia a elevadas temperaturas (Figura 13).

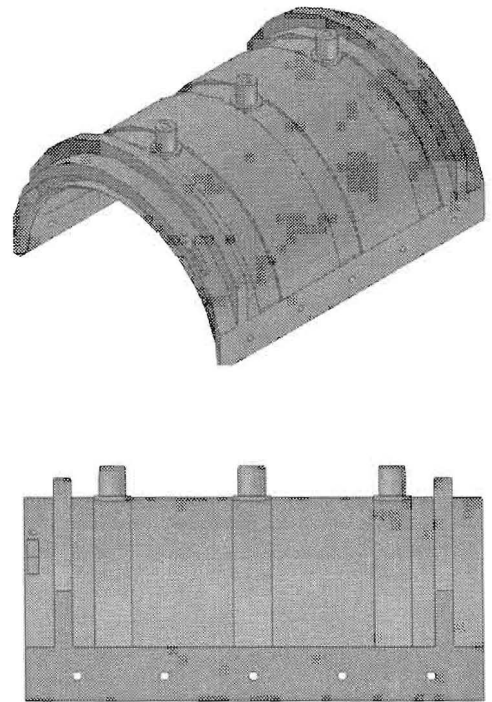


Figura 12. Vista isométrica y frontal de la teja superior.

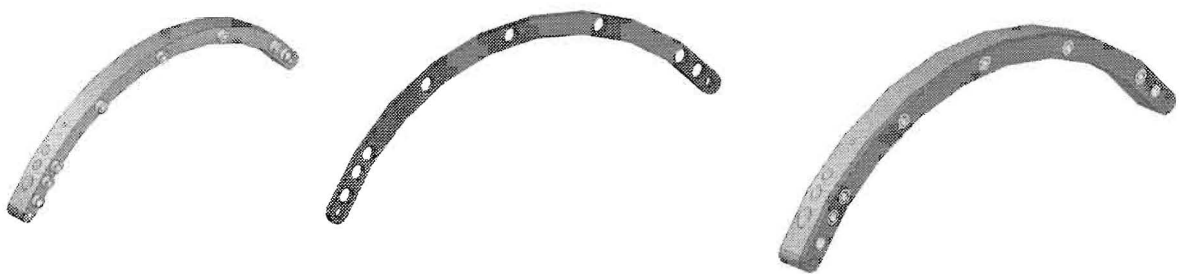


Figura 13. Vista isométrica de la tapa lateral, empaque y su ensamble.

En la Figura 14 se observan los anillos que sostienen la teja inferior durante la flotación de la maza. Este sistema está compuesto por dos anillos, uno superior y el otro inferior. El anillo superior para la alternativa refrigerada en la caja va fundido en la misma, mientras que para la refrigerada en la teja se tiene un anillo que se sujeta con tornillos, y tienen como función principal sostener el anillo inferior el cual levanta la teja inferior.

El sello del lado cercano a la maza se puede observar en la Figuras 5 y 6. El sello consiste en un elastómero que se sujeta por parte de los aros superior e inferior a los anillos superior e inferior. Éste es idéntico para los dos diseños realizados.

En la Figura 15 se observa el sistema de sellado que se realiza mediante la deformación del caucho contra el plato de desgaste debido a la presión ejercida por el caucho que impedirá el paso de materia extraña. El caucho tanto en su geometría como el material debe poseer características como una buena resiliencia, con el fin de que aunque se desgaste, mantenga la presión contra el anillo aprovechando su propiedad de memoria elástica, se seleccionó el Nitrilo (BUNA N).

Los elementos del sello lado corona se observan en las Figuras 5 y 6. Para impedir la entrada de materia extraña en el lado opuesto a la maza se coloca un sello que consiste en un caucho montado en una ranura realizada en el eje y que se deforme al hacer contacto con dos aros: superior e inferior, montados correspondientemente en el anillo de la caja y el anillo inferior que sujeta la teja, esto se observa en la Figura 16. El material del caucho debe poseer una buena resiliencia para que mantenga la presión sobre los anillos por lo cual se escogió como material el nitrilo (BUNA N).

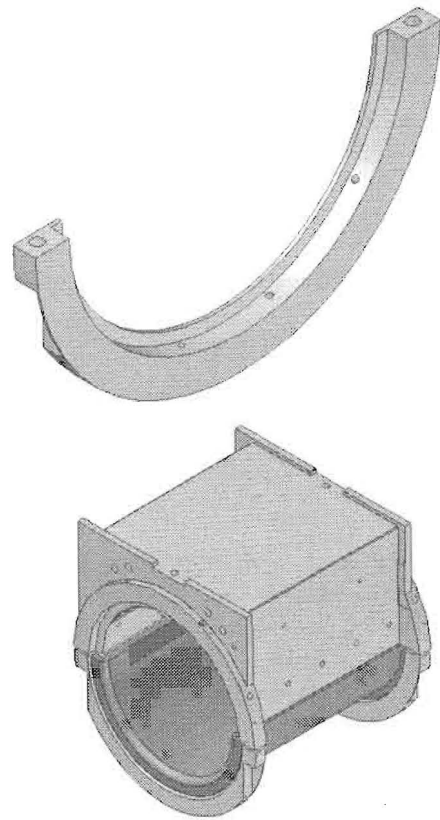


Figura 14. Anillo inferior y ensamble con la teja inferior.

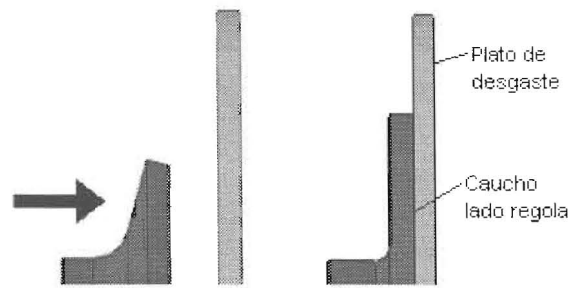


Figura 15. Sistema de sello lado regola y zona de roce.

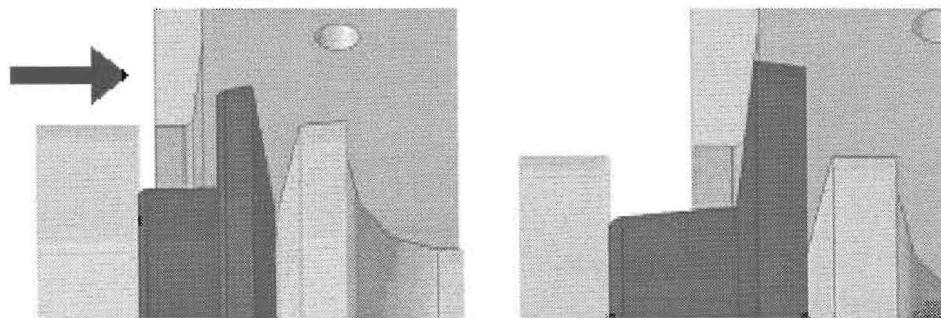


Figura 16. Caucho de roce del sistema de sellado lado corona.

El empaque entre la teja superior y la teja inferior se observa en la Figura 17. Este empaque tiene como función evitar la pérdida del lubricante en la frontera entre la teja inferior y la superior. Debido a que por el desgaste que sufre el eje y la necesidad de mantener la tolerancia en el par chumacera-eje se colocan calzos de bronce en las esquinas de la teja inferior con una altura determinada que produciría la pérdida del lubricante.

El ensamble de los elementos que componen los dos diseños de chumaceras se observa en la Figura 18.

4. Resultados

4.1 Análisis térmico

Para un funcionamiento óptimo de la chumacera es necesaria la verificación de la adecuada refrigeración para reducir el calentamiento generado. Modelos de Elementos Finitos de transferencia de calor en estado estable fueron realizados en el programa ALGOR® con las características indicadas en la Tabla 1. Como datos de entrada del modelo térmico se tomó el perfil de temperaturas de la chumacera superior del lado libre del molino. En la Figura 19 se observa el perfil de temperaturas de chumacera superior.

Para estimar el calor generado en la chumacera actual el procedimiento seguido fue:

- De acuerdo con la geometría de las cámaras se determinó el valor del coeficiente de convección, suponiendo transferencia de calor en estado estable y un régimen de flujo laminar [6], La Tabla 2 resume los datos considerados. El valor del coeficiente de convección fue $109 \text{ W/m}^2\text{K}$, obtenido a partir del número de Nusselt (N_{Nu}) dado por:

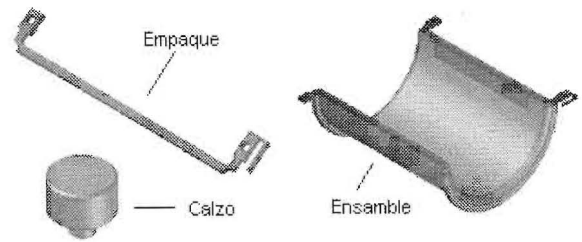


Figura 17. Empaque entre teja superior e inferior y calzo.

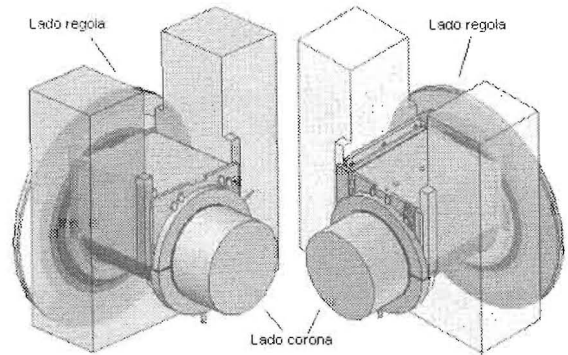


Figura 18. Ensamble respectivo de chumacera refrigerada en la caja y en la teja.

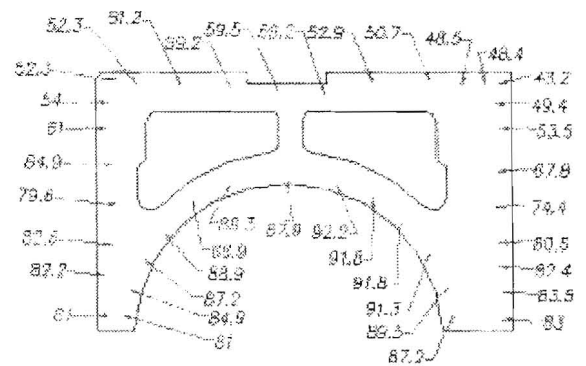


Figura 19. Perfil de temperaturas en chumacera actual (Temperaturas en °F).

Tabla 1
Parámetros del modelo de Elementos Finitos para análisis térmico

Modelos en Algo® V13	Térmico
Tipo de análisis	Transferencia de calor estado estable
Tipo de elemento	2-D
Temperatura entrada agua (cámara izquierda en la Figura 19)	28.3°C
Temperatura salida agua (cámara derecha en la Figura 19)	34°C
Temperaturas entrada arco	Figura 19

Tabla 2
 Datos considerados en la determinación del coeficiente convección
 para chumaceras actuales

$Re \cdot Pr^{(5/16)} \cdot D/L$	251.8
Número de Nusselt (Nn)	22.6
Número de Reynolds (Re)	776.1
Número de Prant del agua de refrigeración (Pr)	5.2
Número de Prant de la placa (Pr)	2.1
Longitud de la cámara de refrigeración	0.7 m
Longitud característica (diámetro equivalente de la cámara de refrigeración)	1.3e(-1) m
Área transversal de la cámara	2.2e(-2) m ²
Perímetro de la sección transv. de la cámara	6.9e(-1) m
Caudal de agua de refrigeración	1e(-4) m ³ /s
Velocidad del flujo de agua de refrigeración	4.7e(-3) m/s
Temperatura media del agua de refrigeración	306 K
Viscosidad cinemática del agua de refrigeración	7.7e(-7) m ² /s
Conductividad térmica del fluido	6.2e(-1) W/m*K
Volumen específico del agua de refrigeración	1e(-3) m ³ /Kg
Densidad de agua de refrigeración	9.9e(2) Kg/m ³
Viscosidad absoluta del agua temp. Media	7.7e(-4) N*s/m ²
Viscosidad absoluta del agua temp. Salida	7.7e(-4) N*s/m ²
Coeficiente de convección	109.7 W/m ² *K

$$N_u = 14 \left(Re_{\text{fl}} \cdot \frac{d}{L} \right)^{0.4} Pr_{\text{fl}}^{1/3} \left(\frac{Pr_{\text{fl}}}{Pr_p} \right)^{0.25}, \quad (1)$$

la cual es válida bajo la condición:

$$Re_{\text{fl}} \cdot Pr_{\text{fl}}^{5/16} \left(\frac{d}{L} \right) > 15. \quad (2)$$

- Se realizó un modelo de Elementos Finitos de transferencia de calor en estado estable en el cual se fijaron las temperaturas en la superficie de contacto eje-chumacera con los valores medidos y se varió el coeficiente de convección hasta que el perfil de temperaturas reprodujera valores en el exterior de chumacera similares a los medidos (Figura 20). El coeficiente de convección obtenido fue 103 W/m*K.

- Del modelo de Elementos Finitos se determinó el flujo de calor para ser aplicado en el modelado de los nuevos diseños. El flujo de calor aplicado fue de 125 W.

Los coeficientes de convección para los nuevos diseños se estimaron teóricamente así:

- Chumacera refrigerada en la caja, considerando transferencia de calor en estado estable y régimen de flujo en transición [6]. Los datos del análisis se resumen en la Tabla 3. El valor obtenido de coeficiente de convección fue 586 K/m*K

$$N_{uD} = \frac{\left(\frac{f}{8} \right) (Re_D - 1000) Pr}{1 + 12.7 \left(\frac{f}{8} \right)^{1/2} (Pr^{2/3} - 1)}. \quad (3)$$

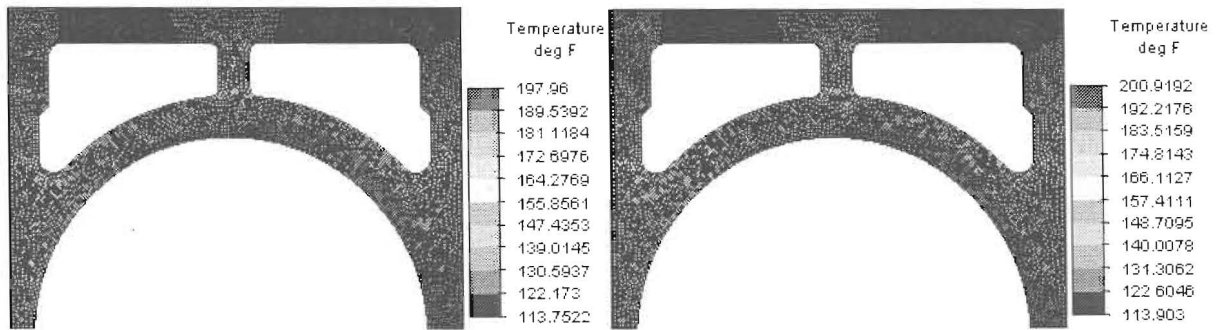


Figura 20. Perfil de temperaturas aplicando temperatura y calor.

Tabla 3
Datos considerados en la determinación del coeficiente convección
para chumaceras refrigeradas en la caja

Número de Nusselt (Nn)	28.7
Número de Reynolds (Re)	4094.3
Número de Prant (Pr)	5.2
Longitud de la cámara de refrigeración	0.7 m
Longitud característica (diámetro equivalente de la cámara de refrigeración)	3e(-2) m
Área transversal de la cámara	1e(-3) m ²
Perímetro de la sección transv. de la cámara	1.3e(.1) m
Caudal de agua de refrigeración	1e(-4) m ³ /s
Velocidad del flujo de agua de refrigeración	0.1 m/s
Temperatura media del agua de refrigeración	306 K
Viscosidad cinemática del agua de refrigeración	7.7e(-7) m ² /s
Conductividad térmica del agua de refrigeración	6.2e(-1) W/m*K
Volumen específico del agua de refrigeración	1e(-3) m ³ /Kg
Densidad de agua de refrigeración	9.9e(2) Kg/m ³
Viscosidad absoluta del agua temp. Media	7.7e(-4) N*s/m ²
Viscosidad absoluta del agua temp. Salida	7.7e(-4) N*s/m ²
Factor de fricción (f) (para el diagrama de Moody)	0.04
Coeficiente de convección	586 W/m ² *K

- Chumacera refrigerada en la teja, considerando transferencia de calor en estado estable y régimen de flujo turbulento [6]. Los datos para análisis se resumen en la Tabla 4. El valor obtenido de coeficiente de convección fue 3673 K/m*K.

$$N_{wd} = 0.023 Re_D^{\frac{4}{5}} Pr^{0.3}. \quad (4)$$

En la Figura 21 se muestra el modelo térmico de la chumacera refrigerada en la caja y en la teja para los coeficientes de convección encontrados previamente.

Tabla 4
 Datos considerados en la determinación del coeficiente convección
 para chumaceras refrigeradas en la teja

Número de Nusselt (Nn)	74.8
Número de Reynolds (Re)	13491.3
Número de Prant (Pr)	5
Longitud del tubo	0.7 m
Longitud característica (diámetro del tubo)	1.2e(-2) m
Aárea del tubo	1.2e(-4) m ²
Caudal de agua de refrig	1e(-4) m ³ /s
Velocidad del flujo de agua de refrig	0.8 m/s
Temperatura media del agua de refrig	306 K
Viscosidad cinemática del agua de refrig	7.7e(-7) m ² /s
Conductividad térmica del agua de refrig	6.2e(-1) W/m*K
Difusividad térmica del agua de refri	1.5e(-4) m ² /s
Volumen específico del agua de refrig	1e(-3) m ³ /Kg
Densidad de agua de Refrig.	9.9e(2) Kg/m ³
Calor específico a presión constante	4.2 J/Kg*K
Viscosidad absoluta del agua temp. media	7.7e(-4) N*s/m ²
Viscosidad absoluta del agua temp. salida	7.7e(-4) N*s/m ²
Coficiente de convección	3673 W/m ² *K

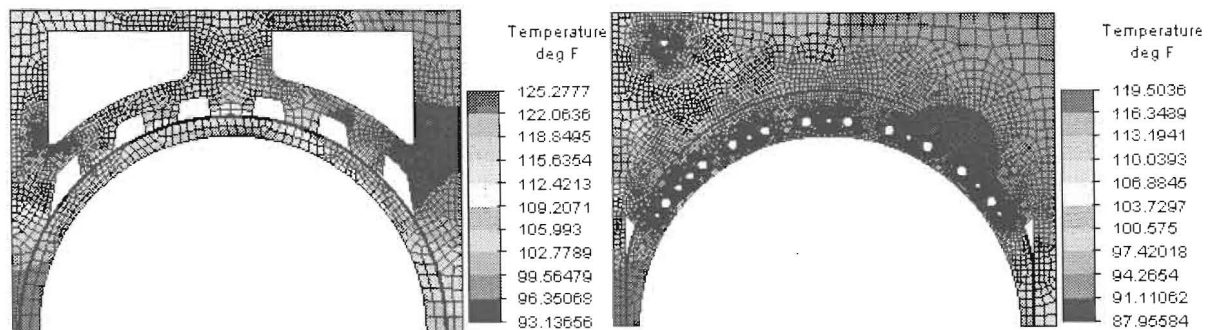


Figura 21. Perfil de temperaturas chumacera refrigerada en la caja y en la teja.

Ambos diseños de chumaceras pueden retirar el calor generado en la chumacera, la diferencia es la rapidez con la cual lo hace cada uno.

4.2 Análisis mecánico

En el diseño es necesario analizar la resistencia a las elevadas cargas que se presentan

en el proceso de molienda de caña. Por lo tanto se realizó la simulación del contacto chumacera-eje para ello se utilizó un modelo de esfuerzos de contacto en Algor[®] mediante Simulación Mecánica de Eventos con un modelo en dos dimensiones, el cual tiene los siguientes parámetros:

- Restricciones: superficie superior de la caja restringida verticalmente, superficie lateral de la caja de mayor espesor restringida a desplazarse en la dirección transversal del eje y dos nodos del eje restringido a desplazarse sólo en la misma dirección de la fuerza mediante la creación de un nuevo sistema de coordenadas.
- Carga: la fuerza total a lo largo del guijo es 2775.6 KN, como este tiene 0.66 m de longitud se distribuye esta carga por unidad de longitud y se tiene 4205.4 KN/m en una dirección de 15° respecto al centro.

En la Figura 22 se presentan los resultados modelo mecánico de la chumacera refrigerada en la caja, para espesor en la teja de 22 mm y se obtiene un factor de seguridad de 2.53.

En la Figura 23 se presentan los resultados modelo mecánico de la chumacera refrigerada en la teja y se obtiene un factor de seguridad de 3.27.

En la Figura 24 se presentan los resultados modelo mecánico de la chumacera actual y se obtiene un factor de seguridad de 2.34.

5. Conclusiones

En el análisis térmico se presentó una mejor refrigeración en la chumacera refrigerada en la teja que la refrigerada en la caja, debido a que la primera alternativa presenta un mayor coeficiente de convección.

En el análisis mecánico de esfuerzos de contacto se presentaron factores de seguridad similares en los dos diseños alternativos y la chumacera actual, lo cual permite que trabajen bajo las extremas condiciones de operación.

El sistema de sellado en el diseño de las dos chumacera garantiza el desplazamiento conjunto de la caja-teja inferior, para evitar el ingreso de materia extraña al interior de la chumacera.

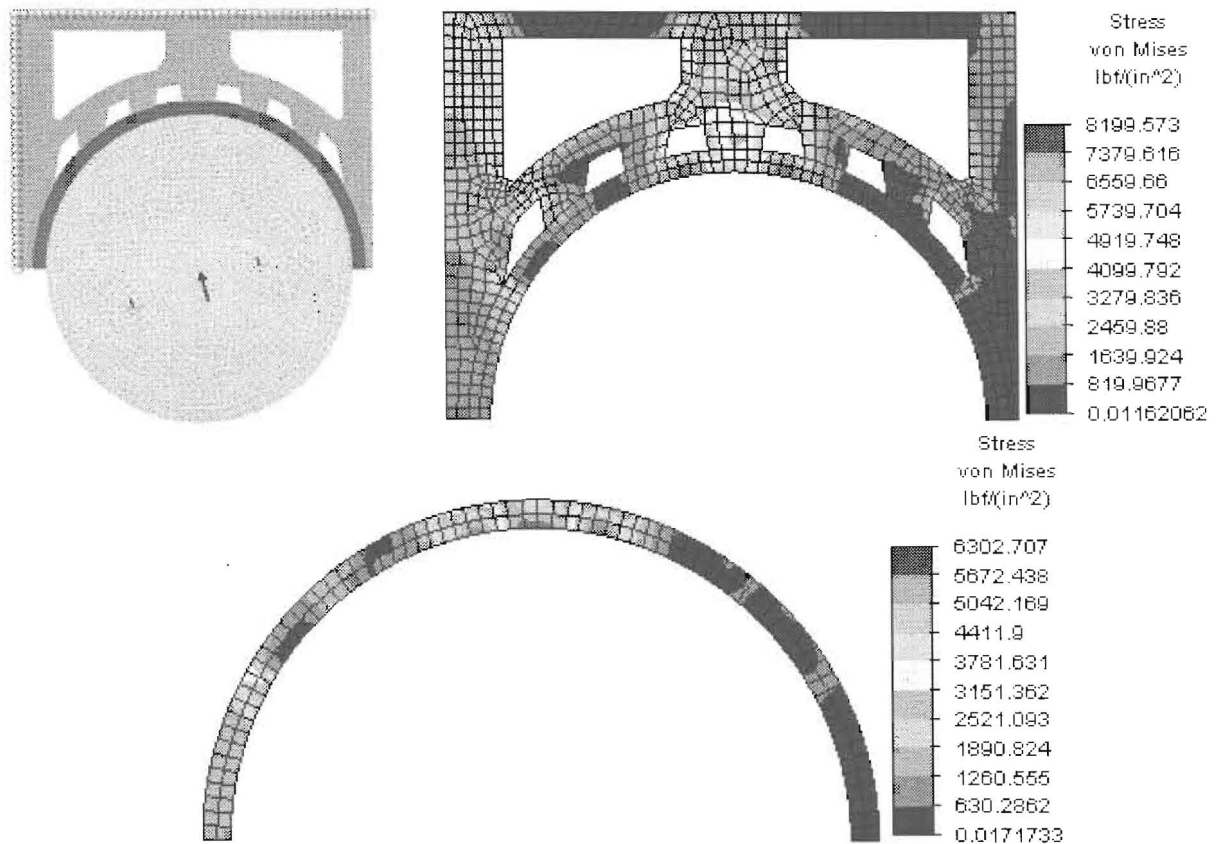


Figura 22. Modelo de contacto chumacera refrigerada en la caja.

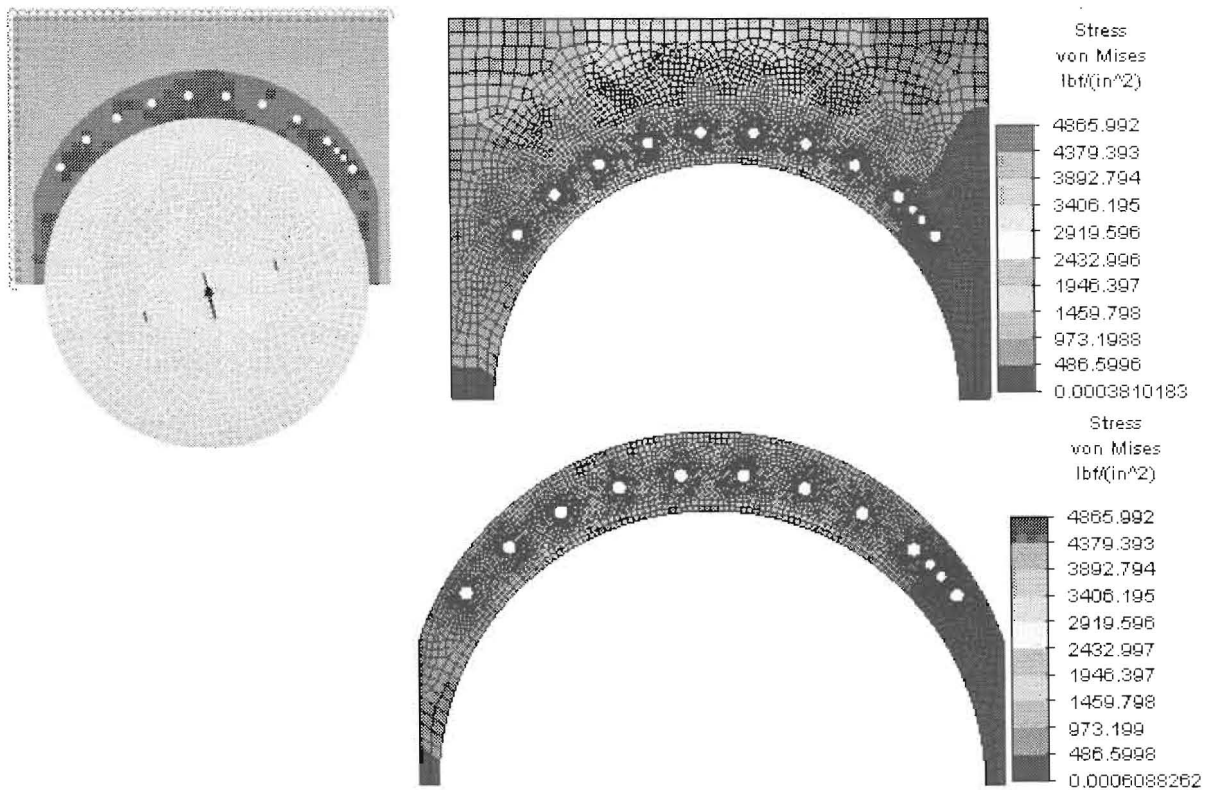


Figura 23. Modelo de contacto y resultados de la chumacera refrigerada en la teja.

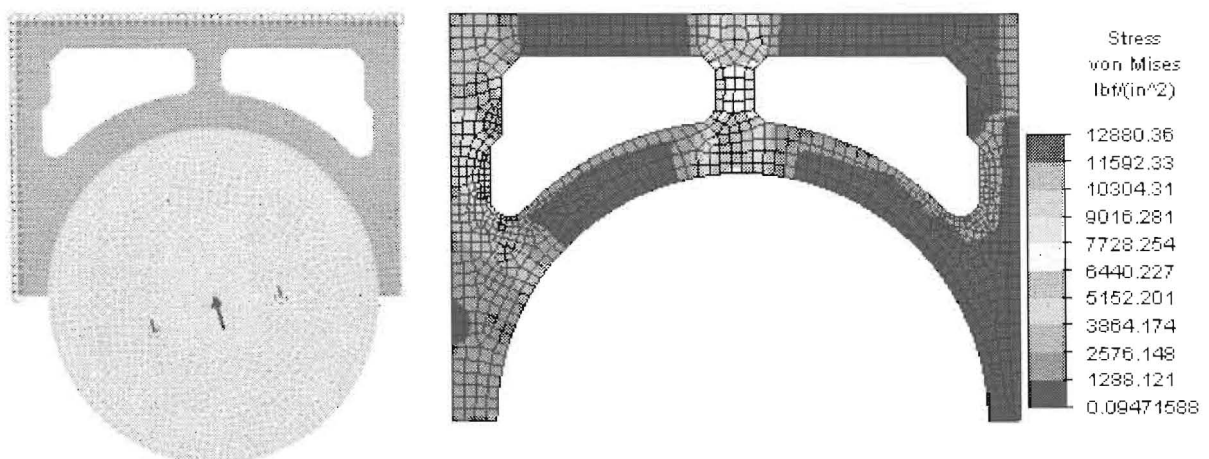


Figura 24. Modelo de contacto y resultados de chumacera actual.

6. Agradecimientos

El Grupo de Investigación en Mejoramiento Industrial de la Escuela de Ingeniería Mecánica (Universidad del Valle), en el marco del “Proyecto Cooperativo Agroindustrial para Reducir el Des-

gaste en Equipos de Preparación y Molienda” que se lleva a cabo en el Ingenio Manuelita S.A., con la participación de CENICAÑA, agradece los aportes del personal de estas organizaciones y el apoyo financiero de COLCIENCIAS, que con dinero del BID, ha posibilitado este trabajo.

7. Referencias Bibliográficas

1. Álvarez, E. C. Rodríguez, Y. Aguilar, (1998) "Comportamiento de la fricción de las chumaceras de las plantas moledoras de caña al ser lubricadas con grasa Lisa 3M". Congreso ATAC, 1998.
2. Iglesias, A. (1994) Nueva grasa suplanta aceites en la lubricación de las chumaceras. *International Sugar Journal*, Vol 96, No 1146. 1994.
3. Lima, B.D. (1994). "Cane mill brass lubrication". *International Sugar Journal*, Vol. 96, No 1146. 1994.
4. Rivas, J.S., Rodríguez, S.A., Gómez, A.L., Vélez, C.A., "Estudio de los Factores que Afectan la Confiabilidad de los Ejes de Molino de Caña", VI Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. Cali, Colombia, 2003.
5. Rodríguez, S.A, Coronado, J.J, Vélez, C.A, Gómez, A.L. (2003). "Análisis Comparativo de Chumaceras de Eje de Maza Superior de Molino de Caña", VI Congreso Colombiano de la Asociación de Técnicos de la Caña de Azúcar. Cali, Colombia. Septiembre, 2003.
6. Incropera, F. (1999). "Fundamentos de Transferencia de Calor". Cuarta edición. Pearson Press.

Recibido el 11 de Octubre de 2004

En forma revisada el 31 de Octubre de 2005