

Diseño de los acoplamientos cuadrados de hierro fundido para molinos de caña mediante el método de los elementos finitos

Design of cast iron square box couplings for sugar cane mills by the method of finite elements

Yamill Campos Pérez, Rosendo Franco Rodríguez*

Facultad de Ingeniería Mecánica, Universidad Central de Las Villas, Cuba.
Carretera a Camajuani km 5½.

(Recibido el 20 de agosto de 2006. Aceptado el 12 de abril de 2007)

Resumen

Se realiza el estudio de las tensiones internas que se generan en los acoplamientos cuadrados de hierro fundido para molinos de caña. Además, se obtienen las expresiones matemáticas para calcular las tensiones equivalentes, teniendo en cuenta la influencia de parámetros como: diámetro exterior del acoplamiento, dimensiones del agujero cuadrado, velocidad de rotación y potencia. Para la obtención de estas expresiones se empleó el método de elementos finitos (MEF). El análisis MEF se hizo a partir del cálculo estático lineal, utilizando para el programa de computación COSMOS/M, versión 2.6. Finalmente, se realizó una estandarización de los acoplamientos con el fin de reducir la variedad de éstos.

----- *Palabras clave:* acoplamiento cuadrado, acoplamiento, molino de caña, método de elementos finitos.

Abstract

The internal stresses generated in the square box couplings of cast iron for sugar cane mills are studied. Also, mathematical expressions are obtained to calculate the equivalent stresses, and the influence of parameters such as: external diameter of the square box coupling, dimensions of the square hole, speed of rotation and power.

* Autor de correspondencia: Teléfono: +53 +4 +2-20 45 00, + y 53 +4 +2-28 16 30, Correos electrónicos: yamillc@uclv.edu.cu, yamille25@yahoo.com (Y. Campos).

For obtaining these expressions the Finite Elements Method was used (MEF), with the software COSMOS/M version 2.6. Finally, a standardization of the square box couplings was done with the purpose of reducing their variety.

----- *Key words:* square box couplings, sugar cane mill, finite elements method.

Introducción

La decisión del diseñador al momento de escoger los valores de los factores que influyen en un correcto diseño suele ser un tanto complicado. Los especialistas tienen la alternativa de seleccionar valores que sobredimensionen su diseño, aumentando el costo y peso del mismo, o seleccionar valores que hagan el diseño más ligero y más económico pero con más probabilidades de fallas. Los acoplamientos actualmente fabricados para la industria azucarera cubana, presentan como una de sus principales deficiencias el hecho de encontrarse sobredimensionados, lo cual hace que no estén cumpliendo con su función de elemento fusible.

Desarrollo

Las dimensiones principales del acoplamiento se pueden dividir en dimensiones interiores y exteriores. Las dimensiones interiores, definidas básicamente por la altura del agujero cuadrado (*Haguj*), tienen como función principal garantizar que el movimiento relativo entre los diferentes elementos se produzca sin dificultad, ésta se determinó dependiendo de las dimensiones del escalón cuadrado de los guijos. Las dimensiones exteriores, en cambio, deben garantizar la resistencia del acoplamiento durante su funcionamiento (figura 1).

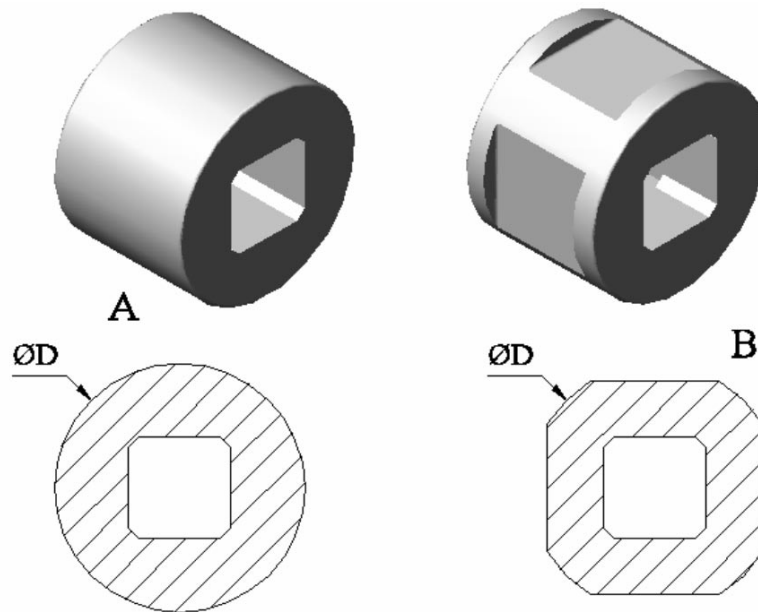


Figura 1 Forma exterior de los acoplamientos

Desde el punto de vista de las dimensiones exteriores el problema es más complejo, y es precisamente en este sentido donde existen las mayores discrepancias entre los diferentes autores, sin llegar a resolver con precisión el tema del elemento fusible. En cuanto a la forma exterior de los acoplamientos en la industria

se han difundido dos variantes fundamentales, una completamente cilíndrica (figura 1-A), y la otra es una superficie cilíndrica con un escalón cuadrado intermedio (figura 1-B). Ambas tienen en común el diámetro exterior (*D*), considerado como el parámetro geométrico fundamental para los cálculos de resistencia.

Análisis mediante el método de elementos finitos

La solución de un problema mediante la aplicación del método de elementos finitos (MEF) es un proceso que consta de una secuencia lógica de trabajo, que se puede dividir en varias etapas. A continuación se describirá el cumplimiento de cada una de estas etapas de trabajo en el análisis de los acoplamientos.

Creación del modelo geométrico de la pieza a analizar

Definidas la altura del agujero cuadrado del acoplamiento (*Haguj*) y la longitud del acoplamiento (*l_{aco}*), las cuales se obtuvieron a partir de un análisis de las dimensiones de los escalones cuadrados de los guijos que se producen en el país, se tienen 8 variantes diferentes de acoplamientos (tabla 1). Resta definir sus respectivos diámetros exteriores, pero este es precisamente el parámetro que se desea determinar para garantizar que los mismos ejerzan su función de elemento fusible. Por esta razón se hace necesario considerar, para este estudio, al diámetro como una variable que oscila en un rango determinado.

Tabla 1 Dimensiones de los acoplamientos analizados del escalón cuadrado de los guijos

N.º Variante	<i>l_{esc}</i> (mm)	<i>h_{esc}</i> (mm)	<i>Haguj</i> (mm)	<i>l_{aco}</i> (mm)
1	228,6	304,7	310,4	360,05
2	241,3	317,5	323,2	382,27
3	254,0	330,2	335,9	404,50
4	266,7	355,6	361,3	426,72
5	279,4	368,3	374,0	448,95
6	304,8	381,0	386,7	493,40
7	317,5	406,4	412,1	515,62
8	330,2	419,1	424,8	537,85

Con el objetivo de simplificar el análisis resulta conveniente introducir un nuevo parámetro, que

sería la verdadera variable, en lugar del diámetro, este es el espesor (*Esp*) del acoplamiento en la dirección de la diagonal del agujero cuadrado (figura 2). La conveniencia radica en que el cambio del espesor puede ser considerado por igual para todas las variantes, algo que no resulta posible con el diámetro. La relación existente entre el diámetro y el espesor es:

$$D = \sqrt{2} \cdot Haguj + 2 \cdot Esp \tag{1}$$

Donde:

D: diámetro exterior del acoplamiento.

Esp: es el espesor del acoplamiento en la dirección de la diagonal del agujero cuadrado.

Haguj: altura del agujero cuadrado del acoplamiento.

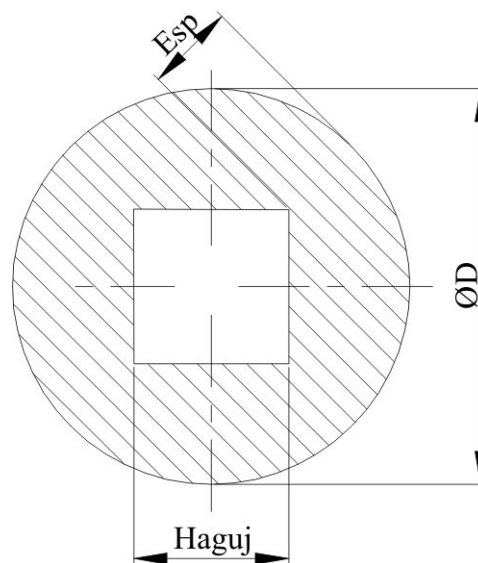


Figura 2 Dimensiones principales del acoplamiento

Una vez tomado el espesor como variable de referencia, se realizaron algunos cálculos de exploración que permitieron establecer el rango en que se evaluaría cada una de las variantes, éste quedó definido entre 100 y 250 mm. El análisis se realizó para cuatro valores dentro de este rango: 100, 150, 200 y 250 mm lo que condujo a un total de

32 modelos geométricos diferentes. Las dimensiones nominales de los agujeros cuadrados de las 8 variantes analizadas se muestran en la tabla 1, así como sus longitudes. Quedando definidas las dimensiones de los 32 modelos geométricos a analizar se procedió a la creación de los mismos, en tres dimensiones.

Definición de las propiedades mecánicas del material a utilizar

Las propiedades mecánicas, que deben introducirse en el *software* COSMOS/M, dependen del tipo de análisis que se va a realizar. El análisis de resistencia del acoplamiento corresponde a un problema estático lineal, siendo necesarias las propiedades mecánicas que se muestran en la tabla 2, correspondientes al hierro fundido.

Tabla 2 Propiedades mecánicas del material

Propiedad	Valor
Módulo de elasticidad E (MPa)	$1,2 \cdot 10^5$
Densidad del material ρ (kg/mm ³)	$7,2 \cdot 10^6$
Coefficiente de Poisson η	0,27

Generación de la malla de elementos finitos

Después de crear el modelo geométrico en el COSMOS/M, se procedió a la generación de la malla, siendo la densidad de la misma o tamaño de los elementos finitos uno de los factores principales que influyen en la confiabilidad de los resultados. El método empleado para definir el tamaño de los elementos fue el cálculo del error en las tensiones, conocido también como “estudio de convergencia”.

La generación de la malla se llevó a cabo por la vía paramétrica, dando la posibilidad de definir el número de elementos en las tres direcciones (X, Y, Z). De esta forma se logró que la malla fuera más densa en la zona de aplicación de las cargas y los apoyos, lo cual influye en la precisión de los resultados. El tipo de elemento utilizado

fue el sólido (SOLID), formado por 8 nodos, el cual tiene como características ser un elemento tridimensional isoparamétrico, recomendado para este tipo de análisis [2].

Definición de las cargas que se aplican sobre la pieza

Según los estudios realizados por los japoneses H. Okamura, H. Tanaka y H. Terao [5, 6] las condiciones de trabajo más críticas de los acoplamientos ocurren cuando la carga se transmite por dos puntos. Esto quiere decir que la carga se transmite desde la barra intermedia al acoplamiento únicamente a través de dos puntos de contacto, en los cuales actúa una fuerza normal a la superficie del acoplamiento P_c y P_d , y la correspondiente fuerza de fricción que surge producto del deslizamiento entre ambos elementos μP_c y μP_d , (figura 3). Desde el acoplamiento hacia el escalón cuadrado del guijo el proceso es similar, actuando en este caso las fuerzas P_a , P_b , μP_a y μP_b .

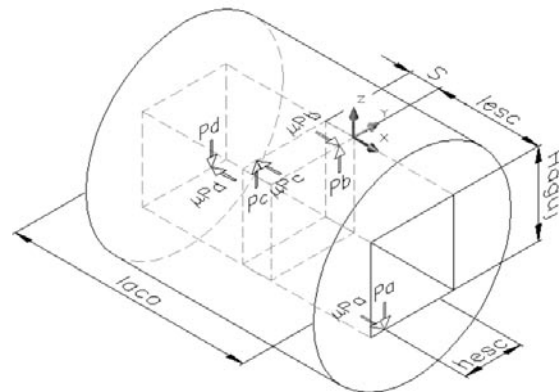


Figura 3 Diagrama del cuerpo libre

A partir de la figura 3, considerando la condición de equilibrio del cuerpo libre, se plantean las siguientes expresiones.

Sumatoria de fuerzas en la dirección de los ejes X y Z:

$$X : \mu \cdot P_a + \mu \cdot P_b - \mu \cdot P_c - \mu \cdot P_d = 0 \quad (2)$$

$$Z: -P_a + P_b + P_c - P_d = 0 \quad (3)$$

Sumatoria de momentos con respecto al eje Y:

$$P_a \cdot l_{esc} + P_c \cdot S + \mu \cdot P_d \cdot Haguj - P_d \cdot (l_{aco} - l_{esc}) - \mu \cdot P_a \cdot Haguj = 0 \quad (4)$$

Además de estas tres ecuaciones de equilibrio se puede definir la ecuación que relaciona al momento torsor (M_t) con las fuerzas P_a y P_b de la siguiente forma:

$$M_t = \frac{h_{esc}}{2} \cdot (P_a + P_b) \quad (5)$$

De este modo se tienen cuatro ecuaciones para determinar las cuatro incógnitas P_a , P_b , P_c y P_d , cuyos resultados se obtienen después de resolver el sistema de ecuaciones y es el que se aprecia a continuación:

$$P_a = P_c = \frac{2 \cdot M_t \cdot (l_{aco} - l_{esc} - \mu \cdot Haguj)}{h_{esc} \cdot (l_{aco} - 2 \cdot \mu \cdot Haguj + S)} \quad (6)$$

$$P_b = P_d = \frac{2 \cdot M_t \cdot (l_{esc} - \mu \cdot Haguj + S)}{h_{esc} \cdot (l_{aco} - 2 \cdot \mu \cdot Haguj + S)} \quad (7)$$

Donde:

P_a , P_b , P_c y P_d : son las fuerzas transversales que actúan en el acoplamiento.

h_{esc} : altura del entredós o altura del escalón cuadrado del guijo.

M_t : momento torsor.

l_{aco} : longitud del acoplamiento.

l_{esc} : longitud del escalón cuadrado del guijo.

S : holgura entre el escalón cuadrado del guijo y el entredós o barra intermedia.

μ : coeficiente de fricción, igual a 0,27.

Debe destacarse que el momento torsor no es constante para los diferentes molinos, incluso ni

para aquellos que tienen las mismas dimensiones, pues esto depende de otros factores, como: el consumo de potencia, velocidades, capacidad de molida, etc. [4, 7]. Por esta razón se tomó la relación potencia-velocidad ($\frac{Pot}{n}$), que determina los valores del momento torsor como variable para el cálculo. En este caso se tomaron cinco valores dentro del rango (10 ÷ 80) kW/r. p. m., en el que se encuentran los valores prácticos, debiendo repetir los cálculos cinco veces para cada modelo geométrico, para finalmente analizar 160 modelos de cálculo diferentes.

Definición de las condiciones de contorno o apoyos

Para la realización del análisis mediante el MEF resulta necesario definir ciertos apoyos, de manera que la posición de la pieza esté determinada en el espacio. Como es lógico, en la dirección que se coloque cada apoyo, limitando el movimiento, surgirá una reacción. Teniendo en cuenta esto y aplicándolo al caso del acoplamiento mostrado en la figura 3, resulta evidente que deben sustituirse algunas de las cargas allí representadas por apoyos que limiten los desplazamientos en la misma dirección de dichas cargas. De esta forma surgirá una reacción igual a cada carga sustituida, y por tanto se mantiene el equilibrio del cuerpo.

La forma más lógica de proceder es dejando las cargas que genera uno de los dos elementos que se encuentran unidos a través del acoplamiento, por ejemplo la barra intermedia, y colocando los apoyos en los puntos de contacto del otro elemento, en este caso el escalón cuadrado del guijo. De esta manera se obtiene el modelo de cálculo que se muestra en la figura 4.

Realización del análisis o cálculo

Como se mencionó anteriormente el análisis de resistencia del acoplamiento corresponde a un problema estático lineal. Para resolver este problema el sistema COSMOS/M utiliza la teoría lineal de las estructuras, basada en la suposición de los desplazamientos pequeños, primeramente calcula las

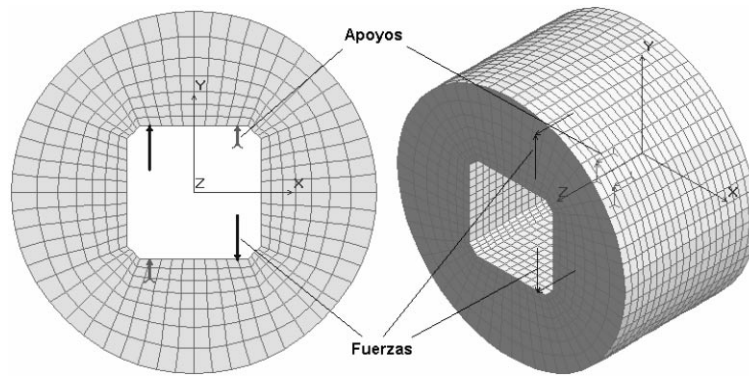


Figura 4 Modelo de cálculo del acoplamiento

deformaciones y a partir de éstas las tensiones. La solución a los gigantescos sistemas de ecuaciones que se formaron en todos los casos fue hallada mediante el *Direct Sparse Solver*, una de las técnicas más modernas implementadas en este sistema, la cual reduce el tiempo empleado para los cálculos y ofrece resultados confiables [2].

Visualización y análisis de los resultados

El aspecto más importante en el estudio de resistencia del acoplamiento lo constituye el análisis

de las tensiones, que se originan debido a las cargas que actúan sobre el mismo. Comúnmente se analizan las tensiones equivalentes (σ_{equ}) por diferentes teorías de resistencia, lo cual está en dependencia fundamentalmente del tipo de material. En el caso analizado, el material es hierro fundido con un comportamiento frágil, para el cual se recomienda el empleo de la teoría de *Mohr*. En la figura 5 se muestra la distribución por contornos de estas tensiones en MPa, a la izquierda aparece íntegramente el acoplamiento y a la derecha un corte que permite observar mejor el comportamiento en la zona interior.

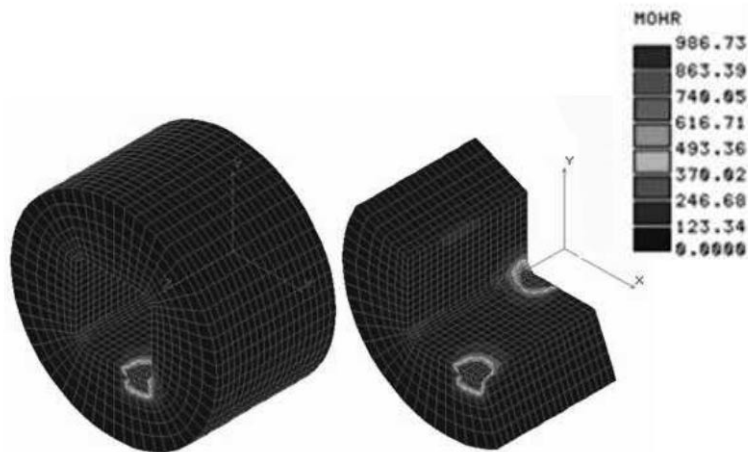


Figura 5 Tensiones equivalentes por la teoría de Mohr

Los resultados mostrados anteriormente, y todos los que aparecen como ejemplo, se corresponden con la variante 2 de la tabla 1, un espesor de 200 mm y una relación potencia-velocidad igual a 80 kW/r. p. m.

En la tabla 3 se muestran los resultados de los análisis realizados para los diferentes espesores y relación de potencia-velocidad de la variante número 2.

Tabla 3 Tensiones equivalentes en función del espesor y de la relación potencia-velocidad de rotación

Espesor (mm)	Relación potencia-velocidad de rotación (kW/r. p. m.)				
	10	20	40	60	80
100	34,95	69,91	139,81	209,72	279,62
150	22,09	44,18	88,35	132,53	176,70
200	15,59	31,18	62,35	93,53	124,70
250	12,74	25,48	50,96	76,44	101,92

A partir de los resultados obtenidos para cada una de las 8 variantes, los cuales fueron procesados estadísticamente, mediante la aplicación de los *software* Curve Expert 1.3 y Stat Graphics Plus 4.1, se obtuvo el siguiente modelo matemático para el cálculo de las tensiones equivalentes.

$$\sigma_{equ} = C_1 \cdot Esp^{C_2} \cdot \frac{Pot}{n} \quad (8)$$

$$Esp = e^{\frac{\ln\left(\frac{n \cdot \sigma_{equ}}{C_1 \cdot Pot}\right)}{C_2}} \quad (9)$$

Los coeficientes C_1 y C_2 se muestran en la siguiente tabla 4:

Estandarización de los acoplamientos de hierro fundido

En varias ocasiones especialistas de la industria azucarera han tratado disminuir la variedad de acoplamientos que se fabrican en el país [3]. En estos intentos de reducir la variedad de acoplamientos no se ha tenido en cuenta una de sus

funciones principales, la de actuar como elemento fusible, y en la mayoría de los casos se encuentran sobredimensionados. Con la aplicación de las expresiones obtenidas, resulta evidente que para cada molino se obtendría un acoplamiento diferente, pues en la práctica cada uno presenta una relación potencia-velocidad de rotación diferente. De esta forma no se daría cumplimiento al ansiado y lógico anhelo de la mayoría de los especialistas: reducir la variedad de acoplamientos, lo cual repercute además en el número de plantillas necesarias para la fabricación de los mismos.

A partir de los resultados alcanzados en el presente trabajo se propone una nueva estandarización de los acoplamientos de hierro fundido, en la cual se tuvieron en cuenta los factores fundamentales que influyen en el correcto funcionamiento de los acoplamientos cuadrados. La idea principal consistió en determinar un solo espesor que cubriera un rango de valores de la relación potencia-velocidad de rotación, dada la pendiente pequeña de la curva que relaciona estos dos parámetros, de manera tal que con un número prudente de espesores pudiera cubrirse toda la gama de la relación mencionada. Como resultado

Tabla 4 Coeficientes C_1 y C_2

Variante	C_1	C_2
1	462,2800	-1,0490
2	636,3300	-1,1303
3	876,5800	-1,2120
4	1.218,5000	-1,2950
5	1.396,5300	-1,3320
6	2.126,0500	-1,4350
7	2.526,5500	-1,4790
8	3.569,7300	-1,5640

final quedaron 8 dimensiones interiores de los agujeros cuadrados, 20 diámetros exteriores y un total de 42 acoplamientos diferentes, los cuales se exponen en la tabla 5.

Para la selección de un acople según la nueva estandarización el especialista deberá tener en cuenta los siguientes pasos:

- Verificar la altura del escalón cuadrado del guijo para determinar a cuál de las 8 variantes existentes corresponde el mismo (tabla 1), y de esta forma conocer la variante de acople a utilizar, cuyas dimensiones del agujero cuadrado y longitud se obtienen también de la tabla 1 (*las últimas dos columnas*).
- Determinar la potencia nominal del molino y la velocidad de rotación de la masa superior, y con estos dos valores hallar la relación Pot/n.
- Buscar con el valor de la relación Pot/n en la tabla 5 de la variante correspondiente en qué rango se encuentra, y con este rango se obtiene el diámetro exterior.

Comparación con el método tradicional

Los especialistas de la firma SKODA han desarrollado una metodología de cálculo para

estos acoplamientos, basada en los métodos tradicionales [1]. En este caso cabe señalar que existe un procedimiento lógico con un buen nivel ingenieril, pero los cálculos siguen siendo conservadores e imprecisos, debido a aproximaciones realizadas en la geometría del acoplamiento y en el esquema de cargas. Por tal razón, este método no garantiza la obtención del diámetro exterior del acoplamiento con la suficiente precisión, de manera que pueda ser utilizado como elemento fusible. Para superar esta deficiencia se usaron las técnicas avanzadas de análisis y simulación, empleando en este caso el *software* COSMOS/M versión 2.6, el cual permite realizar el cálculo de resistencia mediante la modelación por el método de elementos finitos [2].

A continuación se relacionan las expresiones y el esquema de carga usado por la firma SKODA para el cálculo de este tipo de acoplamiento [1].

$$W_t = \frac{\pi}{16} \cdot \frac{A^4 - B^4}{A} \tag{10}$$

$$\tau_{\max} = \frac{M_t}{W_t} \tag{11}$$

$$\sigma_f = \left(\frac{M_t}{x} \right) \cdot \mu \cdot \frac{E}{2} \tag{12}$$

$$\frac{A^4 - B^4}{6 \cdot A}$$

Tabla 5 Valores de los diámetros exteriores de los acoplamientos en función del número de la variante y la relación de potencia/velocidad

	<i>Diámetro exterior (mm)</i>	<i>Rango Pot/n (kW/r. p. m.)</i>
Variante 1	505	10 ÷ 14
	530	14 ÷ 20
	575	20 ÷ 30
	620	30 ÷ 42
	695	42 ÷ 61
	815	61 ÷ 80
Variante 2	530	10 ÷ 14
	555	14 ÷ 20
	595	20 ÷ 30
	655	30 ÷ 45
	735	45 ÷ 68
	845	68 ÷ 80
Variante 3	555	10 ÷ 14
	575	14 ÷ 20
	620	20 ÷ 30
	670	30 ÷ 48
	755	48 ÷ 70
	860	70 ÷ 80
Variante 4	595	10 ÷ 15
	620	15 ÷ 23
	670	23 ÷ 35
	735	35 ÷ 56
	815	56 ÷ 80
	620	10 ÷ 15
Variante 5	640	15 ÷ 23
	695	23 ÷ 37
	755	37 ÷ 58
	845	58 ÷ 80
	640	10 ÷ 15
	670	15 ÷ 25
Variante 6	720	25 ÷ 42
	785	42 ÷ 67
	885	67 ÷ 80
	670	10 ÷ 16
	720	16 ÷ 27
	755	27 ÷ 45
Variante 7	830	45 ÷ 73
	925	73 ÷ 80
	695	10 ÷ 17
	735	17 ÷ 30
	785	30 ÷ 50
	860	50 ÷ 80

$$\sigma_t = \frac{M_t / x}{2 * \text{Área}} \quad (13)$$

$$\sigma_{equ} = \sqrt{(\sigma_t + \sigma_f)^2 + 4 \cdot \tau_{max}^2} \leq [\sigma] \quad (14)$$

Donde:

W_t : módulo de la sección a torsión.

A : ancho del escalón cuadrado intermedio del acoplamiento.

B : ancho del agujero cuadrado del acoplamiento.

π : constante igual 3.1416.

M_t : momento torsor.

Área : área de la sección transversal del acoplamiento.

τ_{max} : tensión tangencial máxima debido al momento torsor.

σ_f : tensión normal a flexión.

E : longitud del acoplamiento.

η : coeficiente de fricción.

x : distancia entre el par de fuerza P, figura 6.

σ_{equ} : tensión normal equivalente.

$[\sigma]$: tensión admisible del material del acoplamiento.

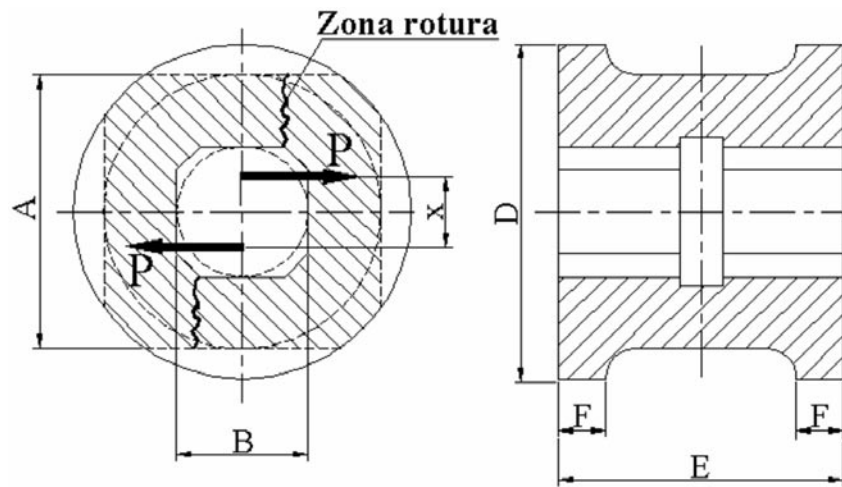


Figura 6 Esquema de carga usado por la firma SKODA

Para establecer una comparación entre el método tradicional y el propuesto, se tomará como referencia un acoplamiento real cuyos parámetros geométricos y de resistencia son:

- Longitud del acoplamiento : 385 mm.
- Altura del agujero cuadrado : 310,4 mm.

- Diámetro exterior : 505 mm.
- Tensión de rotura : 210 MPa.

El mismo se encuentra funcionando en un molino cuya relación potencia-velocidad es de 14 kW/r. p. m. Al aplicar las ecuaciones 10 a 14 se obtuvo una tensión equivalente, en el acoplamiento,

de 212,5 MPa ligeramente superior a la tensión de rotura del material con que está fabricado el acoplamiento. Al utilizar el método propuesto (MEF) el valor obtenido de tensión equivalente es de 165 MPa, inferior a la tensión de rotura del material.

Conclusiones

- Se desarrollaron las expresiones para el cálculo de las fuerzas que actúan en el acople a partir del diagrama del cuerpo libre del mismo, lo cual resultó necesario para obtener el esquema de cargas y las condiciones de contorno del modelo de cálculo utilizado durante el análisis por el método de elementos finitos (MEF).
- Se realizó el análisis de los acoplamientos de hierro fundido por el método de elementos finitos, a partir de un modelo de cálculo donde se consideraron los principales factores que influyen en su resistencia. Este análisis permitió obtener las expresiones para calcular el espesor y diámetro exterior, de manera que los mismos cumplan con su función de elemento fusible.
- Mediante los resultados alcanzados con el empleo del *software* COSMOS/M, y el posterior análisis estadístico, se obtuvieron las expresiones y nomogramas que permiten calcular el espesor de los acoplamientos de hierro fundido, garantizando que éstos actúen como elemento fusible, lo cual no ha sido reportado con anterioridad por otros autores.
- Los métodos de cálculo publicados en la literatura no permiten obtener el diámetro exterior de los acoplamientos con la suficiente precisión, de manera que puedan ser

utilizados como elemento fusible, debido a aproximaciones realizadas en la geometría del acople y en el esquema de cargas. Esto hizo necesario la aplicación de técnicas modernas de análisis y simulación para poder determinar este parámetro con la precisión requerida.

- Como aplicación de los resultados obtenidos en la presente investigación se propone una nueva estandarización de los acoplamientos que se utilizan actualmente en Cuba. Quedando finalmente un total de 42 acoplamientos, con 8 dimensiones interiores de los agujeros cuadrados y 20 diámetros exteriores.

Referencias

1. Apuntes del curso impartido por especialistas de la firma Checa Skoda, a los especialistas de la Planta de Producciones Mecánicas "Fabric Aguilar Noriega", en Cuba, sobre el *Cálculo de resistencia de los diferentes componentes de un molino cañero*. 1974.
2. COSMOS/M. Basic FEA System User Guide. Structural Research & Analysis Corporation. Año 2003.
3. F. Pérez Eguzquiza. "Nuevas Tendencias en la molida de caña en Cuba y en el mundo". *X Encuentro de Jefes de Maquinarias*. La Habana. Ed. Minaz. 1996. pp. 60-62.
4. G. Muñoz, I.J. Lewinski. "Análisis del comportamiento mecánico de un molino de caña". *International Sugar Journal*. Vol. 98. 1996. pp. 386-390.
5. H. Okamura, H. Tanaka, H. Terao. "Square box couplings in cane mill drives Part I" *International Sugar Journal*. Vol. 74. 1972. pp. 291-293.
6. H. Okamura, H. Tanaka, H. Terao. "Square box couplings in cane mill drives Part II" *International Sugar Journal*. Vol. 74. 1972. pp. 323-327.
7. M. Tabares, Evaluación del eje entredos de cara rotada contra entredós convencional, Delegación Provincial Habana, La Habana. Ed. Minaz 1997. pp. 46-52.8.