

Determinación de la configuración geométrica óptima de la zona de carga de un remolque cañero

V. Álvarez-Sánchez, J. Arzola-Ruiz

Recibido el 24 de junio de 2009; aceptado el 16 de septiembre de 2009

Resumen

En este trabajo presenta la modelación matemática y el procedimiento de optimización de las dimensiones de la zona de carga de un remolque cañero como parte componente de su diseño. Como criterio de optimización se selecciona la masa de los conjuntos que conforman dicha zona. El modelo matemático del área desarrollada de los conjuntos que conforman la zona de carga, se supone que la masa de los conjuntos es proporcional a su área. Como restricciones del modelo se establecen: el ancho máximo de la zona de carga, la altura máxima de la misma y el ancho del bastidor.

Palabras claves: Optimización de remolques cañeros, diseño óptimo, equipos de cosecha, modelación matemática.

Determination of the dimensions of the load area of cane troiler.

Abstract

In the present work the mathematical model and the optimization procedure of the task of determination of the dimensions of the load area of CANE TROILER as component part of it design are shown. As optimization criteria the mass of the sets that conform this area is selected. In the mathematical model it is supposed that the mass of the sets it is proportional to its area. As restrictions of the model the maximum width and the maximum height of the load area and the width of the wing are settled down.

Key words: cane troiler optimization, crop teams, mathematical modelling

1. Introducción.

Se define como “Zona de Carga” al volumen comprendido entre las dos barandas laterales, la parte superior del bastidor del remolque cañero y las tapas extremas, delanteras y traseras, conocidas también como Cabezales. La masa de estos conjuntos es proporcional a su área debido a que son estructuras planas.

El ingeniero mecánico al diseñar la configuración geométrica de la “Zona de Carga” de un remolque cañero, debe determinar las dimensiones: largo, ancho y alto, que definen el volumen de carga, lo cual lo realiza apoyado en su experiencia. A pesar que en el ánimo del diseñador generalmente subyace la intención de lograr un diseño óptimo, en la bibliografía especializada no se reporta el empleo de herramientas de optimización.

En el planteamiento y solución del problema se debe tener en cuenta el modo de efectuar la descarga, la interrelación de los neumáticos con la Zona de Carga, la altura máxima que la misma puede alcanzar, la mínima distancia de la parte superior del bastidor respecto al suelo, las normas de tráfico por carreteras y las condiciones tecnológicas de su fabricación.

Resulta intuitivamente claro, y se refleja en la bibliografía especializada (ver [1],[6],[7]), que durante el diseño se debe procurar que la masa del remolque sea mínima, para que la actividad de transporte se realice con la mayor eficiencia posible y que los costos por concepto de materia prima se minimicen.

Al relacionar el requisito de diseño de minimizar la masa con el concepto de la “Zona de Carga”, se comprende que la tarea a resolver consiste en, minimizar el valor de la sumatoria de las áreas que conforman el volumen de carga, con el objetivo de que la masa total sea mínima.

En el presente trabajo se fundamenta un modelo matemático que describe la tarea de diseño de la zona de carga de remolques cañeros. Así, se formula la tarea de determinación de los valores de las dimensiones que definen el área desarrollada de las superficies que configuran el volumen de la zona de carga de forma tal de minimizar su superficie total. Se presenta un caso

de estudio de diseño óptimo de la zona de carga de un remolque para un volumen dado.

La expresión que define el área de las superficies que conforman la “Zona de Carga” se presenta como la función objetivo. Al determinar su mínimo, se determina el área mínima que contiene un volumen de carga dado. Como la masa es una función del área,

se plantea entonces que, al definir el valor del área mínima, también se garantiza la mínima masa de los conjuntos que conforman la zona de carga.

Para la construcción del modelo matemático se ha empleado un artificio que considera que entre los lados longitudinales y el fondo existe un radio de curvatura que une ambas superficies, el cual será tan pequeño como se quiera, pero desigual de cero. (Ver Figura. 1)



Figura. 1 Forma geométrica de la zona de carga. Fuente: Autor.

Función objetivo y modelo matemático.

El desarrollo del área de la zona de carga se muestra en la figura 2 y la expresión que la describe es:

$$A_t = 2(A_c + A_l) + A_f \quad (1)$$

Donde

A_t : Área total.

A_c : Área del cabezal.

A_f : Área del fondo

Al observar esta figura se deduce que:

$$A_c = A_1 + 2(A_2) + 2(A_3) \quad (2)$$

$$A_l = A_4 + A_5 \quad (3)$$

Donde

A_5 : Es el área definida por la longitud del arco de radio R y la longitud de la zona de carga

$$A_f = L \cdot Bb \quad (4)$$

Donde

L : longitud de la zona de carga.

Bb : Ancho del bastidor.

Al sustituir (2), (3) y (4) en (1) se obtiene

$$At = 2(A1 + (2A2) + (2A3) + (A4 + A5)) + (L \cdot Bb) \quad (5)$$

Como resultado, al poner toda la ecuación (5) en función de las variables de decisión, se obtiene

$$At = 2 \left((H \cdot Bb) + 2(H - R)R + \left(\frac{\pi R^2}{2} \right) \right) + L(H - R) + L \left(\frac{\pi R}{2} \right) + (L \cdot Bb) \quad (6)$$

Donde

H : Altura del cabezal.

R : Radio definido entre la unión de los laterales y el fondo.

La expresión (6) es la función objetivo del modelo y describe el área que conforma la zona de carga de un remolque cañero en función de las variables que definen sus dimensiones.

Restricciones.

Como restricciones al problema se consideran:

- La altura máxima (H) de la Zona de Carga que
- va a estar definida como la diferencia entre la altura mínima que permite el transportador de la combinada sin topar con el borde superior de la carreta y la mínima altura de la parte superior del bastidor al suelo.

$$H^{sup} = H_{trans} - h_{min} \quad (7)$$

Donde

H^{sup} : Altura máxima de la zona de carga.

- H_{trans} : Altura mínima del transportador de la combinada sin topar con el borde superior de la carreta.
- h_{min} : altura mínima de la parte superior del bastidor al suelo
- El ancho máximo de la Zona de Carga (B) definido como la diferencia entre el ancho máximo que permite la norma cubana de carretera a los vehículos automotores (A_{max}) menos el ancho de seguridad que contempla dado por la oscilación del remolque debido al coleteo durante el tránsito por la carretera. Según los expertos, para este análisis se considera de 150 mm a cada lado

$$B = A_{max} - A_s \quad (8)$$

Donde:

B : Ancho máximo de la zona de carga.

A_{max} : Ancho máximo de un vehículo en la vía.

A_s : Ancho de seguridad = 300 mm.

- El ancho mínimo del bastidor (Bb) dado por las restricciones de tipos tecnológicas, propias del proceso de soldadura. Para las condiciones propias del taller de soldadura de la planta de remolques cañeros de la Empresa "Héroes del 26 de Julio" $Bb = 1200$.
- El volumen del remolque, se define como el producto del área del cabezal por la longitud del remolque.

$$V = A_c \cdot L \quad (9)$$

Determinación de la altura máxima (H^{sup}) de la Zona de Carga.

Para este caso de estudio se toma $H_{trans} = 3200$ mm, que es el valor máximo el borde superior de un remolque situado debajo de transportador de descarga de una cosechadora KTP-2, sin chocar con él durante el trabajo dentro del campo cañero.

Para determinar el valor de " h_{min} ", e indica cuanto se puede bajar la altura de los remolques, se hace necesario conocer la altura máxima de las irregularidades del terreno, las cuales se determinan de modo experimental. Para el caso que se presenta en este artículo se toma el bastidor de un remolque RC-02 y se le adaptó, en calidad de equipo de medición, a un costado, una rueda con rotación libre, soportada en un eje calibrado deslizante sobre una guía cilíndrica, con la escala situada de manera descendente (ver figura 3).

Como resultado de una inspección visual por los caminos cañeros del CAI objeto de estudio, se procede a efectuar mediciones, en aquellas zonas que presentan los badenes más notables, así como las alcantarillas y cruces ferroviarios con realces de terreno más prominentes, etc.

Los valores máximos medidos oscilan entre 350 mm y 420 mm.

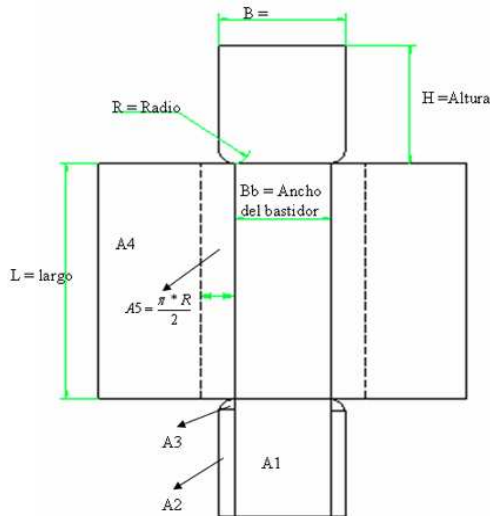


Figura 2. Esquema del área desarrollada de la zona de carga de un remolque cañero.

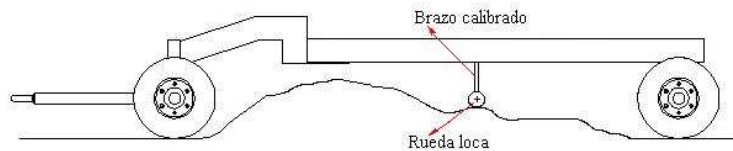


Figura 3. Esquema representativo del equipo utilizado para medir las irregularidades del terreno.

Como esta medición se realiza al borde inferior del bastidor y “hmin” es referido a su borde superior, a este valor se le suma la altura de la viga de un remolque cañero que, para el caso de estudio es de 200 mm.

$$hmin = 420 + 200 ; hmin = 620 \text{ mm}$$

Al sustituir en (7) el valor de “Htrans” y “hmin” queda:

$$H = 3200 - 620; H = 2580 \text{ mm}$$

Determinación del ancho máximo

Para determinar el ancho máximo se sustituyen en (8)

$$A \text{ max} = 2600$$

Por lo que tenemos: $B = 2300$

A	B	C	D
1	VARIABLES CAMBIANTES	Restricciones	
2	B(ancho)	2,3 Altura máxima Cabezal	2,58
3	R(radio)	0,55 Ancho máximo Zona Carga	2,30
4	H(altura)	2,20 Ancho mínimo del bastidor	1,20
5	L(largo)	5,08 Dato de entrada	
6		Volumen	25,00
7			
8	OTRAS VARIABLES	FUNCIÓN OBJETIVO.	
9	Ab(ancho del bastidor)	1,2 Area total	41,44
10	Area del cabezal	4,9244377	
11	Area del lateral	12,7482282	
12	Area del fondo	6,09206611	
13	Volumen de carga	25	
14			
15			
16			
17			
18			
19			
20			
21			
22			

Figura 4. Hoja de Excel con los resultados del cálculo de las dimensiones óptimas de la Zona de Carga.

Definición del modelo matemático.

Para el caso de estudio el modelo matemático queda definido como:

Min At

Sujeto a:

1. $0 \leq H \leq H^{sup} = 2.58 \text{ m}^3$

Donde:

CC: Capacidad de carga del remolque kg.

δ : Densidad específica de la caña kg/m³.

Vd: Valor del volumen que se entra como dato.

2. $0 \leq B \leq 2.3 \text{ m}^3$.

3. $1.2 \leq Bb \leq B \text{ m}^3$.

4. $Vd = \frac{CC}{\delta} \text{ m}^3$

dimensiones óptimas de una zona de carga con un volumen de 25 m³, que es el volumen que se toma como restricción.

La figura 5 muestra la imagen del informe de respuesta, que brinda el Solver, después de haber determinado los valores óptimos del modelo, en él, primeramente se observa el resultado de la celda objetivo, que es el valor que se optimizó, en la siguiente tabla se visualizan los valores de las variables de decisión, y finalmente se brinda la tabla con el comportamiento de las restricciones.

Resultados obtenidos.

Para optimizar el modelo y encontrar los valores idóneos del ancho (B), el alto (H) y el largo de la Zona de Carga, se empleó la herramienta *Solver* de Microsoft Excel.

La figura 4 muestra una imagen que corresponde a la hoja de cálculo de Excel para determinar las

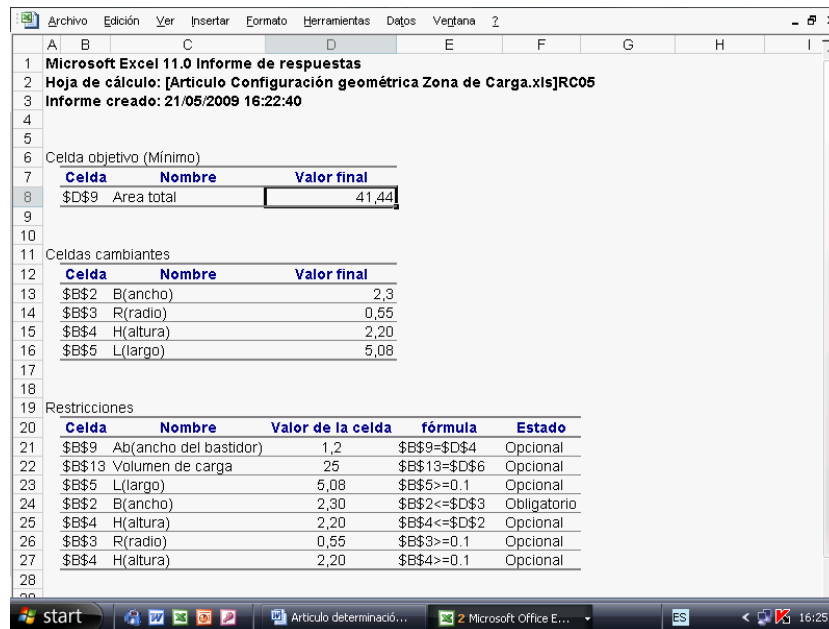


Figura 5. Informe de respuesta de Excel con los resultados del cálculo de las dimensiones óptimas de la Zona de Carga.

2. Conclusiones.

- Se logra formular un modelo matemático que describe el área de los conjuntos que conforman la zona de carga de un remolque cañero.
- Se optimiza las dimensiones de la zona de carga de un remolque cañero, basados en una fundamentación matemática y no criterios empíricos del diseñador.
- Se brinda una herramienta de optimización eficiente para el trabajo de diseño de la zona de carga de los remolques cañeros.

3. Recomendaciones.

Aplicar los principios planteados en este caso de estudio a la determinación de las dimensiones óptimas de cualquier remolque que su Zona de Carga se responda con la aquí analizada.

4. Referencias.

1. **CARDONNE, M. I.** "La organización racional del transporte cañero". *Revista ATAC*. 1973. nº 3, p. 49-55.
2. **COLECTIVO DE AUTORES.** *Introducción a la Investigación de Operaciones*. La Habana: Editorial Félix Varela, 2004.
3. **FYLSTRA, H., DANIEL; LASDON, L., et al.** "Desing and Use of the Microsoft Excel Solver". *Interfaces Magazine*. September-October 1998.
4. **FYLSTRA, H., DANIEL y NENOV, I. P.** "Interval Methods of Accelerator Global Search in the Microsoft Excel Solver". *Reliable Computing*. Printed in Netherlands. 2003.
5. **FYLSTRA, H., DANIEL.** "Introducing Convex and Conic Optimization for the Quantitative Finance Professional". *Wimott Magazine*. March 2005.
6. **IGLESIAS C, C.** *Exigencias agrotécnicas para los medios de transporte y trasbordo de la caña en Cuba*. La Habana: 1974.
7. **IGLESIAS C, C.** "Fundamentación para la modelación de la masa y de los costos de los remolques cañeros en función de su capacidad de carga". *Revista Ciencias Técnicas Agropecuarias*. 2006. vol. 15, nº 2.
8. **TAHA, H. A.** *Investigación de Operaciones*. Quinta ed. Colombia: Departamento de Ingeniería Industrial. Universidad de Arkansas, 2006.

V. Álvarez-Sánchez¹, J. Arzola-Ruiz²

1. Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería. Universidad de Holguín. Cuba

E-mail: vladimir@facing.uho.edu.cu

2. Departamento de Matemática. Facultad de Ingeniería Mecánica

Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría" – ISPJAE

Calle 114 #11901 e/119 y 127. Marianao. La Habana. Cuba. CP 19390.

E-mail: jarazola@ceter.cujae.edu.cu