

Modelo integral de la estructura móvil de una máquina limpia-playa

María Eugenia García Domínguez

Correo electrónico: megarcia@mecanica.cujae.edu.cu

Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

Resumen

Se propone el modelo de la estructura móvil de una máquina limpia-playa, con un análisis integral de la estructura y sus componentes fundamentales como la barra de tiro, bastidor y el soporte del puente. Utilizando este modelo racional de la estructura de la máquina limpia-playa, se realiza un análisis de las tensiones y desplazamientos que ocurren en los dos estados más críticos de operación de la máquina: cribado y descarga. Para el análisis de las tensiones y los desplazamientos en la máquina limpiadora de playa fue elaborado el modelo físico-matemático de la estructura por el método de los elementos finitos y siguiendo las reglas establecidas. Con el estudio realizado y considerando las características que ofrecen las playas cubanas, se pretende que la máquina analizada en este trabajo cumpla con los requerimientos técnicos, económicos y ecológicos para su óptima puesta en marcha.

Palabras clave: limpia-playa, estructura, tensiones, desplazamientos, gráficos

Recibido: enero 2010

Aprobado: marzo 2010

INTRODUCCIÓN

El desarrollo de máquinas para la limpieza de las playas es una necesidad inmediata en el incremento de la industria turística cubana, que no cuenta en la actualidad con una limpieza exhaustiva de la arena, pues se realiza de forma manual. Actualmente hay en explotación cientos de kilómetros de playas dedicadas al turismo que requieren la limpieza de los desperdicios dejados sobre la arena por los veraneantes y de las algas depositadas por las olas.

Una excelente calidad de playas exige un perfecto cuidado; y para lograrlo es necesario aplicar una avanzada técnica de limpieza.

La limpieza de las playas de forma manual, solo es posible realizarla para los desperdicios depositados sobre la superficie, mientras que los residuos ocultos bajo la arena se eliminan con máquinas apropiadas para esta tarea y con garantía de cumplir con las reglas técnicas, ecológicas y económicas exigidas para estos equipos especiales.

El desarrollo de una máquina que cumpla con los requisitos exigidos para garantizar la limpieza de las playas requiere varias etapas de trabajo, entre estas se encuentran la de diseño, fabricación del prototipo, donde se comienza la construcción de los elementos de máquinas y de estructuras que las conforman y se ensambla finalmente, pero paralelamente se realizan los cálculos de comprobación de la estructura y para ello puede ser útil la realización de un modelo por elementos finitos para poder perfeccionar el modelo teórico y disponer de un modelo validado para hacer los ajustes necesarios en las futuras producciones de la máquina.

DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA LIMPIA-PLAYA

La máquina limpia-playa es un equipo que por sí solo no tiene movilidad y debe ser arrastrado por un tractor. La figura 1 muestra un plano general de dicha máquina, que permite observar su accionar como un remolque. La función

de la máquina es limpiar de residuos la arena de la playa (latas, botellas, cajas, papeles, etc), depositados por los veraneantes.

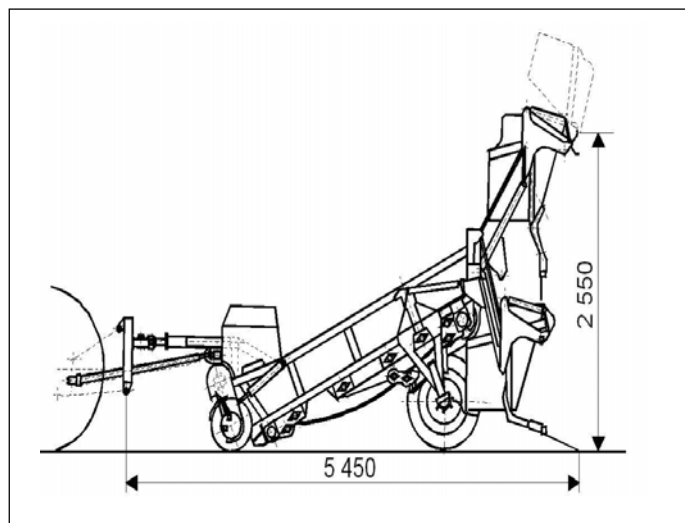


Fig. 1. Esquema de la máquina limpia-playa.

Algunas de las características principales de la máquina limpia-playa objeto de estudio, son las siguientes:

- Fuerza motriz máxima: 14 000 N.
- Penetración máxima de la cuchilla: 160 mm.
- Dimensiones de la máquina:
Longitud: 5 450 mm.
Ancho: 2 600 mm.
Altura: 2 030 mm.
- Peso aproximado del equipo: 1,8 t.
- Capacidad: 1 360 m³/h.
- Cernidor de banda transportadora con malla de acero articulada y tejido triangular:
Longitud del cernidor: 2 600 mm.
Ancho del cernidor: 1700 mm.
Peso unitario aproximado: 12 kg/m.
Peso total de la banda articulada: 115 + 5 kg.
Peso de arena seca sobre la malla: 1 100 - 1 500 kg.

Para realizar su trabajo, la máquina limpia-playa dispone de una cuchilla frontal cuya función es levantar la arena a medida que el equipo avanza paralelo a la orilla de la playa y colocarla sobre la malla sin fin de un cernidor vibratorio.

La arena limpia se deposita de nuevo en el mismo lugar de donde fue extraída y los residuos que no pueden atravesar la malla del cernidor son conducidos hasta el otro extremo y depositados en un contenedor provisional que cuando llega a su capacidad máxima de almacenaje (1,4 m³), mediante un mecanismo hidráulico, se descarga sobre un camión u otro vehículo apropiado para transportarla hacia el depósito permanente de desechos.

El rodillo motriz del cernidor es accionado por una toma de fuerza del tractor y pone en movimiento la malla sin fin. A través de los dos ejes excéntricos se le suministra a la malla un movimiento vibratorio para facilitar la labor del cernidor y separación de los residuos sólidos. El sistema de paletas

del mecanismo de alimentación, colocado delante de la cuchilla permite que llegue a la misma la cantidad de arena necesaria para su posterior limpieza.

La máquina realiza tres operaciones que son: cribado, rastrillado y mixta.

Cribado

La figura 2 muestra el sistema del cernidor trabajando en la operación de cribado. En esta operación la cuchilla está trabajando como promedio 16 cm centímetros por debajo del nivel de la arena y en esa posición la resistencia producida por el colchón de arena crea las máximas cargas en la cuchilla y sobre el dispositivo de descompactación. La velocidad de trabajo es cercana a 5 km/h.

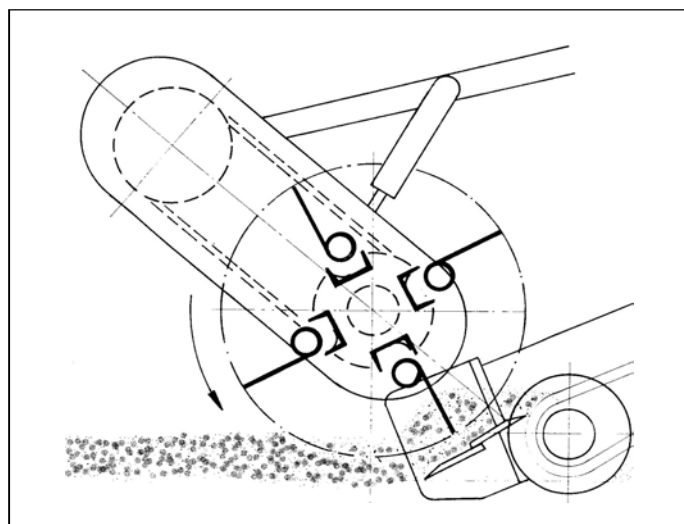


Fig. 2. Operación de cribado.

Rastrillado

La figura 3 muestra el sistema de limpieza en la operación de rastrillado. En esta operación la cuchilla no penetra. Se utiliza para limpiar arena húmeda o seca a gran velocidad de marcha y con gran rendimiento por unidad de superficie. Además de limpiar la arena se utiliza para eliminar las algas presentes en la arena. Puede trabajar a la velocidad de 10 km/h en arena seca y en arena húmeda a 8,5 km/h.

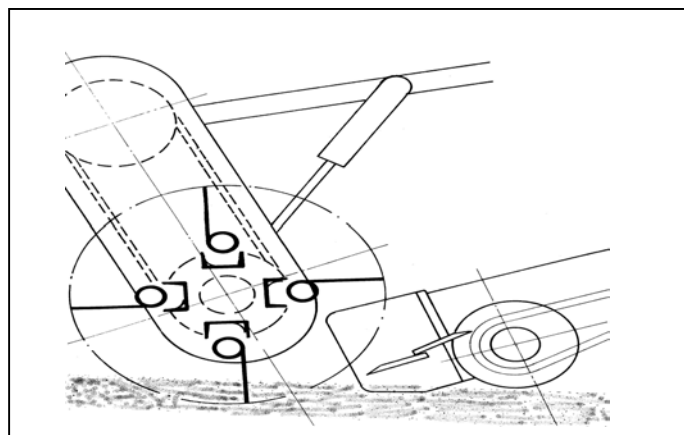


Fig. 3. Operación de rastrillado.

Mixta

En la figura 4 se observa el sistema de limpieza en una operación de trabajo mixta. Esta operación es una combinación de las dos anteriores, aunque la penetración de la cuchilla de recogida no alcanza el valor máximo de penetración establecida en la operación de cribado, sino una penetración que el operario determinará en dependencia de la contaminación de la arena a limpiar. Permite también la limpieza de la arena seca y húmeda. La velocidad de trabajo oscila entre 7 y 5,5 km/h.

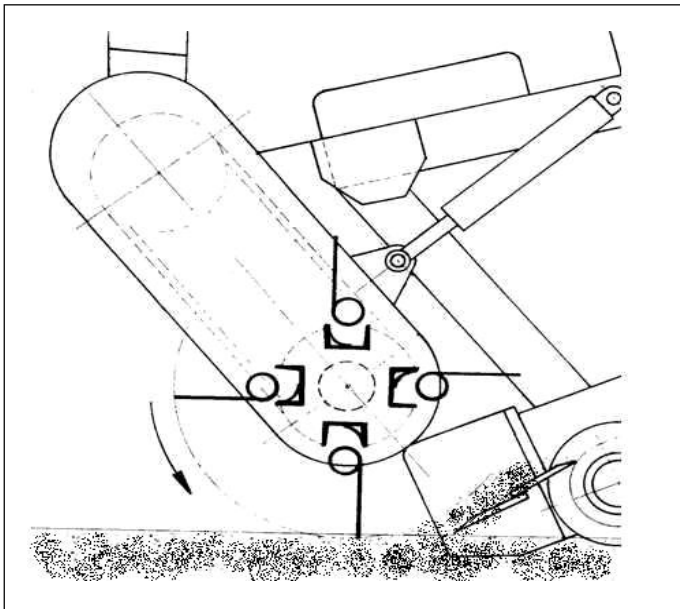


Fig. 4. Operación mixta.

MODELO GEOMÉTRICO DE LA ESTRUCTURA DE LA MÁQUINA

Para realizar el análisis de las tensiones y desplazamientos que sufre la máquina limpiadora de playa se elaboró un modelo físico-matemático de la estructura, siguiendo las reglas establecidas por el método de los elementos finitos. [1] El modelo geométrico básico de la estructura de la máquina puede observarse en la figura 5.

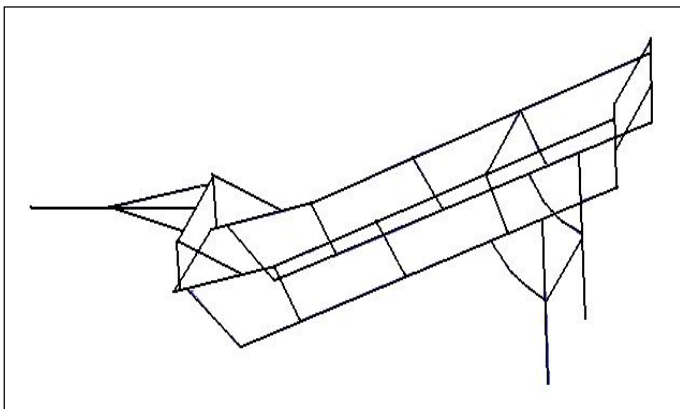


Fig. 5. Estructura de la máquina.

SISTEMA DE FUERZAS

El sistema de fuerzas utilizado en el cálculo se dividen en: cargas principales y cargas adicionales. [2]

Cargas principales

En este tipo de carga se considera que solo son efectivas las fuerzas principales. Como cargas principales se toman en consideración las fuerzas permanentes, las fuerzas móviles y las fuerzas por efectos térmicos.

En el estudio fueron consideradas como fuerzas permanentes el peso de la estructura, el peso de los rodillos, el peso de la malla y la fuerza de tensión de la malla. Como fuerzas móviles se tomaron en consideración el peso de la arena, las fuerzas en las cuchillas, las fuerzas del hidráulico de alimentación, las fuerza del hidráulico de elevación y la fuerza tractiva en la máquina.

Para el cálculo de las cargas permanentes se tomó en consideración un coeficiente de choque para valorar la dependencia de las cargas permanentes con la velocidad de desplazamiento del vehículo. [3]

El coeficiente de choque fue evaluado según las recomendaciones presentes en la tabla 1.

Para el análisis de la estructura de la máquinas fue considerado un valor para el coeficiente de choque $\varphi = 1,2$.

Así mismo, en el cálculo de las cargas móviles se estimó un coeficiente de compensación que tiene en cuenta la repetición de las cargas. El coeficiente de compensación fue evaluado según las recomendaciones presentes en la tabla 2.

Tabla 1 Coeficiente de choque φ	
Velocidades de desplazamiento	φ
Estructuras en reposo	1,0
Hasta 60 m/min	1,1
Mayores de 60 m/min	1,2

Tabla 2 Coeficiente de compensación ψ	
Tipo de estructura	ψ
Muy ligeras	1,9
Ligeras	1,6
Pesadas	1,4
Muy pesadas	1,2

Para el análisis de la estructura de la máquinas fue considerado un valor para el coeficiente de compensación de $\psi = 1,8$.

Cargas adicionales

En este grupo de cargas se considera generalmente la presión del viento y las fuerzas de frenado aplicadas durante el desplazamiento de la máquina, y también las fuerzas laterales y horizontales.

En esta estructura no son consideradas las fuerzas debidas al viento por ser muy pequeñas y se despreciaron las fuerzas laterales, porque la velocidad de desplazamiento del vehículo es muy pequeña.

ESTADOS DE CARGA

Los estados de carga fundamentales y críticos en el funcionamiento de la máquina son observados en las operaciones que a continuación se relacionan.

Operación de cribado

En esta operación, tal y como fue explicado anteriormente, la cuchilla se introduce 16 cm por debajo del nivel de la arena y en esa posición de la cuchilla la resistencia producida por el colchón de arena crea las máximas cargas sobre esta y el dispositivo de descompactación. Estas cargas generadas en la cuchilla y en el dispositivo de descompactación son transmitidas a la estructura. Para establecer el sistema de carga empleado en el análisis de la resistencia de la estructura de la máquina, fue considerada la cubeta de los residuos totalmente llena (máxima capacidad).

Operación de descarga

En este régimen de operación se produce la elevación de la cubeta de residuos llena y su posterior volteo para efectuar la descarga sobre el vehículo recolector. En esta operación se producen las mayores cargas en algunos de los elementos de la estructura que no son necesariamente los más cargados en la operación de cribado. Durante la operación de descarga la máquina limpia-playa no está realizando ninguna operación de limpieza solamente está en función de vaciar la cubeta de recolección.

CÁLCULO DE LA TENSIÓN EN LA BANDA TRANSPORTADORA

La tensión en la banda transportadora se calcula por la siguiente expresión: [4, 5]

$$T_{m\acute{a}x} = P \cdot K_s \quad (1)$$

donde:

$T_{m\acute{a}x}$: Fuerza de tensión máxima de la banda estática con régimen establecido.

P : Fuerza de tracción.

K_s : Coeficiente de tensión máxima.

La fuerza de tracción P se calcula por la siguiente expresión:

$$P = \left(1 + k_t \frac{\sum \alpha}{A} \right) [(G_m + q_c L_h) W \pm q_c H] \quad (2)$$

donde:

K_t : Coeficiente que tiene en cuenta el tipo de transmisión y las particularidades de la traza del transportador.

W : Coeficiente de resistencia en dependencia del tipo de rodillo de apoyo.

$\sum \alpha$: Suma de los ángulos de flexión de la banda en grados por toda su traza.

H : Altura de izaje de la carga.

A : Coeficiente que considera las condiciones de explotación del transportador. Su valor oscila entre 2 000 para las condiciones más desventajosas (atmósfera polvorienta, dificultades de mantenimiento, transportadores bajo tierra) y 3 000 para las mejores condiciones (atmósfera seca y limpia, fácil acceso a los conjuntos del transportador para el mantenimiento).

G_m : Peso total (sumario) de las partes móviles del transportador, se calcula por la siguiente expresión:

$$G_m = 2 \cdot q_c \cdot L_h + G_g \quad (3)$$

donde:

q_c : Peso lineal de la carga para un metro lineal de banda.

L_h : Longitud de la proyección horizontal de la trayectoria del desplazamiento de la carga.

G_g : Peso de las partes giratorias del transportador.

El coeficiente de tensión máxima K_s , se determina con la siguiente fórmula:

$$K_s = \frac{e^{f\alpha}}{e^{f\alpha} - 1} \quad (4)$$

donde:

f : Coeficiente de fricción entre banda y tambor del transportador.

α : Ángulo de contacto del tambor con la banda.

DETERMINACIÓN DE LAS TENSIONES Y DEFORMACIONES

Teniendo en cuenta la distribución de cargas que actúan sobre la máquina limpia-playa y basado en los criterios anteriormente expuestos se realizaron los cálculos de las tensiones y deformaciones [6, 7] en la estructura, dividiéndola en los subcasos más críticos correspondientes a las operaciones de cribado y descarga. En las figuras 6 y 7, se puede observar la estructura deformada y sin deformar en la operación de cribado, además del comportamiento de las tensiones en los diferentes elementos componentes de la

estructura. De la misma forma, en las figuras 8 y 9, correspondientes al análisis de la estructura en la operación de descarga, se observa la estructura deformada y sin deformar, además de la distribución de tensiones en los elementos.

De los gráficos de distribución de tensiones en los elementos para cada operación de trabajo analizada se pueden determinar con certeza los elementos que superan las tensiones admisibles por resistencia y por lo tanto conocer aquellos elementos estructurales que requieren reforzar su sección transversal.

Derivado de los resultados del análisis de las tensiones y deformaciones en la estructura, y considerando el efecto de las uniones soldadas en la resistencia del conjunto, [8 - 10], se observa que en la operación de cribado el cuerpo de la estructura se desplaza en general en sentido vertical y de forma uniforme. Este resultado es totalmente compatible con el hecho de que las cargas principales (fuerza tractiva, fuerza del mecanismo descompactador, fuerza de la cuchilla, etc.) actúan sobre la parte delantera de la máquina, mientras las fuerzas del mecanismo de elevación y volteo actúan sobre la parte trasera, exceptuando la barra de tiro.

Durante el análisis de las tensiones y deformaciones en la operación de descarga se puede observar que las mayores deformaciones y tensiones ocurren en la parte trasera de la estructura. Este resultado, corrobora una lógica intuición inicial del hecho, debido a que las cargas generadas en la operación de descarga son producidas por el peso propio de la estructura, las fuerzas de tensión en la malla, las fuerzas del peso de los rodillos, las fuerza del peso de la malla y las fuerzas originadas por el mecanismo de elevación y volteo, mayormente localizadas en la parte trasera de la estructura.

En las tablas 3 y 4 se observan los valores de tensión máxima en los elementos más peligrosos por fractura correspondientes al análisis realizado en las operaciones de cribado y descarga. También en estas tablas se observa que el efecto de las tensiones en los elementos superan hasta en un 198% las tensiones admisibles de los elementos de la estructura, por lo que es necesario reforzar las secciones transversales de los componentes.

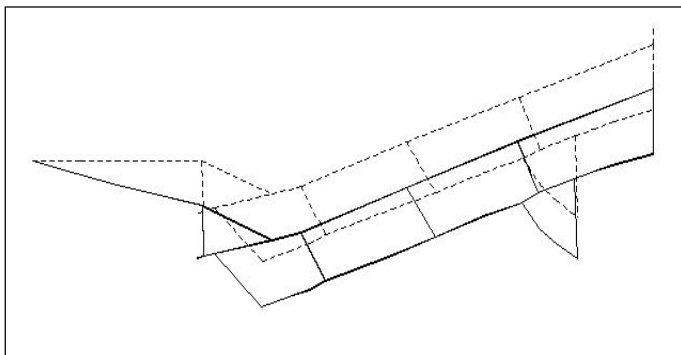


Fig. 6. Estructura deformada (líneas continuas) y sin deformar (líneas discontinuas). Operación de cribado.

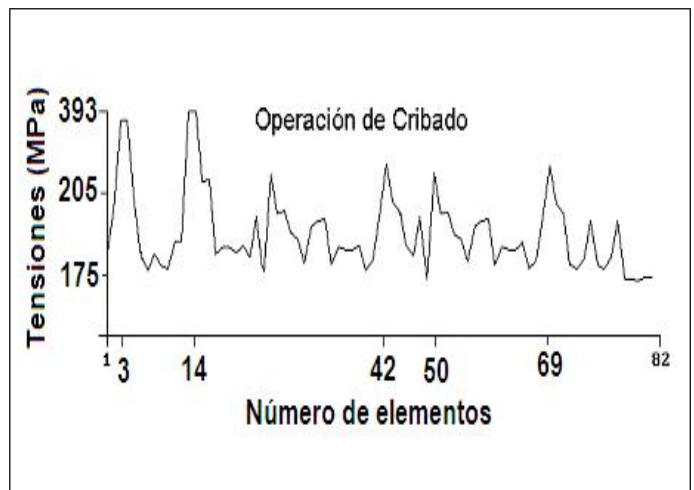


Fig. 7. Tensiones en los elementos en operación de cribado.

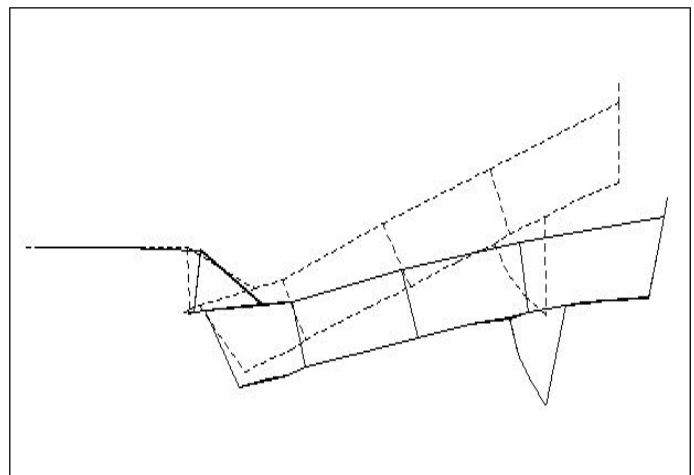


Fig. 8. Estructura deformada (líneas continuas) y sin deformar (líneas discontinuas). Operación de descarga.

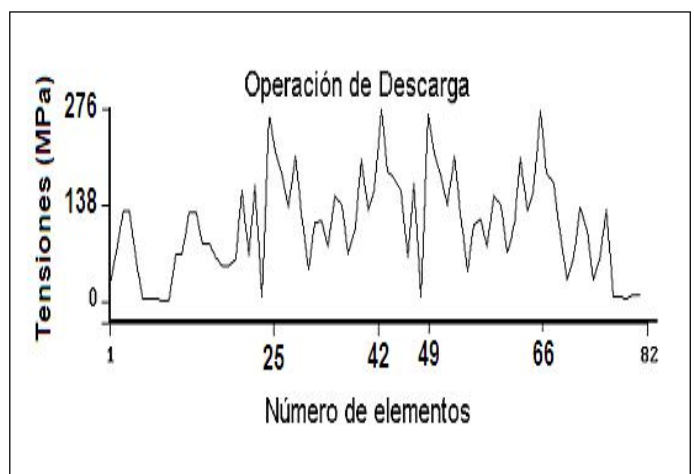


Fig. 9. Tensiones en los elementos en operación de descarga.

Tabla 3
Tensiones máximas en los elementos más peligrosos en la operación de cribado

Elemento	Tensión (MPa) Huber & Mises	$\frac{\text{tensión}}{\text{tensión admisible}} \cdot 100\%$
14	394	164
13	394	164
3	372	155
4	372	155
42	273	114

Tabla 4
Tensiones máximas en los elementos más peligrosos en la operación de descarga

Elemento	Tensión, MPa Huber & Mises	$\frac{\text{tensión}}{\text{tensión admisible}} \cdot 100\%$
42	276	198
66	263	188
25	256	183
49	256	183
26	206	147

CONCLUSIONES

- Se utilizó para el análisis de la resistencia y la deformación de una máquina limpia-playa un modelo integral de la estructura que toma en cuenta, no solamente el bastidor de la máquina sino todos los elementos estructurales, tales como la barra de tiro, la estructura de los soportes de los ejes del puente y la estructura de los mecanismos de elevación y volteo. Este modelo muestra ventajas considerables comparadas con los modelos tradicionales en la ingeniería de automóviles que solamente utilizan el bastidor de la máquina.

- Utilizando el mencionado modelo racional de la estructura de la máquina limpia-playa, se puede realizar un análisis de

las tensiones y desplazamientos que ocurren cuando actúan cargas de trabajo en los dos estados más críticos: cubeta a máxima capacidad de carga y cubeta a máxima altura.

- La obtención de los valores de tensiones que superan los valores admisibles permiten determinar cuáles son los elementos más factibles a sufrir roturas para los que se propone el reforzamiento de las secciones transversales.

REFERENCIAS

1. **ÁLVAREZ VASALLO, J. A. y GARCÍA DE LA FIGAL, J.** "Proyecto de metodología para el cálculo de estructuras de vehículos", 1997.
2. *Advance of Automotive Engineering, Integral Structures, Christmas Term*, 2006
3. **BENITEZ, F.** "Construcción y cálculo del automóvil", t. II, *Ministerio de la Educación Superior*, La Habana, 1990.
4. **COURBÓN, J. y AGUILAR E** "Tratado de resistencia de los materiales", t. 1. 2da ed., 2005, España.
5. **ERZ, K.** "Torsion in Road Vehicles Caused by Road Surface Irregularities", A.T.Z., nº. 4, April, 2006.
6. **FEODOSIEV, V. I.** "Resistencia de materiales", Editorial Mir, 3ra. ed., 1985.
7. **MIROLIUBOV, T.** "Problemas de Resistencia de los Materiales", Editorial Mir, 6ta. ed., 1990, Moscú.
8. **SCHIMPKE, P. and HORN, H. L.** "Tratado general de soldadura", t. III, 3ra. ed., Editorial Gustavo Gili, S. S. 2007, España.
9. **SCHIMPKE, P. and HORN, H. L.** "Proyecto y cálculo de las construcciones soldadas", 3ra. ed., Editorial Gustavo Gili S. S. 2007, España.
10. **SHUVIN, V.S. y PEDRÉ, C.** "Diseño de Maquinaria Industrial", t. 3, 4ta. reimpresión, Editorial Pueblo y Educación, Ciudad de La Habana, Cuba, 2006.

AUTORA

Maria Eugenia García Domínguez

Ingeniera Mecánica, Máster en Diseño Mecánico, Profesora Auxiliar, Departamento de Mecánica Aplicada, Facultad de Ingeniería Mecánica, Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría, Cujae, Ciudad de La Habana, Cuba

Integral Model of Sand-Cleaning Machine Structure

Abstract

A proposes of model of sand-cleaning machine structure for the analysis of loaded structure is presented in this paper. The analysis of the structure is developed in the principal components such as the pull bar, chassis and supports. Using this rational model of the structure of the sand-cleaning machine, it can be carried out an analysis of the tensions and displacements in the two more critical situations of operation: Sieved and discharge. By finite elements method was developed a physical-mathematical model for the sand-cleaning machine and were analyzed the tensions and displacements in the structure. According to the characteristics of the Cuban beaches and results derivate of this study, the machine analyzed and exposed in this paper fulfills all the technical, economic and ecological requirements for good operation.

impact.

Key words: sand-cleaning machine, structure, tension, displacement