

# Análisis estructural de un transportador de banda.

**P. Alvarez Barreras\*, M. E. García Domínguez\*\***

\*CETER. Centro de Estudios de Tecnologías Energéticas Renovables. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". La Habana. Cuba.

\*\* Departamento de Mecánica Aplicada. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico "José Antonio Echeverría". Ciudad Habana. Cuba.  
E-Mail: mecanica@cupjae.ispjae.edu.cu.

(Recibido el 18 de diciembre de 1999, aceptado el 16 de mayo del 2001.)

## Resumen.

El presente trabajo contiene el análisis de comprobación de la estructura de la cuna de una máquina transportadora de banda. En el mismo se determinan las cargas de servicio y las condiciones de apoyo, se efectúa el cálculo lineal por el método de los elementos finitos, y finalmente se valoran los resultados en forma de:

- Análisis de las tensiones.
- Análisis de los desplazamientos.
- Análisis de las deformaciones.

**Palabras claves:** Transportador de banda, estructura, análisis de tensiones, elementos finitos.

---

## 1. Introducción.

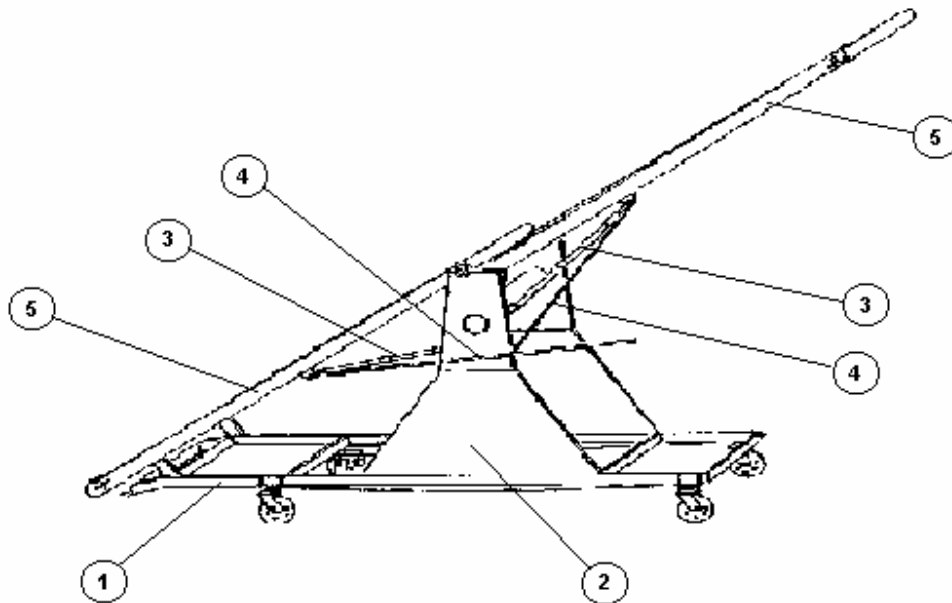
Los almacenes portuarios son entidades que cumplen la función de almacenar, como su nombre lo indica, las mercancías que llegan al puerto, por lo que precisamente es allí donde comienza la conocida cadena puerto-transporte-economía interna, esta cadena presupone un flujo lo más agilizado posible de dichas mercancías. Para cumplir esta demanda los almacenes portuarios requieren de máquinas que garanticen esta posibilidad y es allí donde entran a jugar su papel las máquinas de transporte continuo.

En el caso de los almacenes de alimentos, es común que los últimos vengán contenidos en cajas o en sacos y en estos casos para su trasiego son insustituibles las máquinas transportadoras de bandas, es por ello que surge la necesidad del diseño de una de estas máquinas que garantice una longitud de 12 metros y una altura máxima de elevación de la carga de 8 metros; a su vez esta máquina debe poseer movimiento reversible de la carga así como la posibilidad de regulación de la altura de carga y descarga dentro del rango de 0,3 a 8 metros.

## 2. Descripción de la máquina transportadora de bandas.

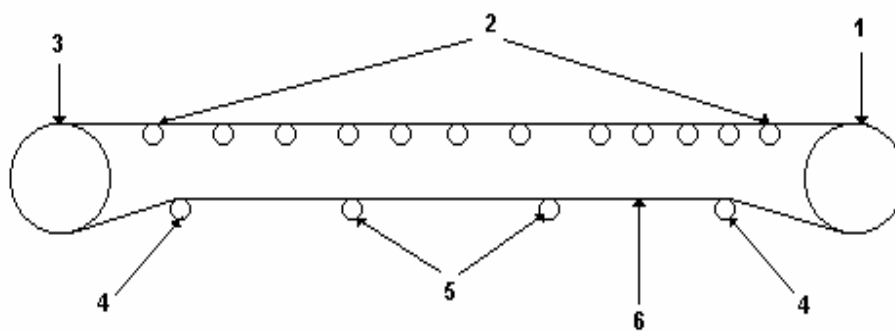
La máquina transportadora de banda objeto de este trabajo, es un medio de transporte continuo que se ha diseñado con el objetivo de transportar mercancías en forma de bultos, fundamentalmente sacos de alimentos, permitiendo una carga instantánea sobre ambas cunas de 5886 N (600 Kgf) en un rango de alturas de 0,3 a 8,0 metros y una longitud máxima de trabajo de 12 metros. (ver figura 1).

La cuna transportadora es la unidad funcional de la máquina; la máquina posee dos, las cuales cuando se ubican en posición tal que sus ejes longitudinales conforman una línea recta común, garantizan los 12 metros de longitud de trabajo de la máquina. La función de tensado la cumple el tambor de reenvío en la cuna inferior y el tambor de accionamiento en la cuna superior. El sentido del movimiento de la banda es reversible, lo cual es posible debido al empleo de motores hidráulicos durante el accionamiento del tambor motriz. En la figura 2 se puede observar la disposición de los rodillos y tambores en la cuna.



**Figura 1** Vista general de la máquina.

1.-Bastidor; 2- Columna Central; 3- Mecanismo de elevación y descenso de la cuna;  
4- Mecanismo de sujeción de la cuna; 5- Cuna transportadora.



**Figura 2** Disposición de los tambores y rodillos en la cuna superior.

Tambor de accionamiento y tensado; 2- Rodillos de apoyo en la rama de trabajo; 3- Tambor de reenvío;  
4- Rodillos de apoyo y desviación; 5- Rodillos de apoyo de la rama libre; 6- Banda transportadora.

### 3. Análisis del sistema de fuerzas.

La máquina posee dos cunas muy similares por lo que los cálculos de comprobación (resistencia, rigidez) se pueden hacer para cualquiera de ellas; no obstante, se selecciona la estructura de la cuna superior para dicha comprobación pues la altura de trabajo máxima de la misma es mayor que en la cuna inferior, además el tambor de accionamiento; con un mayor peso por tener acoplados los motores hidráulicos; en esta cuna se sitúa en el extremo de afuera por lo que el momento flector que produce es algo mayor que el que produce el tambor de reenvío en la otra cuna. Se selecciona además como crítica la posición horizontal de la cuna.

Durante el análisis se determinó que las cargas actúan sobre la estructura a través de los tambores y rodillos por lo que las mismas se distribuyen en dos puntos por cada tambor y rodillo.

Las cargas que actúan sobre la estructura son las siguientes:

#### Fuerzas permanentes:

Peso de los tambores y rodillos.

Peso de la banda de goma.

Tensión en la banda de goma.

#### Fuerzas móviles:

Peso de la carga.

Luego de este análisis previo, donde se determinaron las cargas que actúan sobre la cuna se pasó al análisis por elementos finitos para el cual se utilizó como herramienta el sistema computacional Cosmos/M.

### 4. El método de los elementos finitos y el sistema computacional Cosmos/M.

El método de los elementos finitos se basa en la suposición de que un cuerpo puede representarse en forma de un conjunto de elementos unidos mutuamente sólo en los nudos. La sustitución de un cuerpo complejo por cierta red de elementos finitos puede compararse con la sustitución de un cuerpo denso por cierta construcción de rejilla, en la cual la distribución de tensiones debe ser similar. Es natural que el cálculo del análogo de rejilla es más simple y se reduce a la solución del sistema de ecuaciones lineales que expresan el equilibrio de los nudos de la rejilla.

A pesar de simplificarse el problema, la realidad física es muy compleja y si se quiere describir el proceso lo más cercano a ella posible, su matematización se hace compleja y voluminosa. Este problema se soluciona en alguna medida con el empleo de los ordenadores, con

este fin existen sistemas computacionales que permiten realizar los cálculos, y entre ellos el sistema Cosmos/M.

### 5. Análisis por elementos finitos.

Para el cálculo de las tensiones y los desplazamientos que se producen en la estructura de la cuna superior se tuvieron en cuenta las reglas establecidas por el método de los elementos finitos. En un estudio por este método se pueden distinguir tres fases:

#### 1ro.-Pre-procesado:

En esta fase se realiza la definición geométrica y las condiciones de contorno del modelo, así como el tipo de análisis deseado. La definición del modelo implica:

- Definición geométrica del modelo.
- Selección del tipo de elemento a utilizar.
- Creación del modelo de elementos finitos (mallado).
- Definición de las características de los materiales empleados así como las características geométricas no definidas en el modelo gráfico.
- Introducción de las cargas y las condiciones de contorno (apoyos, etc).

#### 2do.-Análisis:

En esta fase se realiza el análisis del modelo, en función del tipo de cálculo deseado (cálculo estático lineal, no lineal, de frecuencias propias, etc).

#### 3ro.-Post-procesado:

En esta fase se realiza la visualización de los resultados de análisis (representación gráfica de los resultados tales como desplazamientos, tensiones, etc).

Una vez realizado el cálculo es necesario analizar los resultados, y si es posible cotejarlos con algún tipo de análisis experimental que permita verificar los mismos.

Si el resultado del análisis es satisfactorio, el proceso de cálculo puede darse por terminado, en caso contrario será necesario redefinir el modelo de partida.

### 5.1 Pre-procesado.

#### 5.1.1 Definición geométrica del modelo.

El modelo de cálculo necesario para describir una estructura está basado en nodos, elementos, fuerzas aplicadas en los nodos, desplazamientos nodales prescritos, etc. La definición de estos elementos resulta muy trabajoso si es necesario introducirlos por el teclado, de ahí que basándose en técnicas gráficas, es posible definir fácilmente la geometría del modelo. El

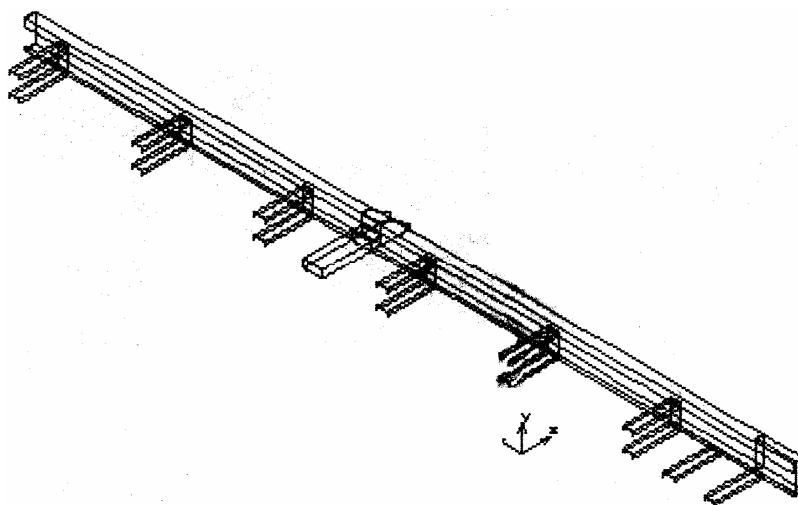
modelo geométrico así obtenido no sirve para el cálculo, pero si para los siguientes propósitos:

- Facilita la generación del mallado: La definición del mallado (nodos y elementos) se realiza automáticamente a partir de dicha geometría.
- Simplifica la aplicación de cargas y condiciones de contorno: En vez de ser necesario definir cargas y desplazamientos nodo a nodo, estos pueden asignarse automáticamente a todos los nodos pertenecientes a una entidad geométrica.
- Facilita el post-procesado: El hecho de que los nodos y elementos estén asociados a entidades geométricas ayuda a visualizar los resultados.

- Permite seleccionar elementos asociados a entidades geométricas.

En el caso objeto de este trabajo, el modelo geométrico (figura 3) se elaboró utilizando las siguientes entidades geométricas:

□ Puntos.....	152
□ Curvas.....	253
□ Contornos.....	95
□ Regiones.....	95



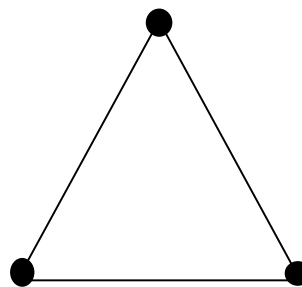
**Figura 3.** Modelo geométrico del bastidor de la cuna.

Como se puede observar en la figura 3 el modelo geométrico empleado constituye la mitad del bastidor de la cuna lo cual es perfectamente posible e incluso recomendable desde el punto de vista del principio de la abstracción científica debido a los siguientes factores:

- La estructura presenta simetría bilateral, lo cual permite el cálculo sin introducir errores.
- Los cálculos se reducen a la mitad lo que ahorra tiempo de cómputo.

#### 5.1.2 Selección del tipo de elemento a utilizar.

Se seleccionó el elemento SHELL3: Este es un elemento de placa delgada de tres nodos como se observa en la figura 4.



**Figura 4.** Elemento SHELL3.

Este elemento permite cálculos de pandeo, rigidez geométrica, capacidad de membrana y flexión.

### 5.1.3 Creación del modelo de elementos finitos (mallado).

El mallado se llevó a cabo con un tamaño del elemento de 35mm, quedando el modelo de elementos finitos con 5882 elementos.

### 5.1.4 Definición de las características del material empleado y de las características geométricas no definidas en el modelo.

El material empleado en la construcción del bastidor es el acero CT-3 cuyas características son las siguientes:  
 Módulo de elasticidad  $2 \times 10^5 \text{ N/mm}^2$ .  
 Densidad  $7.85 \times 10^{-9} \text{ Nseg}^2/\text{mm}^4$ .  
 Coef. de deformación transversal (Poisson)- 0.3

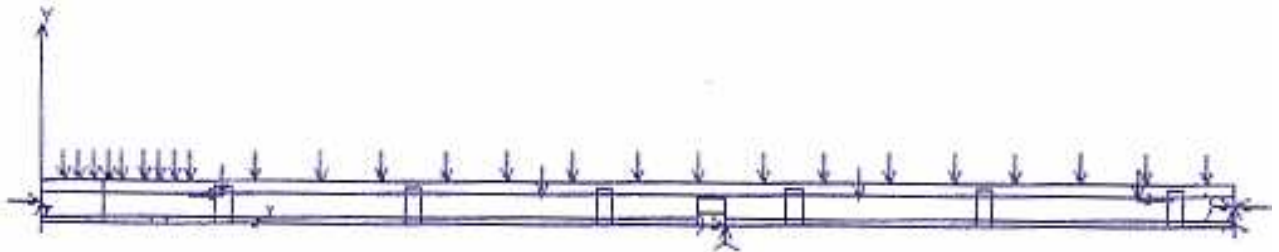


Figura 5. Modelo con fuerzas aplicadas y restricciones de desplazamientos.

#### Desplazamientos restringidos:

Se limitó el desplazamiento en los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , en los nodos asociados a las curvas del modelo geométrico que representan una aproximación a los dos apoyos del bastidor real.

Se limitó el desplazamiento en el eje  $z$  en los nodos asociados a las curvas del modelo geométrico que representan la línea imaginaria que divide simétricamente al bastidor, lo cual hace posible el empleo de la mitad del modelo como se explicó anteriormente.

#### Fuerzas aplicadas:

Para la ubicación de las fuerzas en el modelo de elementos finitos; primeramente se determinaron las coordenadas de los puntos (en el sistema de coordenadas globales utilizado en la elaboración del modelo geométrico), y luego se seleccionaron los nodos cuyas coordenadas eran más cercanas a dichos puntos. Finalmente en estos nodos se aplicaron las fuerzas.

## 5.2 Análisis.

En esta etapa se realizó el cálculo estático lineal del modelo mediante el comando R\_STATIC.

Como característica geométrica no definida en el modelo geométrico está el espesor de los perfiles, el cual por supuesto será el espesor del elemento.

Espesor del elemento: 3 mm.

### 5.1.5 Introducción de las cargas y condiciones de contorno.

En la figura 5 se puede observar el modelo con las fuerzas aplicadas en los nodos y los desplazamientos restringidos en los mismos.

Para el cálculo del modelo el ordenador resolvió 21018 ecuaciones.

## 5.3 Post-Procesado.

#### Análisis de las tensiones:

El cálculo estructural del bastidor se llevó a cabo por el método de las tensiones admisibles de acuerdo al criterio de resistencia mecánica; por tratarse de un material plástico (Acero CT-3) se tuvo en cuenta como límite de resistencia el límite de fluencia afectado por un coeficiente de seguridad.

Condición de resistencia.

$$\sigma \leq [\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{n} \quad (1)$$

Donde:

$\sigma$ : Tensión más alta producida por la carga de servicio. [MPa]

$[\sigma]$ : Tensión admisible. [MPa]

$\sigma_{lim}$ : Tensión límite de resistencia del material (Límite de fluencia). [MPa]

$$\sigma_{lim} = 240 \text{ MPa.}$$

n: Coeficiente de seguridad.

n = 1,5. (Este valor se recomienda en la tabla 2.7 de [7] para el acero CT-3, estando sometido este a cargas estáticas).

En este caso como carga móvil se encuentra el peso de los bultos; no obstante el efecto dinámico de los mismos no es de gran magnitud debido a que la banda de goma absorbe en gran medida dicho efecto, por lo tanto:

$$[\sigma] = \frac{\sigma_{lim}}{n} \quad (3)$$

$$[\sigma] = \frac{240}{1,5} \quad (4)$$

$$[\sigma] = 160 \text{ MPa}$$

Como puede observarse en la figura 6, la tensión máxima en la estructura corresponde al nodo 3363 con un valor de 176 MPa, el resto de las tensiones en los nodos de más altas concentraciones de estas no sobrepasa los 110 MPa. Estos nodos donde se concentran las tensiones se ubican en su mayoría a las uniones entre las vigas.

Aunque este valor de 176 MPa en el nodo 3363 está un 10 % por encima del asumido como admisible, o sea, 160 MPa, no es de significación por las siguientes razones:

El nodo en cuestión no pertenece a una zona de responsabilidad en la estructura desde el punto de vista funcional ni estructural.

El valor de 176 MPa se encuentra dentro del límite de elasticidad del acero CT-3 al cual corresponde un valor de 210 MPa por lo tanto no habrá deformación residual en esta zona.

Como se puede observar en la figura 7 la deformación en esta zona es pequeña a pesar de estar afectado dicho gráfico por un factor de escala de 5.

Por lo explicado hasta aquí se puede plantear que la estructura resiste las cargas solicitadas.

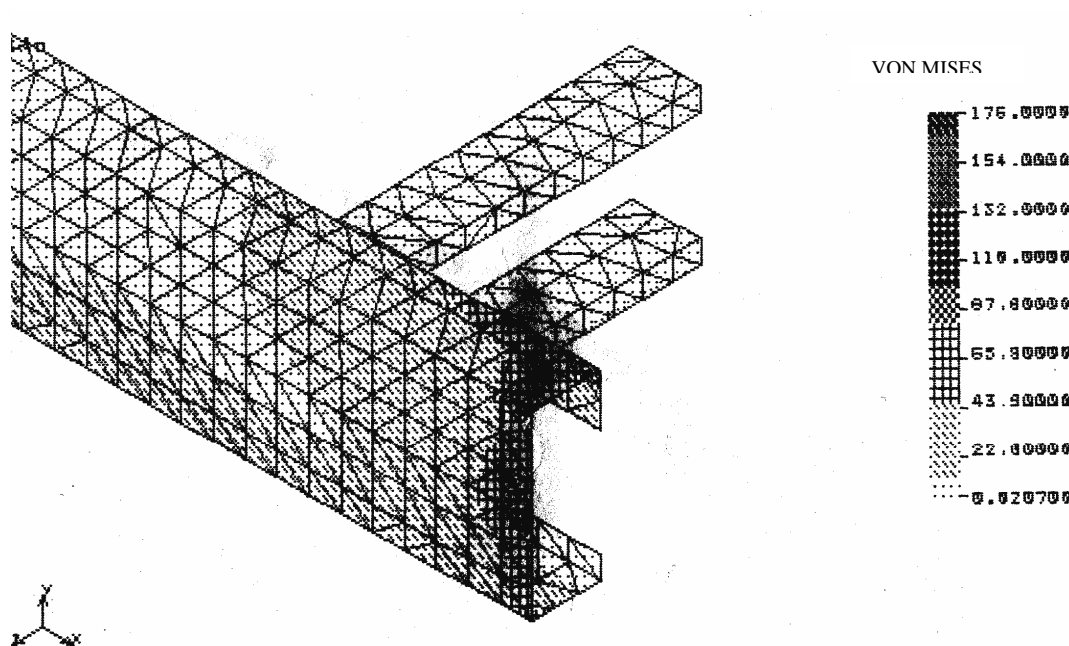
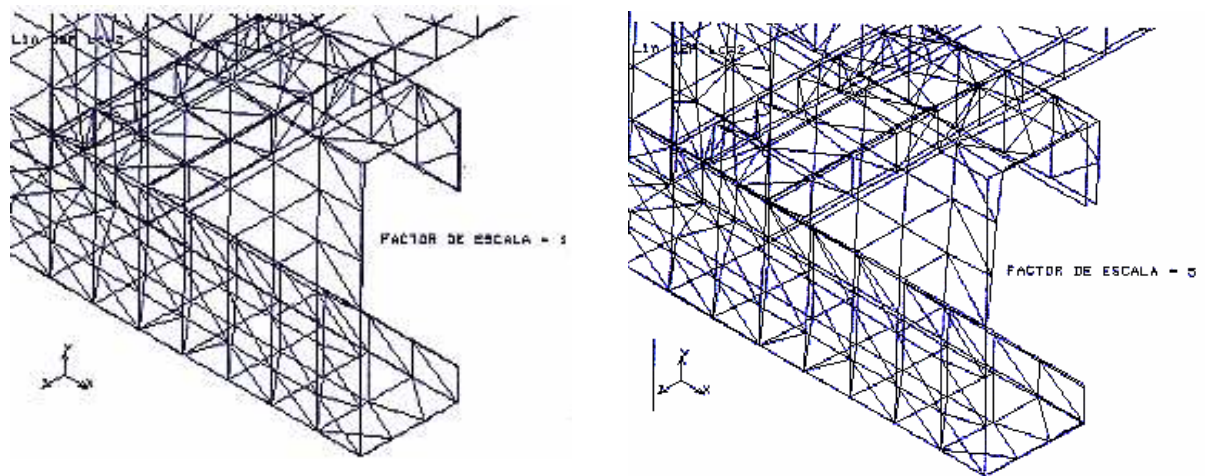


Figura 6. Distribución de tensiones.



**Figura 7.** Distribución de deformaciones.

#### Análisis de los desplazamientos.

Haciendo un análisis de rigidez de la estructura ante las cargas solicitadas (figura 8), se puede observar que el desplazamiento máximo en el extremo libre (en voladizo) de la estructura es de solo 13.719 mm lo cual no afecta en lo absoluto el trabajo del transportador. Este desplazamiento corresponde al nodo 3178.

#### Análisis de las deformaciones.

En la figura 7 se puede observar la tendencia de las deformaciones de la estructura. Estas deformaciones están ampliadas por un factor de escala de 25 ya que en realidad son pequeñas.



**Figura 8.** Distribución de deformaciones del bastidor de la cuna.

## 6. Conclusiones.

Con la realización de este trabajo se obtienen beneficios en el orden tecnológico y económico en caso de decidirse el comienzo de producciones seriadas de la máquina; estos beneficios pueden ser:

- Un mejor aprovechamiento de los recursos materiales utilizados durante el proceso de fabricación de la máquina, debido a la racionalización de las dimensiones transversales de la estructura.
- Aumentar la productividad al disminuir el tiempo de fabricación de los equipos.
- Garantizar la explotación de la máquina en condiciones de seguridad, eliminando las roturas innecesarias.
- Disponer de una fuente de información precisa para la toma de decisiones en el caso del perfeccionamiento de la máquina.
- Definir los puntos(conjuntos y subconjuntos) donde con más certeza puedan producirse los fallos.

## 1. Bibliografía.

- 1- Alvarez Barreras, Pedro: "Análisis estructural de un transportador de banda". Trabajo de diploma, ISPJAE, 1999.
- 2- Alvarez Vasallo, José A; García de la Figal, Javier: "Proyecto de metodología para el cálculo de estructuras de vehículos". CICMA. 1997.
- 3- Alvarez Vasallo, José A: "Los elementos finitos aplicados a la técnica; apuntes para el curso de postgrado". ISPJAE.
- 4- Kiseliy V., A: "Mecánica de construcción". Tomo I. Editorial MIR, Moscú. 1972.
- 5- Oriol Guerra, José M.; Aguilar Parés, Francisco: "Máquinas de transporte continuo". Tomo I. Editorial Pueblo y Educación. 1998.
- 6- Partón V, Z.: "Mecánica de la destrucción, de la teoría a la práctica". Editorial MIR, Moscú. 1990.
- 7- Shubin, V, S.; Pedré, C.: "Diseño de maquinaria industrial." Tomo III. Editorial Pueblo y Educación. 1975.
- 8- Stiopin P, A. "Resistencia de materiales". Editorial MIR, Moscú. 1976.
- 9- Targ S., M.: "Curso breve de Mecánica Teórica". Editorial MIR, Moscú. 1986.
- 10- Vademecum Esbelt : "Manual para el cálculo, instalación y conservación de las bandas transportadoras Esbelt". Editaesbelt, SA. Badalona.1991.

## Structural analysis of a band conveyor.

### Abstract

The present work contains the structure analysis of a belt conveyor cradle. The operation loads and conditions of support are determined, the lineal calculation is made by the Finite Element Method, and finally the results are valued in form of:

- Analysis of tensions.
- Analysis of displacements.
- Analysis of deformations.

**Key words:** Belt conveyor cradle, structure, tension analysis, finite element.