

## Tema A2a Materiales: *Dinámica de robot vibratorio.*

### “Análisis de vibraciones de un robot vibratorio”

*Tadeusz Majewski<sup>a</sup>, Dariusz Szwedowics<sup>b</sup>, Quirino Estrada<sup>c</sup>, José Luis Hernández Rodríguez<sup>a</sup>*

<sup>a</sup>Universidad de las Américas Puebla, Sta. Catarina Mártir, Cholula, Puebla, C.P. 72810, México.

<sup>b</sup>National Center for Research and Technological Development, Cuernavaca, México.

<sup>c</sup>Universidad Autónoma de Ciudad Juárez, México.

\*Tadeusz Majewski – tadeusz.majewski@udlap.mx

---

#### RESUMEN

*El artículo presenta un robot de locomoción vibratoria, un prototipo, y los resultados experimentales. El robot está equipado con dos motores de masa giratoria excéntrica y cerdas elásticas, las cuales están en contacto con la superficie. Los desbalances de los motores generan las vibraciones y las fuerzas de fricción que puede empujar el robot hacia adelante. La simulación de modelo teórico permitió definir algunos parámetros importantes para el funcionamiento del robot. Se construyó un prototipo y se realizaron experimentos, estableciendo su velocidad de locomoción y midiendo las vibraciones. Dependiendo de la velocidad de cada motor, podemos obtener movimiento rectilíneo o curvilíneo.*

---

*Palabras Clave: Vibraciones, locomoción, fuerzas vibratorias, mini robot.*

#### ABSTRACT

*The paper presents a locomotion of a vibratory robot, the prototype and the results of the experiments. The robot has two eccentric rotating mass motors and elastic bristles that are in contact with the surface. The rotating masses generate the vibrations of the robot and friction forces, which push the robot forward. The simulation of the mathematical model allows establishing some important parameters for the robot function. The prototype was built and some experiments were done on it which determining the direction and velocity of locomotion as well as measuring vibrations of the robot. Depending on the spin velocity of the motors, the robot can move straight or along a curvilinear path.*

---

*Keywords: Vibrations, locomotion, vibrating forces, mini robot.*

---

#### 1. Introducción

La locomoción de animales terrestres toma variedad de formas, como caminar, correr, excavar, trepar, saltar, gatear o deslizar. Los animales sin extremidades usan su mismo cuerpo como estructura de propulsión. Una locomoción curvilínea es optada por serpientes. Ellas tienen largas escamas en la parte inferior de su cuerpo, que les ayuda a empujar hacia atrás y hacia abajo.

Una observación de la locomoción de los animales nos provee una conclusión, que su movimiento periódico (deformación del cuerpo o movimiento de algunas extremidades) y la resistencia del medio en el que viven; crea una fuerza que los empuja hacia adelante.

Las diferentes formas de locomoción de los animales han inspirado la construcción de distintos robots que algunos de ellos han tenido un gran desarrollo. Los robots vibratorios son soluciones particularmente interesantes para pequeños robots. Uno de los más simples métodos para el manejo de mini robots es el uso de excitadores vibratorios con asimetría de la fuerza de fricción.

Actualmente, podemos ver robots autónomos de gran complejidad, incluso algunos de ellos tienen la posibilidad de volar como en el pájaro de FESTO (una estructura ligera de fibra de carbono), que se muestra en la Fig. 1; otro ejemplo es el robot marino “Wave Glider”, que es capaz de navegar en el océano ante condiciones desfavorables.



Figura 1 – Smartbird, pájaro desarrollado por FESTO

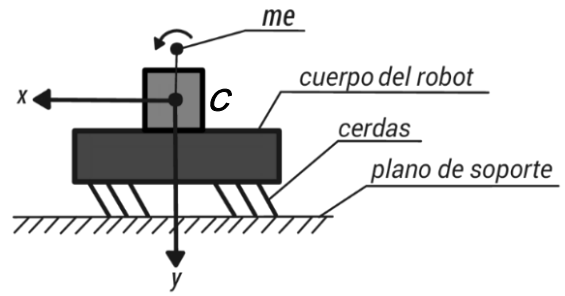


Figura 4 – Vista lateral del robot.

## 2. Descripción del robot

El robot está equipado con cerdas elásticas que se encuentran en dos columnas y dos filas, dos motores que tienen cierta distancia uno del otro como en la Fig. 2, y cada uno tiene desbalance estático. En la Fig. 3 se puede observar que las cerdas se encuentran en los planos paralelos a  $Cx_1y_1$  y están inclinadas con respecto a la dirección vertical con un ángulo  $\delta$ . La vibración del robot genera fuerzas de fricción en el contacto  $B_1, B_2, B_3,$  y  $B_4$ , de las cerdas con el plano de soporte. Los motores de DC giran con velocidades angulares  $\omega_1, \omega_2$  que pueden ser controladas. La posición del centro del robot (centro de masa)  $C$  se define en el marco de referencia fijo  $OXYZ$  como se muestra en la Fig. 2, Fig.4 y Fig. 5.

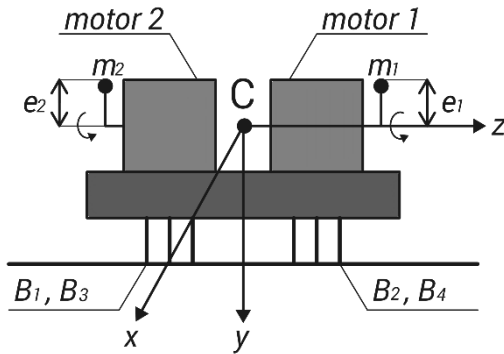


Figura 2 – Vista frontal del robot

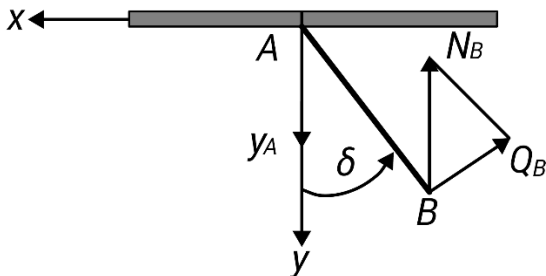


Figura 3 – Deformación de la cerda  $\Delta_B$  y la fuerza normal  $N_B$ .

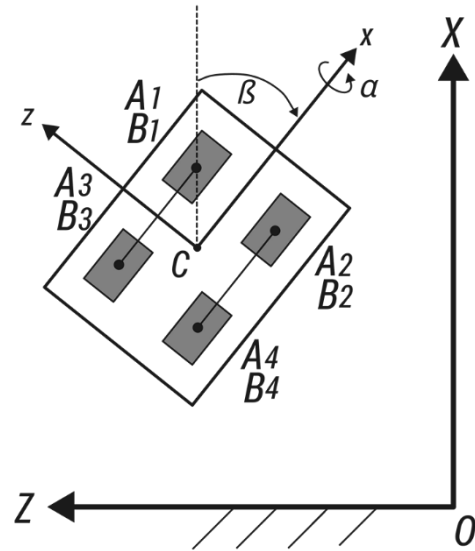


Figura 5 – Marcos de referencia y vista superior.

Los rotores desbalanceados generan las fuerzas

$$P_1 = m_1 e_1 \omega_1^2, \quad P_2 = m_2 e_2 \omega_2^2 \quad (1)$$

que generan las vibraciones del robot.

## 3. Descripción del movimiento del robot

A causa de las fuerzas centrífugas, las cerdas se deforman y el robot empieza a vibrar. La deformación de las cerdas en las columnas izquierda y derecha dependen del desplazamiento vertical del robot  $y(t)$  y su ángulo de rotación  $\alpha(t)$ .

$$y_{A1} = y - 0.5a \cdot \alpha, \quad y_{A2} = y + 0.5a \cdot \alpha \quad (2)$$

Donde  $a$  es la distancia entre las hileras de las cerdas. Sin fricción, una vibración vertical pequeña del robot  $y_A$  genera una reacción normal  $N$  y una deflexión de la cerda  $\Delta_B$ .

$$\Delta_B = \frac{y_A}{\sin \delta} = \frac{N_B \cdot \sin \delta}{k} \quad (3)$$







