

Mimosa púdica: Simulación electrónica del movimiento de sus hojas

Rodolfo Romero Herrera
 Instituto Politécnico Nacional
 ESCOM
 rromeroh@ipn.mx

Julio César Bautista Rosas
 Instituto Politécnico Nacional
 ESCOM
 jbautistar1500@egresado.ipn.mx

Resumen— En este trabajo se presenta una simulación Robótica del comportamiento de la planta mimosa púdica. Debido a que la planta es capaz de sensar temperatura, movimiento, y vibraciones. Se modela un mecanismo para convertir giro en pliegue de las hojas, empleando sensores de temperatura, tacto y un acelerómetro para detectar la inclinación. La importancia radica en contar con un robot para simular el comportamiento inteligente en plantas y de obtener a partir del sistema en hardware algoritmos de inteligencia artificial que interactúen con el medio ambiente y establezcan un vínculo con la mimosa púdica.

Keywords— Mimosa púdica, sensor, tensiones, electrónica.

I. INTRODUCTION

En la actualidad los sistemas basados en la naturaleza han tenido un alto auge como son: robots inspirados en insectos o animales, mecanismos autómatas, sistemas de visión basados en ojos de aves, entre muchos otros más [1][2]. Las plantas por su parte han aportado mucho a la medicina y otros campos [3], por ello se pretende llegar a entender su funcionamiento descubriendo nuevas formas de cómo trabajan internamente [4].

Las hojas de Mimosa púdica y muchas otras leguminosas son caracterizados por sus órganos motores que permiten que las hojas realicen el movimiento del sueño [5] [6]. Dichas acciones parecen estar regulados mediante señales eléctricas y propiedades químicas [7]. Los movimientos pasan por cuatro etapas: Estado abierto, Estado cerrado, Estado bloqueado, Estado semiabierto [8] [9]. Las investigaciones tratan de descubrir si estas plantas tienen un componente eléctrico [10]; basándose en la característica de corriente de tensión cíclica, donde la posibilidad de memoria debe manifestarse [11][12]; de esta manera se han propuestos modelos matemáticos y eléctrico químicos [13].

En este trabajo se explora el modelo movimiento de la planta mimosa púdica; la cual responde a su ambiente detectando presencia por tacto, temperatura y ruido; otra de las características. El diseño de la simulación de la planta se basa en sensores electrónicos de modo que se pueda obtener un comportamiento basado en hardware.

Las observaciones de plantas como Venus Fly Trap (Dionaea) o Sensitive Plant (Mimosa púdica) proporcionan una fuerte evidencia de que puede hacer los "músculos" de las plantas con tensiones y fuerzas. [14]

El desafío técnico para desarrollar es diseñar una variante de plantas que implemente sensores que emulen la Mimosa

púdica. La importancia principal radica en disponer de un robot para imitar el comportamiento inteligente en plantas y de conseguir a partir de sistemas en hardware algoritmos de inteligencia artificial que interactúen con el medio ambiente y establezcan un vínculo con la mimosa púdica a través de modelos matemáticos.

II. METODOLOGÍA

A. Objetivo

El desarrollo de este trabajo pretendió simular el comportamiento de la planta Mimosa púdica, también conocida como planta vergonzosa, que presenta la peculiaridad de cerrarse bajo ambientes de movimiento, tacto o temperatura Ver figura 1.



Fig. 1. Mimosa púdica hoja simple.

B. Diagrama a bloques

La Propuesta para el mecanismo se contempla en la figura 2. Se propone un diseño preliminar para el desarrollo. El diseño consideró un sensor de temperatura, uno de tacto y un acelerómetro. También se consideró una tarjeta Micro bit, un servo y la fuente de alimentación.

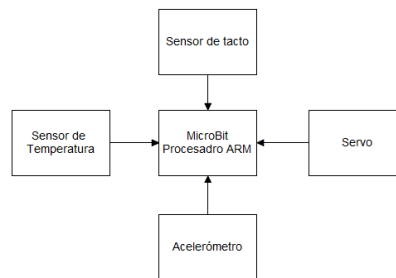


Fig. 2. Diagrama a cuadros, propuesta de desarrollo.

C. Descripción de la planta

La mimosa púdica es de América. Se puede encontrar en las zonas tropicales [15]. De alrededor de 50 cm de altura que no tolera heladas y sus raíces crecen mucho.

Se simula el comportamiento de cierre. El diseño de la planta recae en el mecanismo del nodo, el nodo es la base de un brote, una hoja, una ramita. Incluso sin brotes u hojas visibles, se puede decir dónde está el nodo de una ramita mediante algunos signos que son visibles. Ver la figura 3.



Fig. 3. Mimosa punto cerca, hoja abierta.

Una hoja se puede considerar como una estructura de láminas planas. La mayoría de las hojas se pueden modelar como membranas delgadas o láminas con refuerzos en forma de venas y nervadura central. Es necesario que la membrana delgada se pliegue con el viento para disminuir la resistencia y evitar el daño mecánico. Sin embargo, también es necesario que las hojas soporten su propio peso y otras cargas pequeñas. En la hoja por lo tanto es importante la flexibilidad y la rigidez. La interacción de estos elementos es lo que conduce a un mecanismo interesante. Las hojas de la Mimosa púdica tienen un patrón de plegado típico en el que las distintas hojuelas se pliegan con diferentes ángulos. La vista lateral muestra la forma en que se pliegan las hojas. Ver figura 4.



Fig. 4. Mimosa púdica vista lateral.

Para estudiar los pliegues de las hojas a lo largo de las venas, se usaron distintos parámetros. En la figura 5, L_o es la longitud de la hoja desplegada; H_o es el ancho de la hoja desplegada, L_f es el largo de la hoja doblada; H_f es el ancho de hoja plegada; α = ángulo de la vena; β = ángulo de plegado; X^* = distancia radial; A_o = área desplegada de la hoja; A_f = área plegada de la hoja.

El ángulo de la vena α , es el ángulo de despliegue entre la nervadura central y la vena; el ángulo de plegado β , es el ángulo entre la nervadura central y la vena cuando se pliega; En la figura 5 se observa la ubicación de las venas X, medida desde el límite entre el pecíolo y los folíolos. Se usó un parámetro no dimensional, X^* definido como $X^* = X/L_o$, para caracterizar la posición de las nervaduras. El ángulo de la vena de Mimosa púdica no es constante, pero disminuye gradualmente desde alrededor de 85° a 25° hacia la punta de la hoja. El ángulo promedio de la vena es de alrededor de 55° . Las venas transportan agua y nutrientes dentro de la hoja y brindan soporte mecánico, lo que define su geometría.

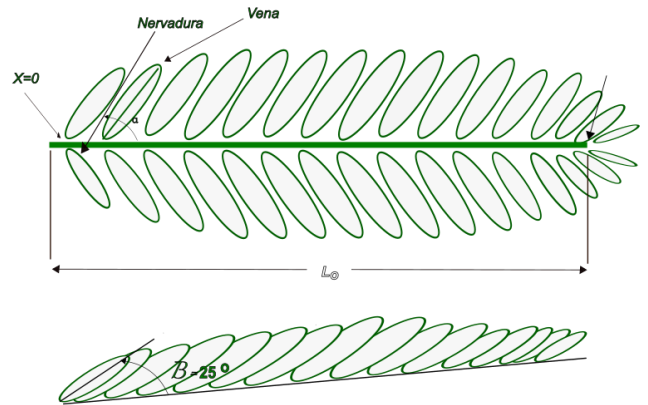


Fig. 5. Diagrama esquemático de las medidas de la hoja junto con el ángulo de la vena (a) y el ángulo de plegue (B).

D. Simulación de mecanismo de movimiento

Para simular el movimiento de las hojas se realizaron diversas mediciones basándose en programas para la segmentación de fotogramas, con la finalidad de obtener la Variación X^* versus el ángulo de la vena. Las unidades de la podemos considerar adimensionales ya que solo se quiere obtener la ecuación que gobierna la dependencia. La figura 6 muestra dicha relación.

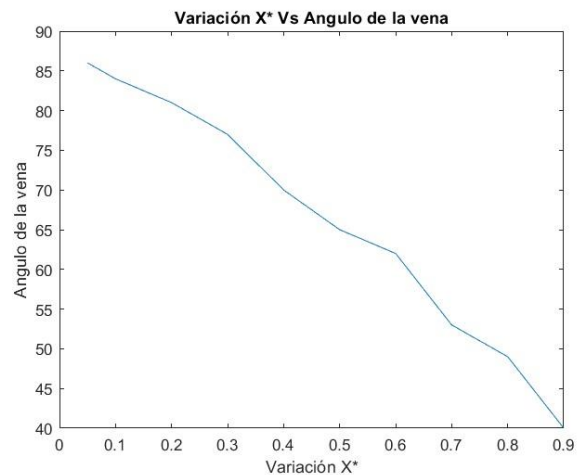


Fig. 6. Grafica X^* vs ángulo de la vena.

Se obtuvieron las ecuaciones que gobiernan el movimiento del sueño de la Mimosa púdica con la intención de implementarlo en el microprocesador y simular el pliegue de las hojas. la primera es cuadrática (1) y la segunda es la representación cubica la (2):

$$\text{Angulo de la vena} = 22.26X^{*2} - 32.34X^{*} + 87.76 \quad (1)$$

$$\text{Angulo de la vena} = -2.883X^{*3} - 18.17X^{*2} + 87.88 \quad (2)$$

Para simular el despliegue de una hoja simple regular, se diseñó un mecanismo (ver la Figura 9). El modelo 1 es útil para encontrar las áreas plegadas y desplegadas de la hoja. El área plegada se puede calcular doblando las láminas de simulación del modelo en un ángulo particular constante (15° a 25°). Este ángulo se denota como el ángulo β . El área se calcula proyectando la hoja doblada en lámina de aluminio y luego se corta (Puede usarse un instrumento para encontrar el área de una superficie de forma irregular). Se consideraron cinco patrones de ángulo de plegado variable de 15°, 17°, 20°, 22° y 25° para estudiar las proporciones de área. Para simplificar el diseño se optó por solo colocar 4 nervaduras. Ver figura 7.

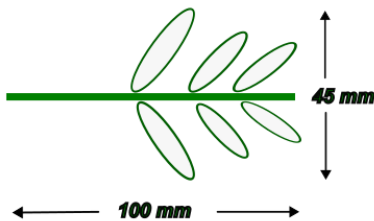


Fig. 7. El modelo de hoja con dimensiones escaladas como la hoja original.

Se hicieron varias suposiciones en el modelo de simulación:

1. El plegado y el desplegado son simétricos con respecto a la nervadura central.
2. El plegado es regular y el ángulo de plegado es el mismo para todas las hojuelas.
3. Los pliegues no pueden almacenar energía de tensión elástica.
4. Los folíolos son cuerpos rígidos planos, no hay deformación durante el despliegue.
5. Todas las dimensiones de la hoja son constantes al plegarse y desplegarse.
6. El número de pares de folíolos en cada hoja se mantiene constante.

El plegado del modelo es muy similar al de una hoja de la Mimosa. Pero debido a las limitaciones de los pliegues angulares dados al modelo de aluminio, hubo una diferencia en el plegado. En la hoja real, la hoja se retuerce continuamente en cierto ángulo (15° a 25°). A medida que el ángulo de plegado β disminuía de 25° a 15°, y se reduce el área plegada.

Para comprobar el efecto de las diferencias en el ángulo de plegado sobre la forma de plegado, se analizaron dos muestras del modelo de papel. La longitud de la nervadura central de ambos modelos fue de 100 mm.

En la figura 8 está el mecanismo principal en su versión simulada, la cual contiene el mecanismo que provoca el movimiento.



Fig. 8. Prueba de mecanismo, movimiento de hoja.

En la figura 9 se muestra el mecanismo robótico y el natural de la planta. En este caso el nodo es la clave para realizar el movimiento. Para realizar el pliegue de la planta se usa un tornillo, el cual gira para convertir el movimiento rotacional a lineal, que al estar sujeto a las hojas del mecanismo provoca el pliegue.



Fig. 9. Comparativa de diseño.

Las conexiones de interés se presentan en el esquema de figura 10. Para el control de del movimiento se usó una tarjeta embebida Micro bit, que contiene en una tarjeta de 4 x 5 cm un acelerómetro, un magnetómetro, una brújula, etc. Por lo que se puede considerar como un IMU (Unidad de medición inercial). También cuenta con un procesador ARM que nos permite la programación del servomotor, dependiendo de lo sensado. Para el programa implementado en la Microbit puede considerarse ya se la ecuación (1) o la (2).

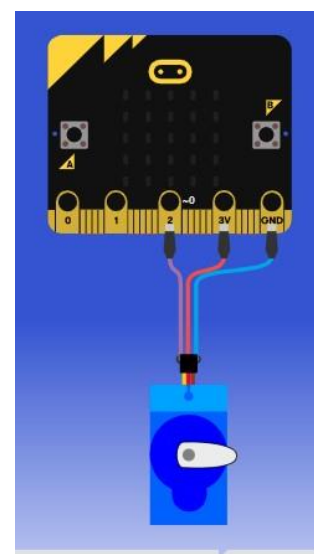


Fig. 10. Esquema de conexión servomotor Microbit

En la figura 11 se muestra los sensores de temperatura y de tacto, con los que se consigue explorar el funcionamiento de la planta mimosa púdica y como responde a su entorno.

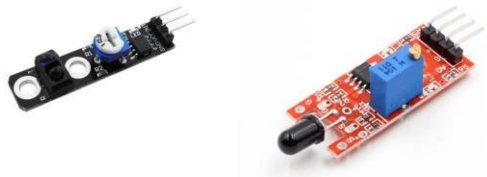


Fig. 11. Sensores de detección de flama y detector de tacto.

III. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En el siguiente apartado se aprecia los resultados obtenidos del desarrollo de la simulación de la planta.

En la figura 12 se muestra el pliegue las hojas de la planta. La principal diferencia con respecto al modelo real radica en el plegado, a pesar de que es muy similar la diferencia es notoria, presenta limitaciones de los pliegues angulares del modelo de aluminio. Como se menciona en el apartado anterior la hoja real se retuerce continuamente en cierto ángulo (15° a 25°). A medida que el ángulo de plegado β disminuía de 25° a 15° , y se reduce el área plegada. En el modelo de aluminio permite modelar el comportamiento angular y variar su velocidad, para asemejarse a su contraparte real.



Fig. 12. Mimosa púdica hoja cerrada

A medida de pruebas realizadas el cierre de las hojas resultaba brusco, por lo que para evitarlo se implementó en la tarjeta Microbit la ecuación (1) aunque también es factible usar la (2). En la figura 13 está el control mediante un servo motor para lograr un movimiento sutil y mantener abierta la hoja. Por lo que, cumple la funcionalidad para la que fue diseñada. En la figura 14 se muestra el sistema completo, la razón por la que se fabricaron en aluminio fue para conservar conductividad en ellas, y permitir simular la respuesta en tacto de la planta real.



Fig. 13. Mimosa púdica hoja abierta.



Fig. 14. implementación de conexión de sensores a Microbit.

Respecto a las suposiciones

IV. CONCLUSIONES

Resulta de interés el conseguir nuevos mecanismos que permitan comprender el medio ambiente, intentado crear soluciones nuevas que implementen simulaciones del comportamiento la naturaleza. En nuestro caso desarrollando modelos que integren el funcionamiento natural de la planta mimosa púdica. Sistemas basados en hardware que permitan implementar comportamientos de algoritmos de la naturaleza aplicados a inteligencia artificial que interactúen con el medio ambiente y establezcan un vínculo con la mimosa púdica.

El estudio de la geometría y patrón de plegado de las hojas de Mimosa púdica, denominada Planta Sensible, revela algunas de las características peculiares durante el plegado y desplegado.

Se consiguió obtener ecuaciones para simular el comportamiento del movimiento del sueño de la planta y con ello un prototipo con futuras aplicaciones.

Ya que se consiguió un sistema funcional, se plantea como trabajo a futuro el diseño de una red de robots par que simulen un comportamiento neuronal.

RECONOCIMIENTO

Los autores agradecen el apoyo recibido para desarrollo de este proyecto al IPN (Instituto Politécnico Nacional).

REFERENCES

- [1] Duran, Ricardo Rincón; VEGA, Jorge Armando Niño; MORALES, Flavio Humberto Fernández. Robot hexápodo para la enseñanza de mecanismos para la transformación de movimientos. *Revista Interamericana de Investigación Educación y Pedagogía RIIEP*, 2021, vol. 14, no 1, p. 279-303.
- [2] Lopez Ramos, Carlos Alfredo *Diseño y construcción de un Animatronic*. 2017.
- [3] Santillán, María Pilar Ruíz; Coico, Freddy Rogger Mejía. Plantas utilizadas en medicina tradicional para afecciones respiratorias virales. *Rebiol*, 2020, vol. 40, no 1, p. 109-130.
- [4] Patil, H. S.; Vaijapurkar, Siddharth. Study of the geometry and folding pattern of leaves of Mimosa pudica *Journal of Bionic Engineering*, 2007, vol. 4, no 1, p. 19-23.
- [5] Wang, Yifeng; LI, Hua. Bio-chemo-electro-mechanical modelling of the rapid movement of Mimosa pudica. *Bioelectrochemistry*, 2020, vol. 134, p. 107533.
- [6] Stolarz, Maria; Trębacz, Kazimierz. Spontaneous rapid leaf movements and action potentials in Mimosa pudica L. *Physiologia Plantarum*, 2021, vol. 173, no 4, p. 1882-1888.
- [7] Pereira Gomes, Ayala Nara, et al. Chemical composition and free radical-scavenging activities of monofloral bee pollen from Mimosa pudica L. *Journal of Apicultural Research*, 2022, p. 1-8.
- [8] A. G. Volkov et al, "Complete hunting cycle of Dionaea muscipula: Consecutive steps and their electrical properties," *Journal of Plant Physiology*, vol. 168, (2), pp. 109-120, 2011.
- [9] Romero-Herrera, Rodolfo; MENDEZ-SEGUNDO, Laura. Video Processing for Animation at Key Points of Movement in the Mimosa Pudica. *International Journal of Advanced Computer Science and Applications*, 2020, vol. 11, no 9.
- [10] Aishan, Yusufu, et al. Bio-actuated microvalve in microfluidics using sensing and actuating function of Mimosa pudica. *Scientific Reports*, 2022, vol. 12, no 1, p. 1-11.
- [11] Biegler, Robert. Insufficient evidence for habituation in Mimosa pudica. Response to Gagliano et al.(2014). *Oecologia*, 2018, vol. 186, no 1, p. 33-35.
- [12] Serpell, Ella; Chaves-Campos, Johel. Memory and habituation to harmful and non-harmful stimuli in a field population of the sensitive plant, Mimosa pudica. *Journal of Tropical Ecology*, 2022, vol. 38, no 2, p. 89-98.
- [13] Kwan, K. W., et al. A Mathematical Model on Water Redistribution Mechanism of the Seismonastic Movement of Mimosa Pudica. *Biophysical journal*, 2013, vol. 105, no 1, p. 266-275.
- [14] Tran, Daniel, et al. Mechanosensitive ion channels contribute to mechanically evoked rapid leaflet movement in Mimosa pudica. *Plant physiology*, 2021, vol. 187, no 3, p. 1704-1712.
- [15] De León-Martínez, José A.; Yañez-Ocampo, Gustavo; Wong-Villarreal, Arnoldo. Burkholderia species associated with legumes of Chiapas, Mexico, exhibit stress tolerance and growth in aromatic compounds. *Revista Argentina de Microbiología*, 2017, vol. 49, no 4, p. 394-401.