

Diseño y construcción de un robot bioinspirado en serpientes para la locomoción serpentina

Design and Construction of a Bio-Inspired Snake Robot for Serpentine Locomotion

Viridiana Luna-Zempoalteca ^{a,*}, Rosalba Galván-Guerra ^b, Norma B. Lozada-Castillo ^a, Juan E. Velázquez-Velázquez ^b,
Fabrizio R. Cahuas-Talledo ^a

^aUnidad Profesional Interdisciplinaria en Ingeniería y Tecnologías Avanzadas, Instituto Politécnico Nacional, 07340, Ciudad de México, México.

^bUnidad Profesional Interdisciplinaria de Ingeniería Campus Hidalgo, Instituto Politécnico Nacional, 42162, San Agustín Tlaxiaca, Hidalgo, México.

Resumen

Este trabajo presenta el diseño y construcción de un robot rígido bioinspirado en serpientes con múltiples grados de libertad, capaz de emular la locomoción serpentina en superficies planas. El diseño del robot serpiente es modular y se enfoca en las fuerzas de fricción que existen al contacto entre el robot serpiente y la superficie plana externa. Considerando que el área de contacto del robot serpiente debe ser, de tal forma, que al realizar la locomoción en serpentina se imiten los aspectos cualitativos de las serpientes biológicas. Esto incluye una trayectoria sinusoidal visualmente perceptible a lo largo del cuerpo del robot serpiente, así como, un movimiento suave y continuo entre los eslabones.

Palabras Clave: Robots bioinspirados, Diseño robótico, Robot serpiente, Locomoción serpentina.

Abstract

This work presents the design and construction of a bio-inspired rigid snake robot with multiple degrees of freedom, capable of emulating snake locomotion on flat surfaces. The design of the snake robot is modular and focuses on the frictional forces that exist at the contact between the snake robot and the external flat surface. Whereas the contact area of the snake robot should be such that when performing serpentine locomotion, the qualitative aspects of biological snakes are mimicked. This includes a well-defined sinusoidal trajectory along the body of the snake robot, as well as, a smooth and continuous motion between the links.

Keywords: Bio-inspired robotics, Robotics design, Snake robot, Serpentine locomotion.

1. Introducción

La capacidad de las serpientes para desenvolverse en entornos complejos ha motivado el desarrollo de robots bioinspirados en serpientes para tareas críticas como la búsqueda y el rescate en desastres naturales, la inspección de edificios y la exploración extraterrestre. Diversos tipos de robots serpiente se han propuesto en la literatura como en (Yang X y L, 2022; Mukherjee *et al.*, 2021; Liljebäck *et al.*, 2013; Wright *et al.*, 2012) mostrando que este tipo de robots se caracterizan por un bajo consumo de energía y una buena destreza de locomoción en diferentes entornos; destacando su habilidad de navegación en entornos de difícil acceso.

Existen diferentes prototipos con características de diseño y construcción distintas. En (Lan *et al.*, 2022) se hace una pro-

puesta con conexión modular ortogonal, con la ventaja de ser reconfigurable. Sin embargo, el tipo de conexión que emplean entre módulos es electromagnética, por lo que, si llegase a fallar la fuente de alimentación en éste los módulos se separarían. El uso de ruedas en cada uno de los eslabones se propone en (Khunnithiwarawat y Maneewarn, 2011), esto permite al robot serpiente subir pendientes y atravesar por curvas angostas, pero agregar ruedas elimina el contacto directo del cuerpo del prototipo con la superficie, característica propia de las serpientes. Finalmente, (Wang *et al.*, 2016; Takemori *et al.*, 2023; Racioppo y Ben-Tzvi, 2019) presentan un diseño cilíndrico que permite una distribución uniforme del peso total para escalar árboles.

La locomoción en las serpientes biológicas es posible al generarse fuerzas de fricción al contacto con la superficie. El

*Autor para correspondencia: vlunaz2300@alumno.ipn.mx

Correo electrónico: vlunaz2300@alumno.ipn.mx (Viridiana Luna-Zempoalteca), rgalgang@ipn.mx (Rosalba Galván-Guerra), nlozadac@ipn.mx (Norma Beatriz Lozada-Castillo), jvelazquezv@ipn.mx (Juan Eduardo Velázquez-Velázquez), fcahuast2300@alumno.ipn.mx (Fabrizio Ricardo Cahuas-Talledo).

Historial del manuscrito: recibido el 19/07/2025, última versión-revisada recibida el 21/12/2025, aceptado el 16/12/2025, publicado el 25/03/2026. **DOI:** <https://doi.org/10.29057/icbi.v14iEspecial.15468>



cuerpo de la serpiente se expande para abarcar mayor área de contacto en superficies planas, generando mayor fuerza de fricción al contacto, lo que se traduce a mayor impulso de avance. Este fenómeno físico es conocido como "fuerza de fricción anisotrópica" (Hirose, 1993). Sin embargo, los prototipos que existen actualmente consideran las fuerzas de fricción dentro del modelo dinámico y en la selección de materiales, pero no se profundiza en el área de contacto con la superficie externa.

En este artículo se realiza el diseño y construcción de un robot serpiente plano rígido, considerando las fuerzas de fricción al contacto con superficies planas e imitando la locomoción en serpentina. A partir de un diseño modular construido con impresión 3D, filamento ecológico y con una carcasa reconfigurable.

2. Preliminares y planteamiento del problema

Un robot serpiente o robot bioinspirado en serpientes es un tipo de mecanismo robótico creado para desplazarse como una serpiente biológica. Esto surge a partir de una perspectiva mecánica del esqueleto axial de una serpiente, donde, se le considera como una serie de varillas rígidas articuladas entre sí para conformar una cadena. Así, el robot serpiente esta compuesto por un número finito de N eslabones en serie conectados mediante articulaciones de uno o n grados de libertad. Lo cual permite al robot serpiente generar movimientos de cuerpo completo en varios planos. Asegurando el desplazamiento del robot serpiente sobre la superficie.

2.1. Locomoción serpentina

Una serpiente biológica realiza 4 tipos diferentes de locomoción fundamentales (Mukherjee *et al.*, 2021; Liljebäck, 2011; Houssaye *et al.*, 2013; Hoffstetter R, 1969; Jayne, 1986):

- Ondulación lateral o serpentina
- Concertina
- Rectilínea
- Lateral/Acordeón

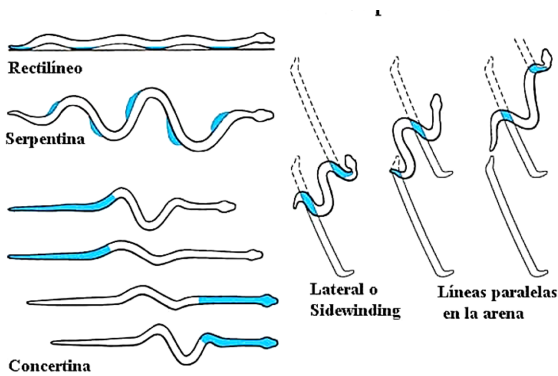


Figura 1: Tipos de locomoción producidos por las serpientes sobre superficies.

La locomoción rectilínea es un tipo de movimiento que emplean las serpientes para desplazarse sigilosamente al cazar presas, mientras que la locomoción concertina es mayormente usada para atravesar espacios reducidos, como puede ser el interior de un tubo, mientras que, la locomoción lateral o mejor conocida en inglés como *sidewinding* es empleada por las serpientes

cuando existe poco contacto con la superficie externa, como es el caso de la arena. Finalmente, la locomoción serpentina es la que realizan las serpientes biológicas para desplazarse con mayor velocidad en entornos abiertos. Este tipo de locomoción es el que se replicará para el robot serpiente a diseñar.

La locomoción en serpentina esta representada matemáticamente por una función sinusoidal, la cual, se expresa en (1) y modela el cambio de posición angular de la i -ésima articulación del robot serpiente en función del tiempo (Liljebäck *et al.*, 2013),

$$\phi_i = \alpha \sin(\omega t + (i - 1)\delta) + \phi_0, \quad (1)$$

donde $i \in 1, \dots, N - 1$, α y ω son la amplitud y la frecuencia angular del movimiento sinusoidal de la articulación, mientras que δ es el desplazamiento de fase entre las articulaciones y ϕ_0 es el cambio de dirección en la cabeza del robot serpiente y mantiene la integridad de locomoción ondulatoria a lo largo del cuerpo sin interrupciones abruptas.

En la Figura 2 se muestra la generación de la onda sinusoidal para ϕ_i con $i = 1, \dots, 5$ articulaciones. Los valores de $\alpha = 0,5$, $\omega = 3,1 \text{ rad}$ y $\delta = 0,8 \text{ rad}$ son fijos, mientras que, ϕ_0 (rad) se modificará cuando la cabeza del robot cambie de dirección.

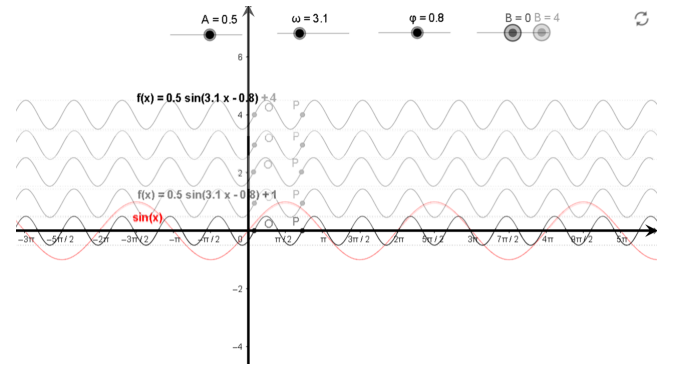


Figura 2: Ondulación lateral con $\phi_i = 1, \dots, 5$ articulaciones, donde $\alpha = A$, $\omega = \omega$, $\delta = \rho$ y $\phi_0 = B$.

2.2. Restricciones holonómicas

Para lograr la locomoción en serpentina de un robot serpiente rígido, es necesario considerar las restricciones holonómicas. Éstas expresan matemáticamente las coordenadas generalizadas (x_i, y_i, θ_i) y definen las limitaciones de movimiento mecánico entre los eslabones respecto al centro de masa:

$$\begin{aligned} x_{i+1} - x_i &= l \cos(\theta_i) + l \cos(\theta_{i+1}), \\ y_{i+1} - y_i &= l \sin(\theta_i) + l \sin(\theta_{i+1}). \end{aligned} \quad (2)$$

Para evitar la colisión entre eslabones y tomando en cuenta que $2l$ representa la longitud de un eslabón, como se muestra en la Figura 3, se considera la siguiente restricción,

$$2l \geq \sqrt{(x_{i+1} - x_i)^2 + (y_{i+1} - y_i)^2}. \quad (3)$$

Sustituyendo (2) en (3) se obtiene,

$$2l \geq \sqrt{(l \cos(\theta_i) + l \cos(\theta_{i+1}))^2 + (l \sin(\theta_i) + l \sin(\theta_{i+1}))^2}. \quad (4)$$

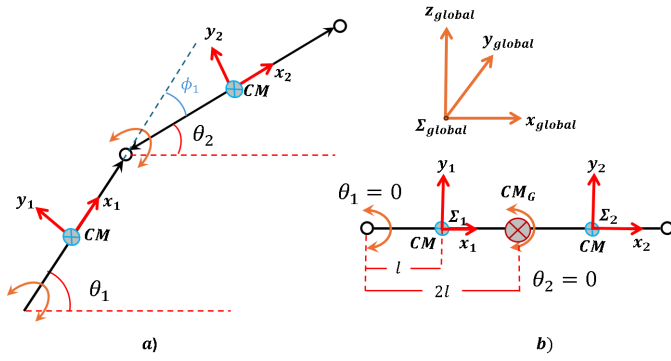


Figura 3: Conjunto de $N = 2$ eslabones y 1 articulación cuando a) $\theta_i \neq \theta_{i+1} \neq 0$ y b) $\theta_i = \theta_{i+1} = 0$.

2.3. Forma geométrica

En (Skonieczny y D'Eleuterio, 2008) se propone el modelo de fricción anisotrópica para imitar la locomoción serpentina en un robot serpiente, a partir, de una geometría elíptica en cada eslabón.

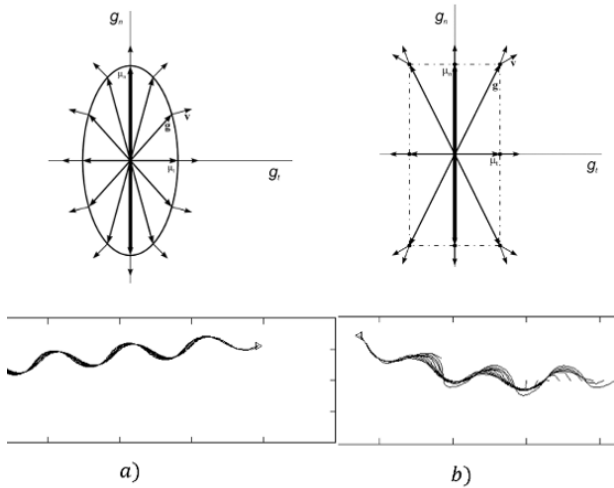


Figura 4: Movimiento del robot serpiente para el modelo de fricción con área a) elíptica b) rectangular, (Skonieczny y D'Eleuterio, 2008).

Las simulaciones de la Figura 4, comparan la locomoción serpentina entre una geometría de contacto elíptica y rectangular. Se observa una trayectoria sinusoidal con ondas suaves y continuas, cuando la geometría elíptica es aplicada (Figura 4a), ya que, esta distribuye las fuerzas de fricción en todo el área de contacto evitando cambios de dirección.

Inspirados en el trabajo de Skonieczny se considera una geometría de contacto elíptica para el diseño y construcción del robot serpiente. Debe satisfacer que el valor de la longitud ($2l$) debe ser mayor que el ancho (a).

2.4. Planteamiento del problema

Uno de los desafíos más importantes en el diseño y construcción de robots bioinspirados en serpientes es considerar las fuerzas de fricción al contacto con la superficie plana, ya que, son fundamentales para lograr el movimiento de avance. Por lo que, es necesario determinar el tipo de geometría que se requiere para que el robot serpiente imite la locomoción serpentina de

manera suave y en todos los eslabones del prototipo. Además, replicar la locomoción serpentina requiere de un equilibrio entre flexibilidad y estabilidad mecánica para asegurar una interacción efectiva con diversas superficies planas. Esta estructura debe incorporar múltiples grados de libertad, optimizando la distribución del peso para mantener un desempeño eficiente con servomotores de bajo par. Los materiales y componentes seleccionados deben de ser lo suficientemente ligeros, resistentes y fáciles de ensamblar sin comprometer la movilidad del prototipo. La carcasa modular debe proteger los elementos internos del mismo, además, se debe tener un reemplazo ágil de los componentes externos para prolongar la vida útil de la estructura interna.

3. Desarrollo

Tomando en cuenta los preliminares y el problema a solucionar, en la Tabla 1 se tienen las especificaciones técnicas generales para el prototipo de robot serpiente a diseñar y construir.

Tabla 1: Especificaciones técnicas.

Diseño	Construcción
Modular en cadena	Prototipado 3D
Contacto con superficies planas	Materiales ligeros y rígidos
Fácil ensamble	Piezas reemplazables
Geometría elíptica	Reconfigurable

3.1. Selección de materiales

Los materiales de construcción deben tener tres características principales: facilidad de prototipado, baja densidad y una alta relación resistencia-peso. Entre los materiales más usados en prototipos robóticos se tienen 4 principales; PLA (ácido poliláctico), PETG (tereftalato de polietileno glicolizado), ABS (acrilonitrilo butadieno estireno) y TPU (Poliuretano termoplástico). Al compararlos entre sí, como se muestra en la Tabla 2, el PLA es el material que satisface cada una de las características mencionadas anteriormente. Sin embargo, también se buscaba una opción ecológica y económica. El PLA-ECO mantiene las propiedades mecánicas respecto al PLA estándar y permite el reciclaje de piezas fallidas o que han perdido su uso.

Tabla 2: Comparación de materiales para impresión 3D

Material	Densidad (g/cm^3)	Rigidez (GPa)	R-P ($\frac{\text{MPa}\cdot\text{cm}^3}{\text{g}}$)
PLA ECO	1.22 - 1.25	2.6–3.4	50–65
PLA	1.24	2.7–3.5	50–65
PETG	1.27	2.0–2.7	55–70
ABS	1.04–1.06	2.0–2.4	45–60
TPU	1.20–1.25	0.01–0.1	5–15

Relación R-P = Relación resistencia-peso. Valores de rigidez corresponden al módulo de Young.

3.2. Selección del servomotor

La selección del servomotor esta ligada a conocer el par rotacional necesario para mover un solo eslabón del robot serpiente. Asumiendo que los eslabones son como se muestran en la Figura 3, el momento de inercia esta en función del centro de masa y se requiere una aceleración angular para generar el movimiento, se tiene,

$$\tau = J\ddot{\theta} = \frac{1}{3}ml^2\ddot{\theta}. \quad (5)$$

Considerando $l_{max} = 0,750m$ y $m_{max} = 1,2kg$ y que se desplace $\theta = \pi/2rad$ entonces la aceleración angular es $\ddot{\theta} = 2\pi rad/s^2$. El torque requerido es de $1,4Nm$.

Se seleccionan servomotores Dynamixel, ya que, proporcionan el par anteriormente obtenido y se interconectan de forma serial, reduciendo considerablemente el cableado para la comunicación serial entre servomotores. Tal y como se muestra en la Figura 5.

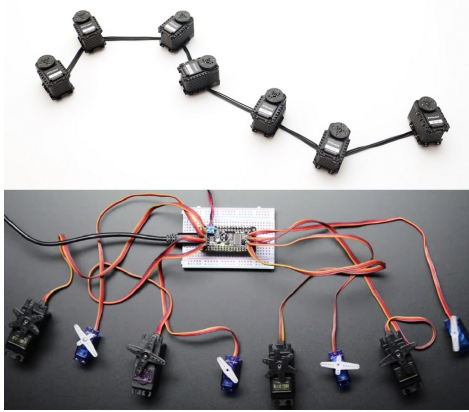


Figura 5: Conexión en serie de servomotores tipo Dynamixel en comparación con otro tipo de servomotores con exceso de cableado.

Con el servomotor Dynamixel 2XL430 se tiene un torque de salida de $1.4Nm$ a un voltaje de $11.1V$ y $1.3A$ con un peso de $98.2g$. Lo cual, lo hace un servomotor de peso ligero, bajo costo y bajo consumo energético.

3.3. Diseño CAD

En la Figura 6 se tiene la propuesta para la carcasa que protegerá el cuerpo del servomotor. Esta carcasa interna no estará en contacto con la superficie externa y facilitará la reposición de piezas en la carcasa externa, ya sea por desgaste o para cambiar la forma del cuerpo del robot serpiente sin necesidad de cambiar todo el módulo.

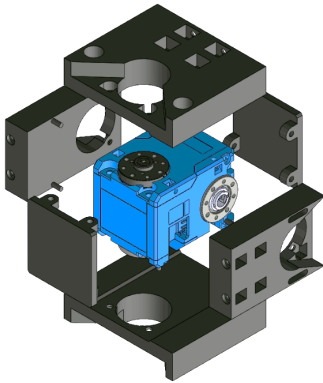


Figura 6: Propuesta de diseño para la carcasa interior que protegerá el cuerpo del servomotor (color azul).

3.4. Cople mecánico

Para interconectar los módulos entre sí y formar el eslabón completo debe diseñarse un cople que sea lo suficientemente fuerte para cargar un peso de $1.2kg$ y construido con PLA. En la Figura 7 se muestra la propuesta de diseño.

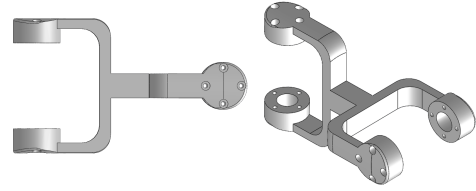


Figura 7: Propuesta de diseño para el cople que interconectará los módulos.

Por otro lado también se realizó el análisis mecánico de los coples, para garantizar que soportan al menos un peso de $1.2kg$. En la Figura 8 se muestran los análisis de tensión mecánica verticales y horizontales, donde el modulo de Von Mises relacionado con el límite elástico no es superado en ninguno de los casos. Se tienen puntos de tensión máxima relacionados con el peso de carga en el cople, sin embargo, ninguno representa un riesgo para la construcción e implementación práctica.

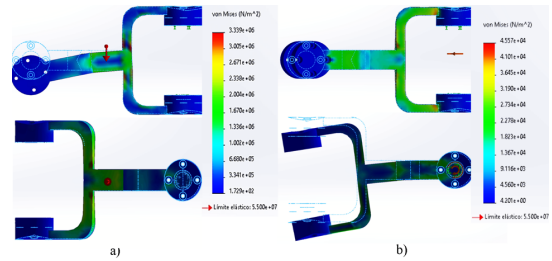


Figura 8: Análisis mecánicos del cople para soportar un peso máximo de $1.2kg$. Se muestra el análisis de tensión en a) carga sobre la posición vertical con vista lateral y superior, así como en b) carga sobre la posición horizontal con vista lateral y superior.

En la Figura 9 se muestra la propuesta de diseño CAD final con todas las especificaciones mencionadas anteriormente y una composición de 6 módulos y 5 eslabones. Los coples unen cada uno de los módulos y cada una de las caras de la carcasa externa con forma elíptica es reemplazable individualmente.

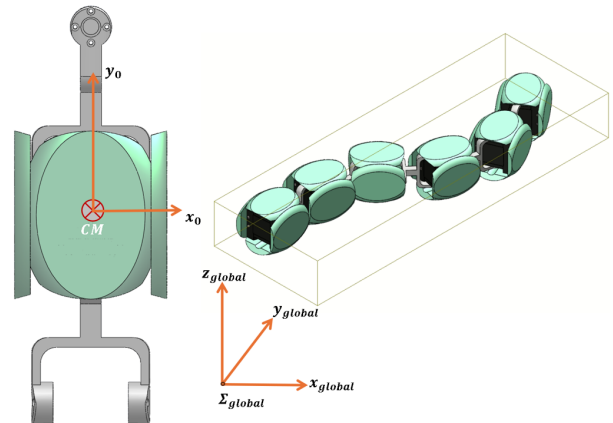


Figura 9: Composición visual de la propuesta de diseño en CAD con 6 módulos interconectados entre sí.

3.5. Simulación

Se realizaron las simulaciones de locomoción serpentina en MATLAB Simulink Multibody para asegurar que el robot serpiente diseñado en CAD realiza la locomoción sin sobrepasar los límites físicos establecidos evitando el choque entre los módulos, como se muestra en la Figura 10.

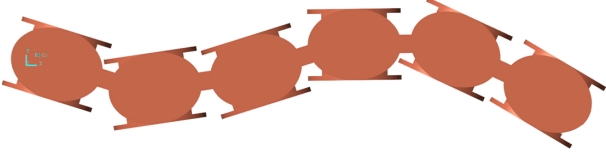


Figura 10: Simulación en Matlab Simulink del diseño CAD del robot serpiente con locomoción serpentina.

En la Figura 11 se observan los cambios de posición angular (1) para cada articulación del robot serpiente simulado, donde, ϕ_5 es la articulación ligada con la cabeza y ϕ_1 con la cola del robot serpiente.

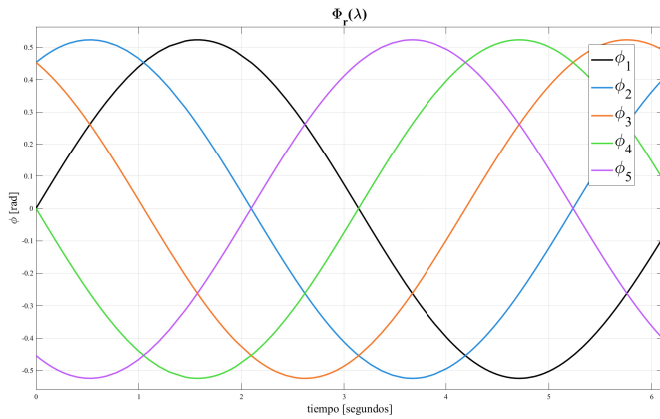


Figura 11: Posición angular para ϕ_i con $i = 1, \dots, 5$.

3.5.1. Construcción y comunicación serial

Se utilizó la impresora 3D de BambuLab para la impresión de las piezas del robot serpiente, como se muestra en la Figura 12.



Figura 12: Impresora 3D BambuLab para la impresión de las piezas que componen el robot serpiente.

Se realizó una prueba de carga en el cople diseñado anteriormente (Figura 7), al colocarse un conjunto de pesas equivalente a 3kg, se observa que no se fractura ni se rompe el cople, tal y como se muestra en la Figura 13, demostrando que inclusive soporta el doble del peso requerido.



Figura 13: Prueba mecánica del cople, donde se colocó un peso de 3kg.

La interfaz de comunicación entre MATLAB y los servomotores del robot serpiente para la locomoción serpentina, se hizo con los componentes electrónicos de la Figura 14 que ofrece Dynamixel. La conexión entre el puerto USB de la computadora y los servomotores se realiza mediante el módulo U2D2, el cual, permite la conversión de señales USB a comunicación serial TTL. Este módulo se conecta al Power Hub Board Set para distribuir tanto la alimentación eléctrica como la señal de datos a los servomotores. La fuente de alimentación utilizada es un adaptador SMPS de 12V y 5A, que garantiza un suministro estable y adecuado para la operación en simultaneo de múltiples servomotores.

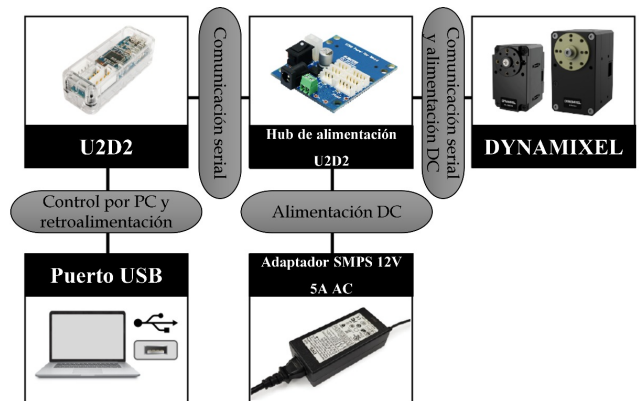


Figura 14: Interfaz de comunicación con los servomotores Dynamixel.

4. Resultados

Las características generales del robot serpiente construido se muestran en la Tabla 3.

Tabla 3: Presentación del robot serpiente

Características		
	Locomoción	Serpentina
	Material	PLA-ECO
	Peso	1.2 kg
	Interfaz	Comunicación serial
	Aplicaciones	Superficie cerámica, hormigón rojo, cemento y pasto sintético

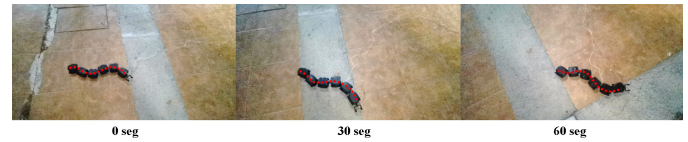


Figura 17: Robot serpiente realizando la locomoción en serpentina sobre una superficie con cerámica y cemento.

En la Figura 17 se observa otra prueba de locomoción serpentina sobre una superficie mitad cerámica y mitad cemento. El avance es de izquierda a derecha y se puede observar que en cuanto el robot serpiente atraviesa por la superficie con cemento se desvía de la posición horizontal con la que inicia.



Figura 18: Robot serpiente realizando la locomoción en serpentina sobre una superficie con hormigón rojo que funciona como pista de atletismo.

En la Figura 18 se realizó la prueba sobre una superficie de hormigón rojo. El avance del robot serpiente en este caso es de derecha a izquierda y se realizó durante 30 segundos, tiempo en el que el robot serpiente giró más de 45 grados de su posición original.

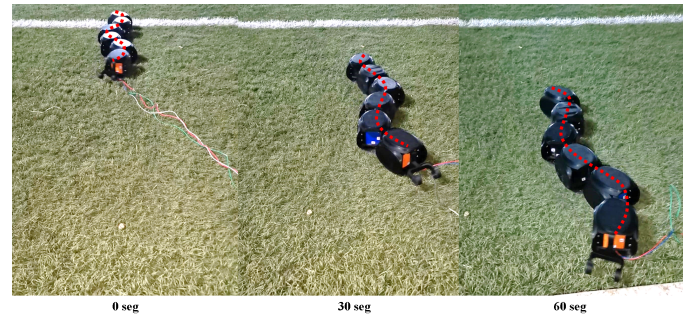


Figura 19: Robot serpiente realizando la locomoción en serpentina sobre una superficie con pasto sintético.

En la Figura 19 se observa la última prueba realizada en una superficie con pasto sintético. El avance del robot serpiente es de arriba hacia abajo para este conjunto de fotos, donde se observa que el robot serpiente realiza la locomoción en serpentina con leve cambio de dirección respecto a su posición inicial.

5. Conclusiones

Con las diversas pruebas físicas realizadas en las diferentes superficies, se puede demostrar que el diseño y construcción del robot serpiente considerando una geometría elíptica, es capaz

4.1. Pruebas experimentales

Se realizaron pruebas experimentales de la locomoción serpentina en diferentes superficies. En la Figura 15 se observa el robot serpiente sobre una superficie adoquinada.

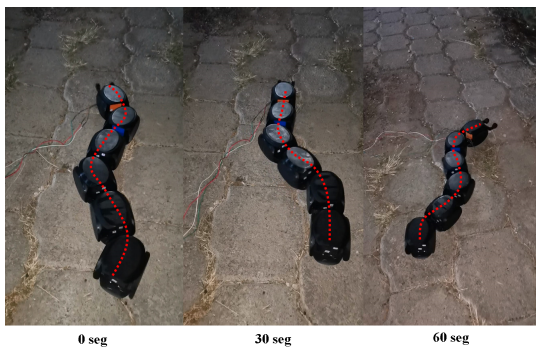


Figura 15: Locomoción en serpentina sobre una superficie adoquinada.

El avance que se muestra en las tres fotos es hacia arriba y se realizó durante 60 segundos, podemos observar que durante los primeros 30 segundos el robot serpiente avanza verticalmente, sin embargo, por el desnivel que existe en el adoquinado empieza a desviarse, pero sin perder la locomoción serpentina.

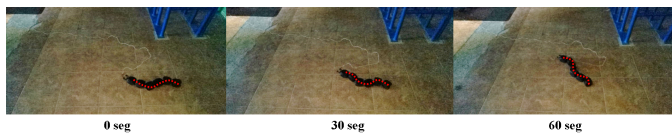


Figura 16: Locomoción en serpentina sobre una superficie de cerámica.

En la Figura 16 se realiza otra prueba sobre una superficie con cerámica, la cual, es más lisa en comparación con el adoquín. El avance del robot serpiente es de derecha a izquierda durante 60 segundos, y también presenta una desviación del cuerpo al final de la prueba.

de realizar la locomoción serpentina de manera suave y continua sin importar el tipo de superficie en el que se encuentre. En cada una de las pruebas realizadas es visible la formación de la onda sinusoidal como característica propia de la locomoción serpentina. Específicamente, en las Figuras 17 a 19 se valida que la forma sinusoidal en las líneas punteadas de color rojo representan la onda sinusoidal que se forma a lo largo del cuerpo del robot serpiente. Se puede observar, como las fuerzas de fricción permiten que el robot serpiente avance, sin embargo, las mismas generan deslizamientos que desvían al robot serpiente de la posición original. Además, la interfaz empleada en conjunto con los componentes electrónicos que brinda Dynamixel intercomunican los servomotores con la computadora sin problema alguno, de tal forma que, a pesar de que se requiera una extensión de cableado para realizar las pruebas no existió pérdida de la señal.

Referencias

- Hirose, S. (1993). Biologically inspired robots, snake-like locomotors and manipulators. *Oxford University press*, (3):2–13.
- Hoffstetter R, G. J.-P. (1969). *Biology of the reptilia: Vertebrae and ribs of modern reptiles*. Academic Press, New York.
- Houssaye, A., Boistel, R., Böhme, W., y Herrel, A. (2013). Jack-of-all-trades master of all? snake vertebrae have a generalist inner organization. *Die Naturwissenschaften*, 100.
- Jayne, B. C. (1986). Kinematics of terrestrial snake locomotion. *Copeia*, 1986(4):915–927.
- Khunnithiwarawat, T. y Maneewarn, T. (2011). A study of active-wheel snake robot locomotion gaits. En *2011 IEEE International Conference on Robotics and Biomimetics*, pp. 2805–2809.
- Lan, K., Zeng, H., Xu, T., Liu, X., Zhou, Y., y Cao, X. (2022). Structure design of an autonomous separated modular snake robot. En *2022 IEEE 2nd International Conference on Data Science and Computer Application (ICDSCA)*, pp. 1035–1038.
- Liljebäck, P., P. K.-S. C. G. J. (2011). Controllability and stability analysis of planar snake robot locomotion. En *IEEETrans. Autom. Control*, volumen 56, p. 1365–1380.
- Liljebäck, P., Pettersen, K., Staudahl, Ø., y Grasdahl, J. (2013). *Snake Robots: Modelling, Mechatronics, and Control*.
- Mukherjee, J., Kar, I., y Mukherjee, S. (2021). *Adaptive Robust Control for Planar Snake Robots*.
- Racioppo, P. y Ben-Tzvi, P. (2019). Design and control of a cable-driven articulated modular snake robot. *IEEE/ASME Transactions on Mechatronics*, 24(3):893–901.
- Skonieczny, K. y D'Eleuterio, G. M. T. (2008). Modeling friction for a snake-like robot. *Advanced Robotics*, 22(5):573–585.
- Takemori, T., Tanaka, M., y Matsuno, F. (2023). Adaptive helical rolling of a snake robot to a straight pipe with irregular cross-sectional shape. *IEEE Transactions on Robotics*, 39(1):437–451.
- Wang, H., Wang, H., Xu, W., y Mu, Z. (2016). Development and experiment of a snake-like robot composed of modularized isomorphic joints. En *2016 IEEE International Conference on Systems, Man, and Cybernetics (SMC)*, pp. 003160–003165.
- Wright, C., Buchan, A., Brown, B., Geist, J., Schwerin, M., Rollinson, D., Tesch, M., y Choset, H. (2012). Design and architecture of the unified modular snake robot. En *2012 IEEE International Conference on Robotics and Automation*, pp. 4347–4354.
- Yang X, Zheng, L. D. W. J. W. S. S. H. W. Z. y L, R. (2022). The snake-inspired robots: a review. *Assembly Automation*, 42(4):567–583.