Universidad Nacional Mayor de San Marcos.

Facultad de Ingeniería de Sistemas e Informática.

**PROYECTO**

**FINAL - G8**

Automatización y control de Software

**Estudiantes:**

* Jauregui Diaz, Yajahira Ysabel
* Escudero Principe, Álvaro
* Vasquez Gonzales, Pedro Sebastian
* Sotelo Arce, Jocelyn Estrella
* Collachagua Poma, Airton Wilson
* Victoria Escudero, Raul Antonio

–/11/2024

**Semestre 2024-II**

**Proyecto 1. Control moderno del Péndulo Invertido**

# **Introducción** El péndulo invertido es un sistema altamente inestable que plantea un reto clásico en el ámbito del control moderno. Debido a su complejidad dinámica, es ideal para explorar y aplicar estrategias avanzadas de control que aseguren su equilibrio y rendimiento. En este proyecto, se propone el diseño y análisis de un controlador que permita estabilizar el péndulo en posición vertical. Además, se utilizarán algoritmos genéticos para optimizar los parámetros del controlador, garantizando un desempeño eficiente y robusto del sistema.

## **Objetivo del Proyecto**

El propósito principal de este proyecto es desarrollar y optimizar un sistema de control capaz de estabilizar el péndulo invertido en su posición de equilibrio. Para lograrlo, se implementarán las siguientes acciones:

* Realizar un modelado matemático del sistema.
* Diseñar un controlador basado en retroalimentación de estados y perfeccionarlo mediante algoritmos genéticos.
* Simular el comportamiento del sistema bajo diferentes escenarios.
* Analizar la estabilidad, eficiencia y robustez del controlador optimizado.

## **Aplicaciones Practicas**

El control del péndulo invertido tiene una amplia gama de aplicaciones prácticas, tales como:

(agregar ejemplos con fuentes)

* Robótica: Equilibrio y estabilización de robots humanoides.
* Medios de transporte: Control en sistemas como el Segway y vehículos autónomos.
* Aeronáutica: Manejo de estabilidad en drones y aviones en condiciones críticas.
* Educación e investigación: Herramienta de aprendizaje y validación experimental en técnicas de control.

# **Marco teórico**

## **Modelado del Péndulo Invertido**

* **Sistema dinámico no lineal:** El péndulo invertido es un sistema que ejemplifica la no linealidad debido a la presencia de términos como senos y cosenos en sus ecuaciones de movimiento. Esto lo convierte en un desafío para estrategias de control, y se utiliza frecuentemente para probar técnicas modernas debido a su naturaleza inherentemente inestable.
* **Ecuaciones de movimiento:** Se derivan mediante dos enfoques principales las Leyes de Newton y el Método de Lagrange

## **Técnicas de Control**

* + 1. **Controlador PID:**
* **Componentes del PID:**

## **Algoritmos Genéticos**

# **Desarrollo de Actividades**

* 1. ***Deriva la función de transferencia del sistema a partir de las ecuaciones (3) y (4). Calcula las raíces del sistema para determinar su estabilidad inicial sin control.***

Para derivar la función de transferencia, inicialmente vamos a definir la transformada de Laplace, que es la relación entre la salida y la entrada del sistema, bajo condiciones iniciales nulas. Se expresa de la siguiente forma:

Donde:

* (s): Transformada de Laplace de salida , que es el ángulo de inclinación del péndulo
* : Transformada de Laplace de la entrada , que es la fuerza aplicada al sistema

Las ecuaciones brindadas que son parte del comportamiento del péndulo son:

**(Rotación del Péndulo)**

**(Movimiento lineal del carrito)**

Para derivar la función transferencia, utilizamos la ecuación (3):

Se imponen condiciones iniciales nulas, es decir:  
   
donde la ecuación queda de la siguiente manera:

Despejamos el valor de :

Factorizamos :

Finalmente obtenemos la función de transferencia:

Aplicamos diferencia de cuadrados

Obteniendo las raíces del sistema, que son las siguientes:

Cuando las raíces del sistema tienen una parte real positiva, esto indica que el sistema es inestable sin control, ya que cualquier perturbación inicial crecerá con el tiempo. En este caso, encontramos dos raíces: **una positiva y otra negativa**. La raíz positiva confirma que el sistema, en su estado actual sin control, no puede mantenerse estable por sí solo. Por lo tanto, es necesario implementar un controlador para garantizar su estabilidad y funcionamiento adecuado.

* 1. ***Diseña un controlador PID que permita mantener el péndulo en posición vertical. Simula el comportamiento del sistema con cada tipo de controlador (P, PI, PD y PID). ¿Cómo influyen los parámetros individuales Kp,Ki y Kd en la respuesta del sistema? ¿Qué diferencias observas en el comportamiento del sistema al usar controladores P, PI, PD y PID?***

Variables del Sistema :

* M: Masa del carro
* m: Masa del péndulo
* l: Longitud del péndulo
* g: Aceleración de la gravedad

Función de transferencia ya hallada del Sistema:

Controlador P:

Controlador PI:

Controlador PD:

Controlador PID:

Se implementa un sistema cerrado con retroalimentación. Esto significa que se toma la salida del sistema, se pasa por el controlador, y se retroalimenta al sistema para ajustar su comportamiento.  
El sistema cerrado con retroalimentación para un controlador C(s)C(s)C(s) y una planta G(s)G(s)G(s) se obtiene mediante la fórmula de retroalimentación:

* 1. ***Analiza cómo cambia el desempeño del sistema al integrar los algoritmos genéticos para optimizar los parámetros Kp,Ki y Kd del controlador PID. Compara el desempeño del PID optimizado frente a uno ajustado manualmente, destacando sus ventajas y limitaciones.***
  2. ***Genera gráficos que permitan visualizar las dos leyes de control diseñadas (PID ajustado manualmente y PID optimizado), evaluando el comportamiento del sistema en términos de tiempo de estabilización y sobre impulso.***
     1. ¿Qué tan sensible es el sistema con el controlador PID (manual u optimizado) ante variaciones en las condiciones iniciales, como un ángulo mayor del péndulo o una posición inicial desplazada del carro?
     2. Después de la optimización, ¿qué cambios observas en la curva de error del sistema?
     3. ¿Qué diferencias importantes se identifican en el comportamiento del sistema con el controlador optimizado respecto a los ajustes manuales?

# **Análisis y explicación**

* + 1. **Análisis del modelo:**
    2. **Optimización con Algoritmos Genéticos**
    3. **Evaluación de Resultados**

# **Conclusiones**

# **Referencias**

1. Cañas, D.; Henao, P y Vidales, F. DISEÑO, ELABORACIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN CONTROL DE PENDULO INVERTIDO PARA EL LABORATORIO DE P.L.C.
2. Tinoco Romero, R. y Orces, E. *Modelado, Simulación y Control de un Péndulo Invertido usando componentes análogos simples* - California Institute of Technology - USA <https://www.dspace.espol.edu.ec/bitstream/123456789/6118/36/CICYT.pdf>
3. links para la documentacion:  
   <https://ddd.uab.cat/pub/tfg/2020/234238/TFG_LuisGeovannyTrivinoMacias.pdf>