



ANEXO 1

FORMATO PARA LA PRESENTACIÓN DE PROYECTOS DE INVESTIGACIÓN
CON EL FINANCIAMIENTO DEL FEDU

1. Título del proyecto

MODELADO, SIMULACIÓN Y CONTROL DE UN PÉNDULO INVERTIDO

2. Área de Investigación

Área de investigación	Línea de Investigación	Disciplina OCDE

3. Duración del proyecto (meses)

12

4. Tipo de proyecto

Individual	<input type="radio"/>
Multidisciplinario	<input type="radio"/>
Director de tesis pregrado	<input type="radio"/>

4. Datos de los integrantes del proyecto

Apellidos y Nombres	LARICO PACO JUAN DE DIOS
Escuela Profesional	INGENIERIA ELECTRONICA
Celular	995993535
Correo Electrónico	jdlarico@unap.edu.pe

- I. Título (El proyecto de tesis debe llevar un título que exprese en forma sintética su contenido, haciendo referencia en lo posible, al resultado final que se pretende lograr. Máx. palabras 25)

MODELADO, SIMULACIÓN Y CONTROL DE UN PÉNDULO INVERTIDO

- II. Resumen del Proyecto de Tesis (Debe ser suficientemente informativo, presentando -igual que un trabajo científico- una descripción de los principales puntos que se abordarán, objetivos, metodología y resultados que se esperan)

En este proyecto se obtiene el modelo matemático del sistema no lineal formado por un péndulo invertido sobre una base móvil y se diseña dos controladores PID para mantener el sistema estable. El primer controlador mantiene el péndulo en equilibrio verticalmente, mientras que el segundo permite que la base móvil se posicione en el centro del espacio determinado. También se ha generado una animación en 3 dimensiones con la que se observa claramente el comportamiento del sistema.



- III. Palabras claves (Keywords) (Colocadas en orden de importancia. Máx. palabras: cinco)

Péndulo invertido, modelamiento matemático, espacio de estado, control.

- IV. Justificación del proyecto (Describa el problema y su relevancia como objeto de investigación. Es importante una clara definición y delimitación del problema que abordará la investigación, ya que temas cuya definición es difusa o amplísima son difíciles de evaluar y desarrollar)

El sistema de péndulo invertido ha sido de gran ayuda para poder entender el comportamiento en robots capaces de mantenerse en equilibrio, al igual que en enfoques relacionados al transporte aéreo. Con la exploración de nuevas técnicas de control por aprendizaje de máquina u otros controles un poco más avanzados, se logra dar una visión de cómo estos pueden llegar a trabajar sobre sistemas no lineales, tal como el péndulo invertido simple y ayudar a solucionar dicho problema de linealidad con mayor facilidad a los controles convencionales. Se espera que con la implementación de un control por aprendizaje de máquina aplicado sobre un péndulo invertido simple, en una plataforma simulada, se pueda a futuro abrir la posibilidad de trabajar con otros sistemas no lineales, como sistemas de péndulos dobles y así mismo contribuir con la investigación de nuevos controladores usando nuevos algoritmos que ponga en práctica técnicas de aprendizaje de máquina o redes neuronales, que serán de beneficio para el estudio de la robótica y la automatización. Los motivos que llevaron a la investigación de un control de péndulo invertido por medio de técnicas de aprendizaje máquina, son debido a que los controles generalmente usados para un sistema no lineal son tan complejos de linealizar como de controlar e implementar, por lo tanto, se busca facilitar este proceso con la técnica ya mencionada, al finalizar se busca mejorar la estabilización de un péndulo invertido en una plataforma simulada en el Software Simulink.

- V. Antecedentes del proyecto (Incluya el estado actual del conocimiento en el ámbito nacional e internacional. La revisión bibliográfica debe incluir en lo posible artículos científicos actuales, para evidenciar el conocimiento existente y el aporte de la Tesis propuesta. Esto es importante para el futuro artículo que resultará como producto de este trabajo)

1. Geun Hyeong y Seul Jung. «Control of inverted pendulum system using a neuro-fuzzy controller for intelligent control education». lo que se busca es la estabilización de un péndulo invertido basado en técnicas de control Neuro-difuso con objetivo de poder tener una educación sobre controles inteligentes, el algoritmo de dicho control fue implementado sobre una tarjeta de desarrollo DSP 2812 y con esto aseguraban que el control se realizaba en tiempo real, la conclusión de este trabajo muestra que a pesar que el algoritmo neuro-difuso mantiene un margen de estabilidad



- adecuado, se tuvo que implementar un sistema mucho más robusto basado en esta misma técnica al inicial debido a que en un principio cuando se implementa dicho sistema el péndulo no se lograba estabilizar del todo.
2. Alexander Winkler y Jozef Suchý. «Identification and controller design for the inverted pendulum actuated by a position controlled robot». se implementa un péndulo invertido sobre una plataforma robótica, la base del diseño de dicho controlador se enfoca en uno por espacio de estados donde se implementa la matemática para su linealización.
 3. Richard F Chidzonga y Fredson. A. Phiri. «Stabilizing an inverted pendulum on an airbed track». se busca la estabilidad de un péndulo en posición vertical sobre una cama de aire, este sistema representa un modelo de sistema inestable no lineal, y su objetivo principal es estabilizar dicho péndulo que al más pequeño movimiento o empuje sobre éste se caerá, para lograr contrarrestar dicha inestabilidad, en caso tal de que el péndulo sea empujado, es provocando una fuerza motora en el planeador (cama de aire) o motor que se encargará de equilibrar el péndulo. El control del sistema fue diseñado de manera analítica y seguidamente se implementó digitalmente sobre un microcontrolador, que se encargaba de activar un motor con cierta fuerza moderada sobre el péndulo y de esta manera mantenerlo en equilibrio. Los resultados de esta práctica permitieron controlar el sistema hasta por 8 minutos, un tiempo que no garantiza una gran estabilidad cuando se trataba de perturbaciones lo suficientemente fuertes impidiendo al motor del sistema estabilizar el péndulo.
 4. Javier Aracil y Francisco Gordillo. «The inverted pendulum: a benchmark in nonlinear control». el trabajo realizado es similar entre ellos, en donde consiste en la solución de balanceo y control de un péndulo, que será empujado o balanceado desde una posición 'cero' verticalmente hacia abajo hasta que este se encuentre en posición vertical hacia arriba, desde allí aplicar un control específico para garantizar su estabilidad en ese punto final. Este trabajo mezcla dos tipos de control, los cuales se dividen en un control capaz de garantizar una fuerza de balanceo, que permita al péndulo llegar a su posición vertical y desde este punto, se hace el cálculo analítico para garantizar la estabilidad del péndulo en esta región.
 5. Nenad Muskinja y Boris Tovornik. «Swinging up and stabilization of a real inverted pendulum». tratan un problema muy similar donde se busca el balanceo y control de un péndulo invertido, en este trabajo se hizo una comparativa entre la teoría de control difusa, con respecto a estrategias de oscilación y control basado en energía, este concluye que en sistemas o aplicaciones no lineales en tiempo real la mejor alternativa se enfoca en la teoría de control difusa.
 6. Warren N. White y col. «Design, build, and test of an autonomous inverted pendulum cart». se busca la implementación de un carro o riel que es capaz de estabilizar un péndulo invertido de manera autónoma, este sistema que se basa en una implementación total del sistema por parte de los autores muestra un control digital implementado sobre una tarjeta de desarrollo situada en el carro, dicho controlador se basa en la técnica de retroalimentación de estados usando Root Locus.



7. Khizir Mahmud. «Design and analysis of the control of an inverted pendulum system by Matlab». se muestra un control para péndulo invertido implementado en el software Matlab por la técnica de variables de estados y usando también un controlador LQR (Linear Quadratic Regulator - Regulador Lineal Cuadrático).

VI. Hipótesis del trabajo (Es el aporte proyectado de la investigación en la solución del problema)

Analizar y diseñar un sistema de control para un péndulo invertido simple que permita estabilizar la posición angular alrededor de un punto de trabajo específico.

VII. Objetivo general

Analizar y diseñar un sistema de control para un péndulo invertido simple que permita estabilizar la posición angular alrededor de un punto de trabajo específico, basado en técnicas de aprendizaje de máquina.

VIII. Objetivos específicos

1. Seleccionar un método de aprendizaje de máquina para el control de posición angular para el péndulo invertido, a partir de la revisión del estado del arte.
2. Validar el método de aprendizaje de máquina seleccionado para el control de la posición angular del péndulo invertido simple, en una plataforma simulada en el Software Simulink.
3. Seleccionar métricas que permitan la validación del sistema de control propuesto, a partir de una revisión del estado del arte.
4. Comparar el desempeño del sistema de control para una referencia de posición angular predeterminada simulado en el objetivo específico 2, con algún método de control clásico simulado empleando el mismo modelo de la planta, utilizando las métricas previamente seleccionadas.

IX. Metodología de investigación (Describir el(los) método(s) científico(s) que se empleará(n) para alcanzar los objetivos específicos, en forma coherente a la hipótesis de la investigación. Sustentar, con base bibliográfica, la pertinencia del(los) método(s) en términos de la representatividad de la muestra y de los resultados que se esperan alcanzar. Incluir los análisis estadísticos a utilizar)

Para llevar a cabo el proyecto de investigación, seguimos los siguientes pasos:

- Modelamiento matemático del sistema
- Análisis de estabilidad del modelo del sistema.
- Diseño e implementación de control

X. Referencias (Listar las citas bibliográficas con el estilo adecuado a su especialidad)



1. Bishop, R. (2010). Control System Laboratory. Houston, Texas: Rice University.
2. García Martínez, J. R. (2015). Análisis y Diseño de un Controlador para un Péndulo Invertido Usando los Métodos de Espacio de Estados. Poza Rica, Ver.: Universidad Veracruzana.
3. Houcque, D. (n.d.). Applications of MATLAB: Ordinary Differential Equations (ODE). Evanston: Robert R. McCormick School of Engineering
4. Kurdekar, V., & Borkar, S. (2013, Sep-Oct). Inverted Pendulum Control: A Brief Overview.
5. Ogata, K. (1987). Dinámica de Sistemas. Distrito Federal: Prentice Hall
Ogata, K. (1998). Ingeniería de Control Moderna. Distrito Federal: Prentice Hall.
6. Reid, K. (2010). Fuzzy Logic of an Inverted Pendulum Robot. San Luis Obispo: California Polytechnic State University.
7. Warak, P. (2013, April). Mathematical Modelling of Inverted Pendulum with Disturbance Input.

XI. Uso de los resultados y contribuciones del proyecto (Señalar el posible uso de los resultados y la contribución de los mismos)

- Un columpio en el parque de recreo
- Reloj
- Parque de diversiones
- Péndulo de Foucault
- Metrónomo
- Puénting
- Trampolín
- Bola de demolición
- Piernas ortopédicas
- Péndulo balístico

XII. Impactos esperados

i. Impactos en Ciencia y Tecnología

La ciencia y la tecnología tienen una relación directa con la vida cotidiana en la sociedad, muchas de las cosas que se utilizan, tienen que ver con los avances de la tecnología, este proyecto contribuirá en el conocimiento y formación de los miembros de la UNA.

ii. Impactos económicos

El monitoreo de parámetros físicos de equipos industriales cada vez tiene más espacio y aplicaciones en la industria, esto acercando cada vez la cuarta revolución industrial, creando un nuevo tipo de economía basada en los servicios de monitoreo y generación de reportes en empresas de pequeña mediana capacidad.



iii. Impactos sociales

El trabajo de investigación planteada tiene como aporte en una sociedad del departamento de Puno, en la forma de la elaboración de parques infantiles, así como prótesis para discapacitados.

iv. Impactos ambientales

La utilización de los resultados de este proyecto contribuye con el cuidado del medio ambiente, debido a que los parques infantiles no producen contaminación, así como la fabricación de prótesis, u otra ampliación que se pueda realizar.

XIII. Recursos necesarios (Infraestructura, equipos y principales tecnologías en uso relacionadas con la temática del proyecto, señale medios y recursos para realizar el proyecto)

Los recursos de materiales, son los siguientes:

A. Dispositivos:

1. Periféricos de PC.
2. Laptop.

B. Software:

1. Matlab.
2. Microsoft Office.

XIV. Localización del proyecto (indicar donde se llevará a cabo el proyecto)

Universidad Nacional del Altiplano

XV. Cronograma de actividades

Actividad	Meses											
	E	F	M	A	M	J	J	A	S	O	N	D
Presentación del proyecto	X											
Recopilación de información		X	X	X								
Modelado del sistema					X	X	X	X				
Análisis y diseño del sistema								X	X	X		
Redacción del informe										X	X	X
Presentación del proyecto												X

XVI. Presupuesto

Descripción	Unidad de medida	Costo Unitario (S/.)	Cantidad	Costo total (S/.)
Lap top	1	3500	1	3500
MatLab Student Suite	1	600	1	600
Información bibliografica	Libro digital	120	10	1200
Servicio de internet	meses	80	12	960
Papel bond	millar	45	1	45



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL ALTIPLANO DE PUNO
VICERRECTORADO DE INVESTIGACIÓN



otros				500
			Total	6805