



Código: PI-CAYT-04-2018

**“DESARROLLO DE UN SERVOMECANISMO
DE POSICIÓN Y DE VELOCIDAD. PROYECTO
Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO
DIDÁCTICO PARA EQUIPAR EL LABORATORIO
DEL DEPARTAMENTO CIENCIAS APLICADAS
Y TECNOLOGÍA”**

Director: CERALLO, Pablo Damián

Integrantes: SANDOVAL, Claudio Fernando; SANDOVAL,
Sergio Gabriel

Año: 2022



Informe Final de Proyectos de Investigación (PI) Universidad Nacional de Moreno

Identificación del proyecto

Tipo de proyecto y año de convocatoria:	Proyecto para equipamiento del laboratorio – año 2019
Nombre completo del proyecto:	Desarrollo de un servomecanismo de posición y de velocidad. Proyecto y construcción de un dispositivo didáctico para equipar el laboratorio del Departamento Ciencias Aplicadas y Tecnología.
Director/a:	Esp. Ing. Pablo Damián Cerallo
Lineamiento estratégico: ¹	
Fecha de inicio:	Mayo 2019
Fecha de finalización:	Abril 2022
Unidad de localización: Departamento/Centro/ Programa	
Resumen:	<p>El objetivo principal es equipar al laboratorio de Ingeniería en Electrónica con un sistema desarrollado íntegramente en la UNM. El mismo consta de un servomecanismo de control de posición y velocidad angular, en donde se podrá medir los parámetros intrínsecos del motor de corriente continua y accesorios, además de corroborar su funcionamiento como seguidor y regulador.</p> <p>No se pudo terminar el proyecto, debido a la pandemia.</p>
Palabras claves:	Servomecanismo. Motor de corriente continua. Control de posición. Control de velocidad.

Parte I

Informe de resultados para el repositorio²

1. Introducción y objetivos

¹ Según Resolución UNM- CS 848/21 Lineamientos estratégicos de Investigación y Desarrollo Tecnológico 2022-2027.

Objetivo general.

Desarrollo de un servomecanismo de posición y de velocidad.
Proyecto y construcción de un dispositivo didáctico para equipar el laboratorio de electrónica de la UNM.

Objetivos específicos.

La idea central es equipar el laboratorio de Ingeniería en Electrónica con un sistema desarrollado íntegramente en la UNM. El mismo se basa en un motor de corriente continua al cuál se lo podrá ensayar como un control de posición angular o de velocidad angular. Para ello, será necesario el desarrollo de un sistema modular, con conexionado externo, no fijo.

Se trata de proyectar, calcular y construir un dispositivo didáctico basado en un servomecanismo, el cual se lo puede conectar como control de posición angular o control de velocidad. El mismo podrá ensayarse en lazo abierto, o en lazo cerrado, a través de técnicas de realimentación por variables de estado y por control clásico midiendo sus salidas y variables intermedias. Además de obtener los parámetros de un motor de corriente continua y sus accesorios anexos, tales como amplificadores, potenciómetros, freno dinámico y generatriz tacométrica.

Definición de la necesidad.

La materia Sistemas de Control no llega a ser una materia de aplicación directa, sino un nexo entre las ciencias básicas (matemáticas, física) y las primeras materias de aplicación en la especialidad como Teoría de Circuitos I, Análisis de Señales y Sistemas, etc. Por ello, se percibe como un área netamente teórica, cuyo salto a la realidad, es muy grande. Para ello, es necesario un trabajo de laboratorio, que complemente los trabajos prácticos de aula, que son muchos.

Por el momento, los alumnos de la UNM no realizan una práctica de laboratorio, necesaria para achicar dicha brecha entre la teoría y el mundo real.

La experiencia en otras casas de altos estudios (UTN FRBA, UTN FRH y UNGS), en donde sí se realizan trabajos prácticos de laboratorio, indica que hay un bache o faltante para los alumnos en la UNM. Por

este antecedente, necesitamos brindarle un trabajo sobre un equipo físico real.

2. Marco de referencia

El proyecto consta de las siguientes etapas:

- a) Estudio dentro del marco teórico: con la aplicación de sistemas mecánicos en rotación, sus variables físicas y sus componentes clásicos. Luego con la base de sistemas electromecánicos, un motor de corriente continua en sí. También el estudio de respuesta temporal a régimen permanente y a régimen transitorio. Respuesta en frecuencia, ancho de banda. Con el control moderno, método de variables de estado, con condiciones iniciales nulas y no nulas. Para los sensores, sumadores y amplificadores, se hará un estudio de los requerimientos, especificaciones y como lograrlos. Evaluar efectividad y confiabilidad de los mismos.
- b) Desarrollo del sistema y sus componentes: modelización del sistema, detallando cada uno de sus componentes. Obtención teórica de los valores, y en forma empírica de los mismos. Comparación.
- c) Simulación por computadora: utilización del modelo numérico obtenido en el punto anterior, dentro de métodos computacionales, como el Matlab con Simulink. Prueba y corrida con señales escalón, rampa y senoidales. Introducción de ruido de medición.
- d) Construcción del mismo: obtener los materiales para la construcción del sistema, con un motor de corriente continua dentro de los valores estudiados, amplificadores, sumador, sensores. Privilegiando el uso de componentes robustos, de bajo mantenimiento y protegidos para el uso durante años. Además será modular, por lo que es necesario utilizar cajas transparentes para alojar a los componentes, y que estén a la vista de los alumnos. Dichas cajas también tendrán su conexión hacia el exterior para interconectarlas con los otros módulos.

- e) Ajustes ante desviaciones probables: una vez construido el sistema, se harán las pruebas que luego serán las bases para la realización del ansiado trabajo práctico de laboratorio:
- Medición de los parámetros del motor, tanto en armadura como mecánicos.
 - Medición de los parámetros de los anexos, potenciómetros, amplificadores, tacómetro, freno viscoso, etc.
 - Análisis del sistema completo, como control de posición. Señales de posición angular, velocidad angular y error de actuación. Respuesta en frecuencia, márgenes de fase y ganancia y ancho de banda.
 - Análisis del sistema completo, como control de velocidad. Señales de posición angular, velocidad angular y error de actuación. Respuesta en frecuencia, márgenes de fase y ganancia y ancho de banda.
 - Mejoras a través de un PID. Verificación y diseño.
 - Mejoras a través de la realimentación de variables de estado. Verificación y diseño.

3. Métodos y técnicas

Análisis de Etapas.

Para poder ilustrar el funcionamiento del sistema se dividió en las siguientes etapas, las cuales algunas se pudieron cumplir:

- 1- Motor CC y Caja reductora
- 2- Medición de posición
- 3- Medición de posición
- 4- Set Point
- 5- Cadena amplificadora
- 6- Alimentación

Motor CC y Caja reductora.

El motor de continua es el corazón del proyecto. Se realizaron pruebas con diversos motores. Se seleccionó este motor debido a que

la caja reductora viene incluida, y además es comercial y económico. Es decir, en caso de dañarse podrá reemplazarse con facilidad.

Las características proporcionadas por el fabricante unicamente son la tensión nominal del Motor 6Vdc, y una velocidad nominal de 200 rpm.

Medición de Posición.

Para realimentar posición la opción más común es un encoder absoluto, debido al costo se decidió optar por un sensor similar a un potenciómetro convencional, con la diferencia que gira sin fin, variando su resistencia de forma lineal de 0 a 333° y luego volviendo al inicial de forma abrupta. Por lo que se puede obtener una señal analógica de tensión proporcional a la posición. Utilizar un potenciómetro convencional fue una de las alternativas, solo se deberían quitar los topes. La problemática residía en que se perdía la robustez, y producto del desgaste la vida útil sería muy corta.

Medición de velocidad.

Para sensor velocidad se optó por utilizar tecnología digital, se recurrió a un microcontrolador AVR 328P, De este utilizaremos uno de los ADC para recibir la referencia de velocidad, una entrada de interrupción con la cual calcularemos la velocidad en la que se mueve el motor, y las dos líneas que corresponden a I2C.

Se acopló al eje del motor un disco ranurado, producto de la presencia de ranuras un módulo sensor de velocidad envía pulsos en una de las entradas de interrupción del microcontrolador.

Para poder controlar la velocidad necesitábamos una señal analógica de tensión que llegará a la cadena amplificadora para realizar el control de velocidad. Debido a que el microcontrolador no posee DAC, se adquirió un DAC MCP4725.

Calculo de la velocidad.

Para poder medir la velocidad se utilizará un disco de 20 ranuras acoplado al eje, el cual mediante el HC-020K generará los pulsos necesarios para poder obtener la velocidad en la que está girando el motor.

Por la configuración escogida del contador, el cual cuenta de 0 a 65535. Donde cada cuenta equivale a 1,28 ms, sabiendo que el disco tiene 20 ranuras, entonces la velocidad podrá calcularse como:

Set Point.

Tanto el control de posición como el control de velocidad utilizaran el mismo Set Point. No es otra cosa que un potenciómetro rotatorio convencional de 0° a 270° de valor $10k\Omega$.

Cadena Amplificadora.

Tanto el control de posición como el control de velocidad comparten la cadena amplificadora. La cual recibe la señal del transductor de posición y el sensor de velocidad con la cual se genera la señal de error. La cual es recibida y amplificada por dicha cadena. Los transistores al final de la cadena otorgan la capacidad de corriente para controlar el motor.

Alimentación.

Para la alimentación es importante tener una tensión estable. Por lo que se regulará la tensión para alimentar de forma simétrica con $+5Vdc$ y $-5Vdc$.

Simulación.

Se realizaron las simulaciones de control de velocidad, y posición. Incluyendo al microcontrolador y un DISPLAY LCD 16X2 en ISIS de Proteus V7.7. Con estas simulaciones se comprobó el correcto funcionamiento de ambos controles. Para simplificar la comprensión del sistema se ilustra un diagrama en bloques del sistema completo en la siguiente figura:

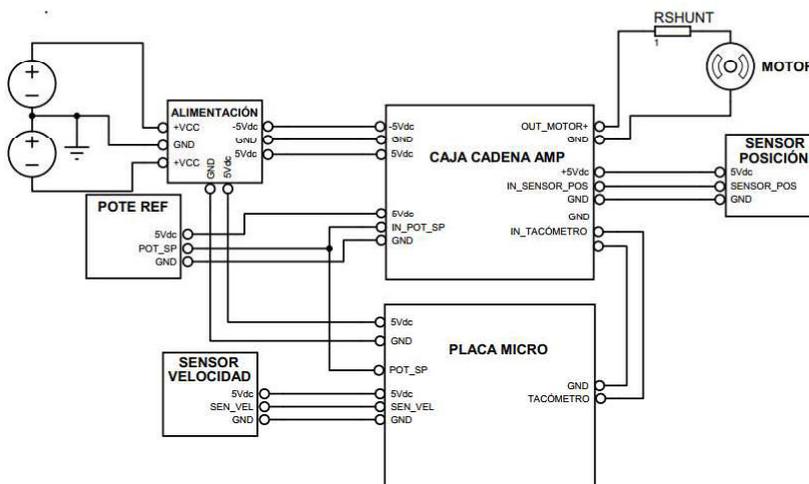


Figura Diagrama en bloques de la simulación

4. Resultados y discusión

El proyecto quedó inconcluso, debido a la dificultad del desarrollo en un laboratorio de la UNM, por la pandemia y cese de actividades presenciales. Recién para el presente año 2022, se pudieron realizar las mediciones del motor y accesorios.

Grado de cumplimiento: 70% estimado.

Se espera poder avanzar con el objetivo del equipamiento del laboratorio continuando esta investigación y desarrollo, a través del proyecto final de los alumnos.

5. Nuevos interrogantes y líneas de investigación a futuro

Consignar si la investigación hizo surgir nuevos interrogantes o si emergieron potenciales líneas de investigación a desarrollarse en el futuro a partir de los hallazgos.

6. Bibliografía

- Ogata, Katsuhiko (2003)
Ingeniería de control moderna.
3º edición
- Ogata, Katsuhiko (2001)
Dinámica de sistemas.
1º edición
- Ogata, Katsuhiko (2008)
Sistemas de Control en tiempo discreto.
2º edición
- Ogata, Katsuhiko (2003)
Problemas de Ingeniería de control utilizando Matlab.
2º edición
- Antonio Creus (2011)
Instrumentación Industrial.
1º edición

- Bishop, R – Dorf, R. (2013)
Sistemas de control moderno.
10^o edición
- Dorf, R. (2013)
Modern Control System.
10^o edición
- Kuo, B (2001)
Automatic Control Systems
3^o edición
- Bolton, W (2001)
Ingeniería de Control.
1^o edición - México
- Kuo, B (2001)
Sistemas de Control Automático.
7^o edición
- Mariani, Amadeo (2010)
Paper UTN – FRBA y FRH
Linealización de sistemas no lineales
- Mariani, Amadeo (2010)
Paper UTN – FRBA y FRH
Representaciones canónicas en el espacio de estados
- Mariani, Amadeo (2010)
Paper UTN – FRBA y FRH
Modelos de sistemas mecánicos
- Mariani, Amadeo (2010)
Paper UTN – FRBA y FRH
Plantas y procesos Lineales e invariantes en el tiempo
- Cerallo, Pablo (2018)
Paper UTN – FRBA, FRH y UNM
Costo de control
- Cerallo, Pablo (2019)
Paper UTN – FRBA, FRH y UNM
Cancelación de singularidades en la física y en la matemática