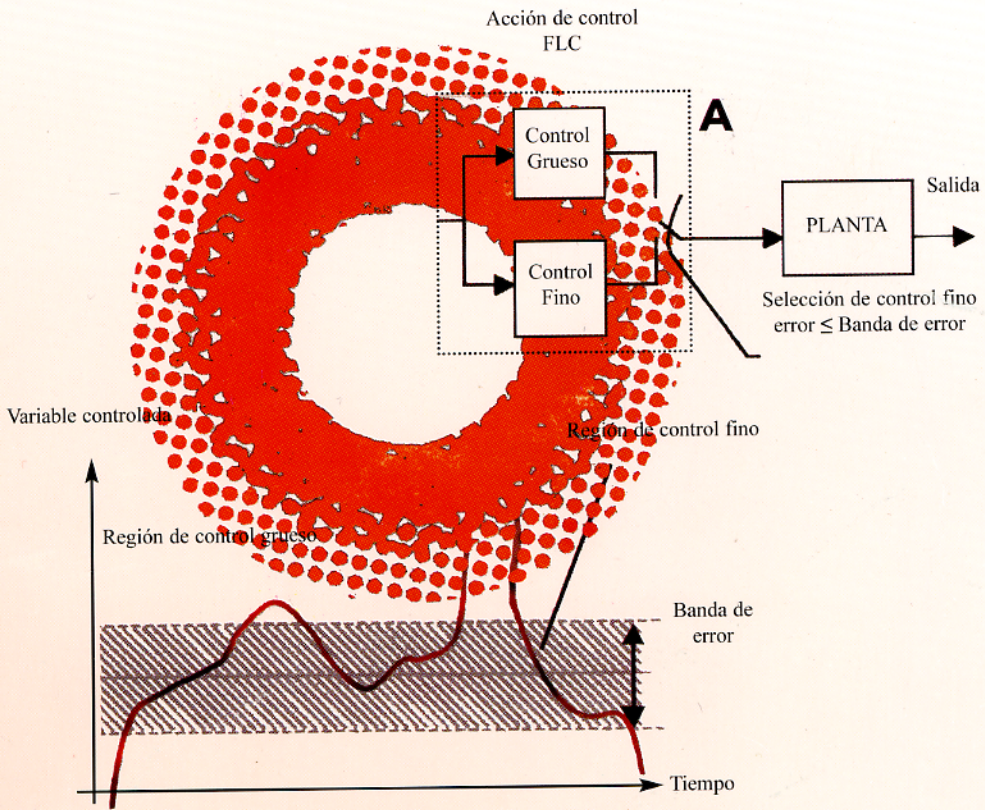


Ingeniería

Revista de la Universidad de Costa Rica
Enero/Diciembre 1999 VOLUMEN 9 Nos. 1 y 2



INGENIERIA

Revista Semestral de la Universidad de Costa Rica
Volumen 9, Enero/Diciembre 1999 Números 1 y 2

DIRECTOR

Rodolfo Herrera J.

CONSEJO EDITORIAL

Víctor Hugo Chacón P.

Ismael Mazón G.

Domingo Riggioni C.

CORRESPONDENCIA Y SUSCRIPCIONES

Editorial de la Universidad de Costa Rica
Apartado Postal 75
2060 Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

CANJES

Universidad de Costa Rica
Sistema de Bibliotecas, Documentación e Información
Unidad de Selección y Aquisiciones-CANJE
Ciudad Universitaria Rodrigo Facio
San José, Costa Rica

Suscripción anual:

Costa Rica: ₡ 1 000,00

Otros países: US \$ 30,00

Número suelto:

Costa Rica: ₡ 750,00

Otros países: \$ 20,00



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN MANIPULADOR

Horacio Vásquez C.¹

Resumen

En este artículo se presenta la información obtenida al diseñar, construir y controlar dos brazos mecánicos que giran excéntricamente alrededor de ejes verticales. El objetivo de este trabajo fue principalmente continuar desarrollando un sistema electromecánico que sea de utilidad en los cursos de Instrumentación, Análisis de Sistemas, entre otros de la Escuela de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Costa Rica. Con este sistema de brazos mecánicos es posible estudiar y experimentar el funcionamiento de motores de corriente continua, amplificadores de potencia, potenciómetros, y además diseñar e implementar sistemas de control analógicos o digitales en general, y también es de ayuda para otros aspectos importantes en la enseñanza de la Ingeniería.

Summary

This article presents information obtained from designing, constructing, and controlling two mechanical arms, which rotate eccentrically around vertical axes. The objective of this project was to continue developing an electromechanical system useful to teach Instrumentation, Analysis of Dynamic Systems, and other courses in Mechanical Engineering at the University of Costa Rica. With this system of two mechanical arms is possible to study and experience the operation of DC motors, power amplifiers, potentiometers; and additionally, to design and implement analogical as well as digital control systems in general, and for other relevant matters when teaching Engineering.

1. INTRODUCCIÓN

Se presenta en este artículo la información relacionada con el diseño, construcción y control de un manipulador que consiste de dos brazos mecánicos, propulsados por motores de corriente directa. Los propósitos del proyecto son netamente didácticos, con finalidad de ser utilizado en algunos cursos de Ingeniería Mecánica en la Universidad de Costa Rica. Se construyeron dos brazos mecánicos que giran alrededor de ejes verticales, y que se pretende que sean la base del desarrollo continuo de un manipulador al que se mejorará constantemente. La idea final es agregar una garra mecánica para que el manipulador realice trabajos sencillos de movimiento de piezas. Mediante la experimentación y algunos datos del fabricante se determinaron los requerimientos de alimentación y las limitaciones de cada uno de los motores, y se construyeron controles tipo proporcional analógico basados en amplificadores operacionales para los mismos. También, se

implementó un controlador digital para cada uno de los brazos, los cuales operan simultáneamente mediante el mando de una computadora, a través de conexiones de interface, una tarjeta de adquisición de datos y software de control y adquisición. Se sintonizaron dos controladores tipo PID y se optimizó, hasta donde fue posible, el funcionamiento de los brazos, pese a las limitaciones de torque y velocidad en uno de los motores.

2. DISEÑO DEL MANIPULADOR MECÁNICO

Un manipulador mecánico, o robot, consiste de una serie de elementos mecánicos y electrónicos unidos de forma tal que pueden realizar una o varias funciones específicas y programables. En la realización de este proyecto, primero se especificaron y definieron los sistemas de soporte y transmisión de movimiento de los dos brazos mecánicos, y luego se procedió a preparar los

¹ Ing., M.Sc., Prof., Asoc. Esc. Ing. Mecánica, U.C.R.

materiales y partes para realizar su construcción. Como antecedente, y punto de partida, para esta etapa del proyecto se tenía la construcción de un brazo mecánico como se muestra en la figura No. 1, el cual giraba alrededor de un eje horizontal. Algunas de las partes del proyecto anterior, como el motor-reductor, los cojinetes, potenciómetros y el brazo en sí, se utilizaron de nuevo para la nueva configuración planteada en la construcción de los dos brazos mecánicos, esta vez girando alrededor de ejes verticales.

En este paso del proyecto, el ensamble y configuración de los dos brazos mecánicos se realizó de acuerdo al orden mostrado en la figura No. 2, en la cual se presentan ambos brazos en posición horizontal formando una cadena cinemática abierta. El brazo más cercano a la base fija del sistema es el numerado brazo 1, y el brazo montado sobre él es numerado brazo 2, y en la figura No.2 se presentan algunos detalles: sus correspondientes motores, sistemas de transmisión y apoyos. El sistema de apoyo del brazo 1 está unido a la base, mientras que el sistema de apoyo del brazo 2 está unido al brazo 1. Esto permite que el brazo 1 gire con respecto a la base alrededor de un eje vertical, y que el brazo 2 gire con respecto al brazo 1

también alrededor de un eje vertical. Es importante que ambos ejes de rotación sean verticales debido a que las consideraciones de excentricidad y balanceo se hacen menos importantes, todo lo contrario de lo que ocurre cuando los brazos giran alrededor de ejes horizontales. Para unir los ejes de los motores con los ejes de transmisión que conectan a ambos brazos, se utilizaron acoples de aluminio con un segmento de hule en la parte central, para darles flexibilidad.

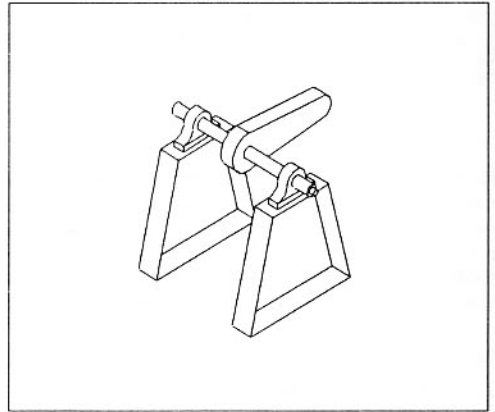


Figura No. 1. Brazo mecánico con giro en eje horizontal

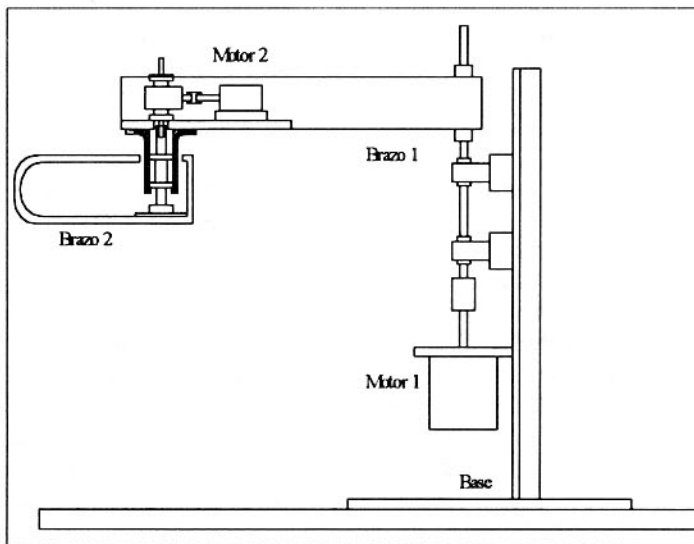


Figura No. 2. Manipulador mecánico de dos brazos horizontales

En la parte superior del eje que mueve al brazo 1 (ver figura No. 2) se colocó un potenciómetro de $5\text{ K}\Omega$, con aproximadamente 300° de giro, para indicar la posición de este brazo en tal rango de movimiento. Otro potenciómetro, se colocó en el extremo superior del reductor mostrado en la figura No. 3, para indicar la posición del brazo 2 con respecto al brazo 1. El

potenciómetro utilizado para el brazo 2 es de $5\text{ k}\Omega$, de 10 vueltas.

El motor 1 es de corriente directa con escobillas y opera a 24V , con velocidad de operación sin carga de 490 rpm . Es necesario mencionar que estas características del motor no son las más adecuadas para esta aplicación, pero se utilizó para llevar a cabo el experimento y por ser éste el moto-reductor DC disponible con características más cercanas a las necesitadas.

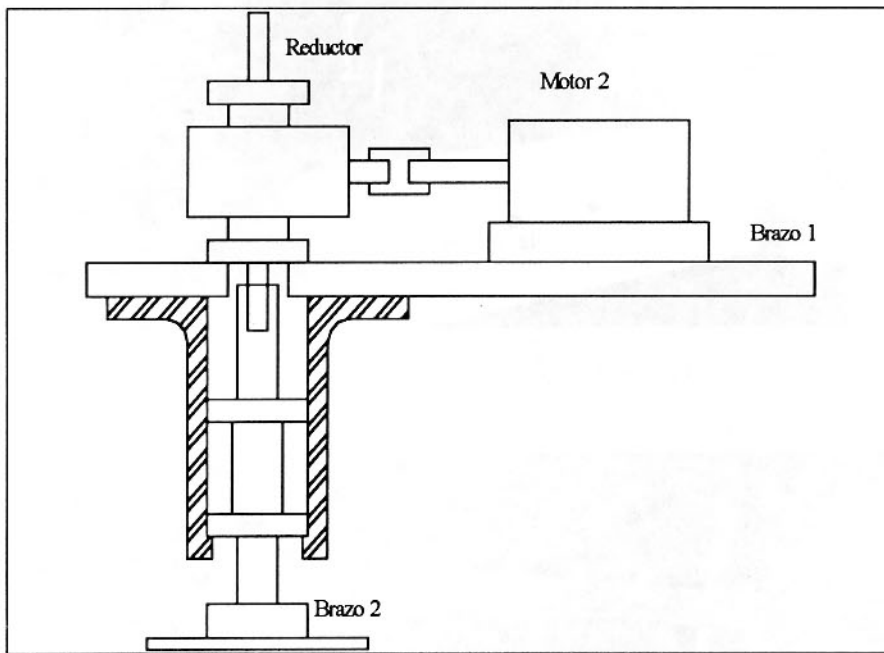
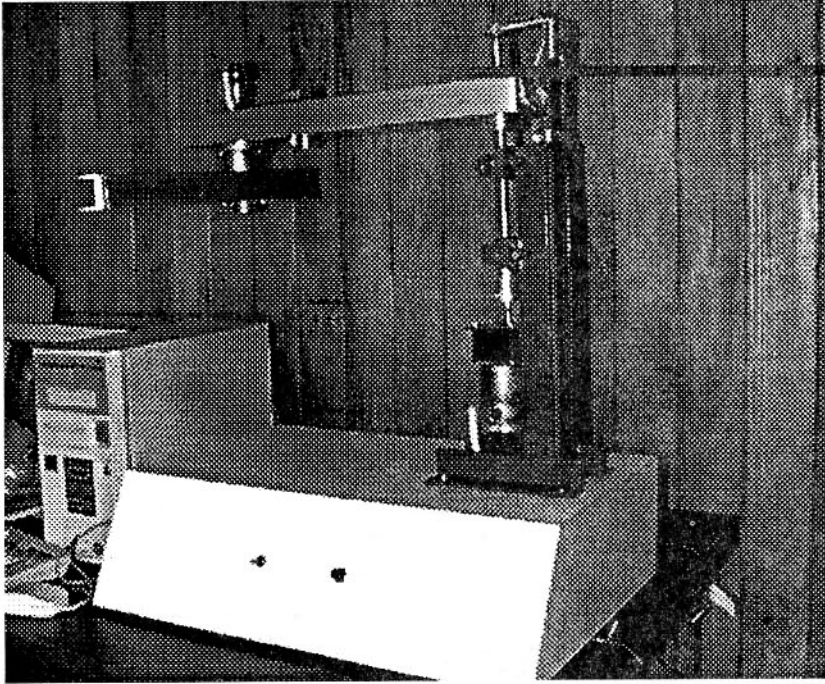


Figura No. 3. Sistema de transmisión y acople entre los dos brazos

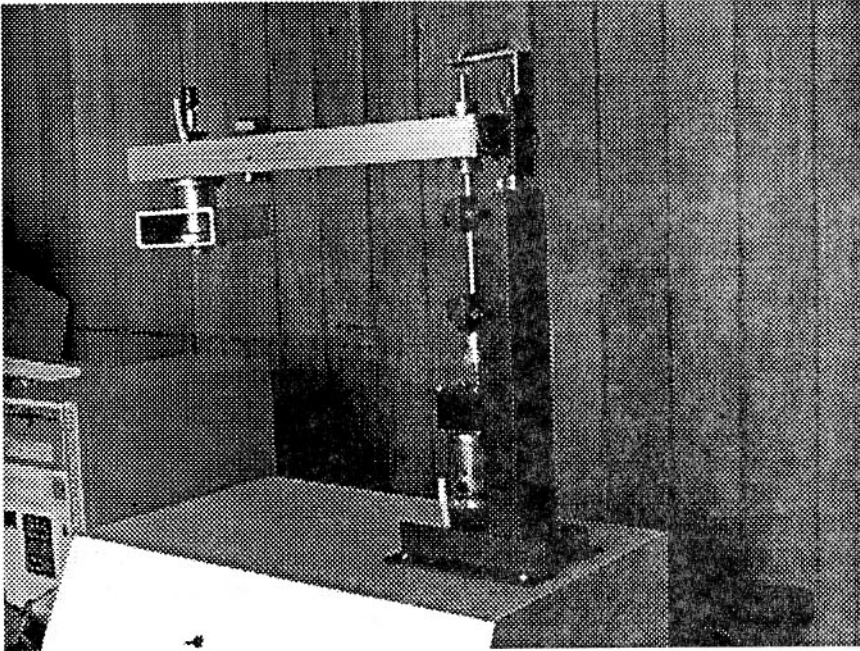
El motor 2 es de corriente directa y de imán permanente, de tipo moto-reductor, con una reducción de 100 a 1, entre sus características: 24V , 1 Amp , velocidad de operación sin carga de 60 rpm , y constante de fuerza contra electromotriz de $0.0404\text{ V}/(\text{rad/s})$. Este motor se acopló al brazo 2 por medio de un reductor a 90° con reducción de 3 a 1, como se muestra en la figura No. 3. El mecanismo utilizado para conectar ambos brazos se muestra en ambas figuras: en la figura No. 2 junto a todo

el sistema, y más detalladamente en la figura No. 3. En la figura No. 2 se muestra como se realizaron las conexiones, la transmisión de movimiento y el soporte del brazo 2 sobre el brazo 1.

Se pueden observar las fotografías No. 1 y 2 del sistema ya terminado e instalado sobre un pequeño mueble de madera que sirve como base.



Fotografía No. 1. Sistema de brazos mecánicos



Fotografía No. 2. Brazos mecánicos

Cuando la posición de los brazos se controló con un tipo de controlador proporcional analógico, como el mostrado en la figura No. 4, se necesitaron potenciómetros adicionales para generar las posiciones de referencia, o las deseadas, denominadas P_d . De estos tipos de controladores analógicos se utilizó uno para cada motor, pero con diferentes ganancias para obtener respuestas satisfactorias en ambos brazos. Todos los potenciómetros se alimentaron con 0V de referencia y 5V en su otro extremo fijo. Así, las rotaciones de los brazos generan voltajes, en los extremos

deslizantes de los potenciómetros, que varían proporcionalmente a su posición.

Para hacer girar los motores sin dañar los componentes electrónicos de los controladores, fue necesario utilizar amplificadores de potencia, para suministrar la potencia que requiere el motor, y para limitar la corriente máxima hacia cada motor. El tipo de amplificador de potencia o *driver* utilizado es de los conocidos como modulador del ancho de pulso, o PWM, para motores DC con escobillas, o de imán permanente.

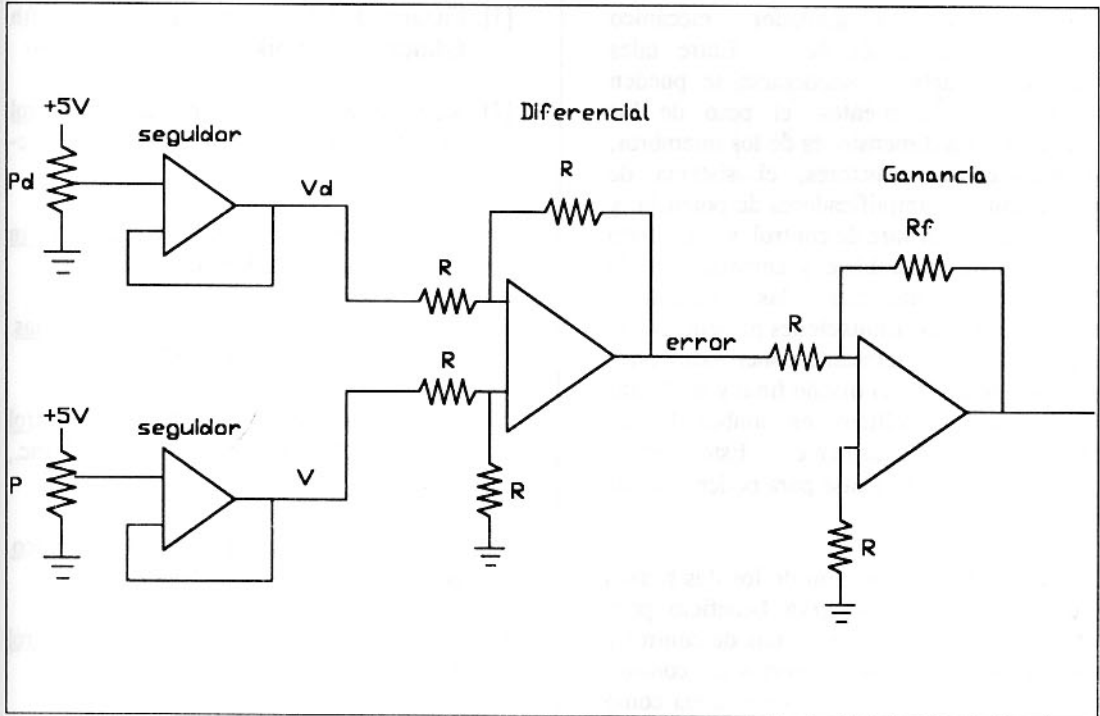


Figura No. 4. Controlador proporcional analógico

Interesa principalmente construir los amplificadores de potencia tipo PWM para mover los motores de corriente directa, y se está trabajando en este aspecto con estudiantes y profesores en proyectos del curso IM-0303 Instrumentación, junto con el curso de IM-

0456 Electrónica Básica, de la Escuela de Ingeniería Mecánica.

Para mejorar la operación del sistema desarrollado se necesita comprar un motor con más torque y menos velocidad para el brazo 1. Además, se necesitan potenciómetros de

mayor calidad y sensibilidad para dar posiciones más exactas y precisas. Esto junto con el diseño de una garra mecánica nos permitiría crear un verdadero manipulador que realice tareas importantes en un plano horizontal. Otro aspecto fundamental es la creación de *software* especializado en este tipo de aplicaciones, lo cual resulta interesante para estudiantes y profesores que estén interesados o tengan conocimiento en tal tema.

3. CONCLUSIONES

Con la construcción de este proyecto se ha logrado determinar, en la práctica, los aspectos importantes a considerar cuando se pretende desarrollar un manipulador mecánico partiendo desde el diseño. Entre tales aspectos que deben considerarse se pueden mencionar los siguientes: el peso de los materiales y las dimensiones de los miembros, los motores y reductores, el sistema de transmisión, los amplificadores de potencia, y el hardware y software de control, y sobre todo el proceso de ensamblaje y construcción, lo cual debe considerar las máquinas, herramientas, y las limitaciones presentes en el taller. Es muy interesante poner todos estos elementos juntos en el diseño final y así lograr movimientos específicos en ambos brazos mecánicos simultáneamente. Esto servirá como experiencia y la base para poder avanzar en este proyecto.

El diseño y la construcción de los dos brazos mecánicos ha sido de gran beneficio para utilizarse con diferentes sistemas de control y con ello aplicar distintas teorías de control. Además, se podría utilizar este sistema como un banco de pruebas para el Análisis de Sistemas Dinámicos. En el presente desarrollo del proyecto se han utilizado dos sistemas de control: uno analógico, basado en amplificadores operacionales y otro digital, basado en una tarjeta de adquisición de datos al mando de una computadora. Es importante destacar de que ambos brazos se controlan simultáneamente.

Con el diseño, construcción y control de los brazos mecánicos se han logrado aplicar los conocimientos teóricos, y obtener conocimientos que sólo se logran con la práctica y la experimentación. Los brazos mecánicos se han desarrollado con propósitos puramente didácticos que, sin embargo, pueden convertirse en el futuro en propósitos industriales. En la experimentación se han presentado situaciones que, definitivamente no se dan en la teoría y que son de gran ayuda para reforzar y formar conocimientos, lo cual será de mucha importancia en la Docencia.

4. BIBLIOGRAFÍA

- [1]. Fitzgerald, A.E. Electric Machinery. Fifth Edition. New York, McGraw-Hill, 1990
- [2]. Kuo, Benjamin. Automatic Control Systems. 6^a Ed. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1991
- [3]. Mims, Forrest. Getting Started in Electronics. USA, Radio Shack, 1988
- [4]. Ogata, Katsuhiko. Dinámica de Sistemas. México, Prentice Hall, 1987
- [5]. Ogata, Katsuhiko. Discrete-Time Control Systems. New Jersey, Prentice-Hall Inc., 1987
- [6]. Rodríguez, Jesús. Control Automático. México, McGraw Hill, 1998
- [7]. Rohrs, Charles. Sistemas de Control Lineal. México, McGraw Hill, 1994