

Control de posición y seguimiento de caminos en el sistema Bola-Plataforma

Angel Cedeño, Marco Gordón, Luis Morales
Escuela Politécnica Nacional, Quito - Ecuador

Resumen – En el presente trabajo se presenta el diseño e implementación de un Sistema Bola-Plataforma para control de posición y seguimiento de caminos. El sistema implementado es de dos grados de libertad, está accionado por servomotores y usa una cámara de video para obtener la posición de la esfera en el plano. Se implementa además una modificación a la construcción habitual de este sistema, que mejora la adquisición de datos cuando se utiliza visión artificial como mecanismo de realimentación. Utilizando el modelo matemático de la planta se obtiene la respectiva función de transferencia que es usada para el diseño del controlador. El algoritmo de control propuesto es un PID y su acción es analizada tanto en control de posición, como en el seguimiento de caminos (círculo y cuadrado). Los resultados tanto en simulación como implementación se presentan al final del documento y muestran la acción del controlador PID en sistemas no lineales e inestables como el caso del sistema Bola-Plataforma.

Índices– *BallonPlate; Estabilización; Seguimiento de caminos; Controlador PID; Visión artificial.*

I. INTRODUCCIÓN

El sistema Bola-Plataforma es un sistema de control no lineal que permite posicionar una esfera en un punto específico de una plataforma, y realizar el seguimiento de caminos o trayectorias. Este sistema es de naturaleza inestable, por tanto, cualquier perturbación que modifique su estado de equilibrio hará que la posición de la esfera crezca indefinidamente respecto a un sistema de referencia. [1][2]

Cuando el sistema Bola-Plataforma se encuentra en lazo abierto, cualquier inclinación de la plataforma provoca el crecimiento indefinido de la posición de la esfera. Por esta razón es necesario un sistema de control que sea capaz de llevar al sistema a la estabilidad ante cualquier tipo de perturbaciones y que además pueda cumplir con el objetivo de controlar el movimiento de la esfera sobre la plataforma.

El sistema Bola-Plataforma consiste de una plataforma, cuya inclinación determina el desplazamiento de una esfera que rodará sobre esta. Los actuadores de la planta son los encargados de transmitir el movimiento angular hacia la plataforma.

La construcción física del sistema varía dependiendo de la ubicación de los actuadores y del sensor que se utilice como elemento de realimentación. Los actuadores pueden estar acoplados directamente a la plataforma [3] o indirectamente acoplados mediante extensiones y un pivote [4] [5]. La señal de realimentación que indica la posición actual de la esfera sobre la plataforma puede ser tomada mediante un panel táctil [2] [6] o una cámara de video [5] [7]. El sistema que se usa en

el presente trabajo utiliza actuadores indirectamente acoplados a la plataforma y una cámara de video como sensor para realimentar la posición de la bola en el plato. A diferencia de los sistemas tradicionales que ubican la cámara de video, fija a una base e inmóvil respecto al plano de la plataforma [7], en este trabajo ha sido colocada sujeta a una estructura que permite mantener a la cámara paralela a la plataforma y obtener una señal de realimentación más confiable y sin errores como se explica en la sección II.

El sistema Bola-Plataforma implementado tiene dos grados de libertad y debido a las características altamente no lineales de la planta se propone el diseño de un controlador PID con el fin de estabilizar la bola en la plataforma y adicionalmente realizar el seguimiento de caminos de una esfera.

El presente trabajo está dividido como se manifiesta a continuación: En la sección II se detalla la implementación física del sistema y el proceso de visión artificial, en la sección III se describe el modelo dinámico del sistema, en la sección IV se detalla la implementación del controlador PID, en la sección V se muestran los resultados obtenidos por simulación, en la sección VI se muestran los resultados obtenidos mediante pruebas físicas tanto para el control de posición, como para el seguimiento de camino y finalmente en el capítulo VIII se presentan las conclusiones obtenidas del proyecto.

II. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA MECÁNICO Y EL PROCESO DE VISIÓN ARTIFICIAL

A. Implementación del sistema mecánico

El sistema está compuesto de una plataforma apoyada sobre un eje central que funciona como pivote para permitir el movimiento angular del plano de la plataforma. Además, al tener dos grados de libertad, se compone de dos servomotores sujetos a una base, los cuales, mediante unas extensiones metálicas transmiten el movimiento angular a la plataforma, permitiendo así su movimiento en los ejes Pitch y Roll.

Los servomotores mueven a la plataforma, generando el movimiento de la esfera tanto para el eje X como para el eje Y de manera independiente. Por tal razón, una cámara fija presentaría errores en la medida de la posición, pues no existe compensación cuando la plataforma no está paralela a la cámara y el plano capturado tiene una inclinación. Por esta razón, para obtener la realimentación de la posición de la bola, libre de error en la medida, se dispuso la cámara montada en una estructura que la mantiene siempre paralela a la plataforma y con un plano de visión fijo. En la Fig. 1 se

muestra una representación de la planta experimental utilizada para realizar las pruebas para el presente trabajo.

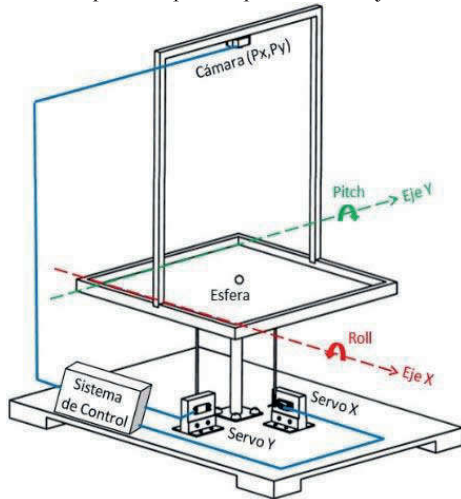


Fig. 1. Módulo de pruebas – Sistema Bola-Plataforma

La cámara de video utilizada es la Logitech C615 que tiene una resolución máxima de video de 1920x1080 y una velocidad de muestreo de 30 fotogramas por segundo (fps), siendo este último valor el más importante ya que determina la velocidad a la que se ejecutará el lazo de control.

En la Tabla 1 se presentan las principales dimensiones y características físicas de la planta.

TABLA 1. CARACTERÍSTICAS DE LA PLATAFORMA

Característica	Descripción
Dimensiones de la plataforma	Largo : 60 cm
	Ancho: 60 cm
	Espesor: 9 mm
Material (Soporte de la cámara)	Aluminio
Material (Plataforma)	Madera
Masa total (plataforma + esfera + soporte de la cámara)	6 kg

Los servomotores han sido determinados considerando la relación entre la masa total de la plataforma (6 kg) y la distancia del accionamiento al eje del servomotor (2.5 cm), con lo cual se calculó el torque requerido de 2.4 kg/cm. Por lo tanto, se decidió utilizar servomotores Hitec Hs-645MG que permiten un torque de 9.6 kg/cm a una velocidad de 0.20 s/60° (valores a 6V de alimentación).

El lazo de control se ejecuta de la siguiente manera:

Un computador recibe las imágenes del plano de la plataforma desde la cámara y mediante técnicas de visión artificial y un filtro de Kalman se obtiene las coordenadas x, y de la posición de la esfera en el plano de la plataforma. Esta señal de realimentación se compara con la referencia para obtener el error de posición en los ejes x, y. En base al error, dos controladores PID independientes (uno para cada eje) calculan la posición angular de los servomotores. Estas señales de control son del tipo PWM y se envían mediante módulos de comunicación serial a una placa Arduino, que es la encargada

de accionar los servomotores. La Fig. 2 muestra un esquema general del sistema de control utilizado.

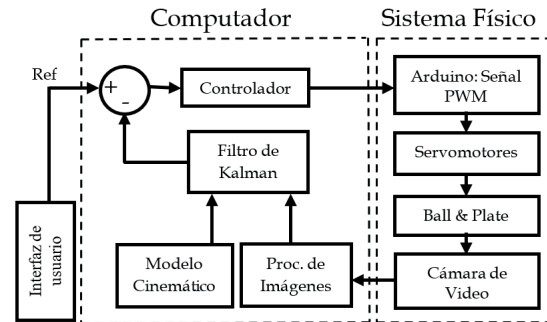


Fig. 2. Diagrama general del sistema

B. Visión Artificial

El procesamiento de las imágenes y la obtención de la posición de la esfera está implementado de tal manera que el tiempo de procesamiento del lazo de control sea lo más corto posible, permitiendo una adecuada estabilización de la plataforma. Para esto, se han aprovechado las características de la cámara como son el brillo, contraste, región de interés, y además se construyó el sistema de tal manera que exista un gran contraste entre el plano de la plataforma (blanco) y la esfera (negro) lo cual facilita la implementación de los algoritmos de visión artificial. La cámara está configurada para limitar su observación

La imagen inicial recibida por la cámara es del tipo RGB y está limitada a 460x460 píxeles que corresponden al plano de la plataforma. En primera instancia, esta imagen es transformada a escala de grises para luego ser binarizada e invertida. En base al cambio de valores en los píxeles adyacentes a la esfera se reconoce el centroide de la misma. La Fig. 3 muestra los resultados de este análisis y la obtención de las coordenadas del centro de la esfera en el plano.

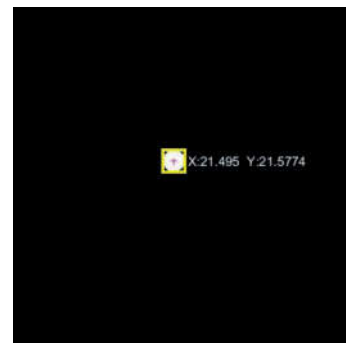


Fig. 3. Resultado del algoritmo de visión artificial (coordenadas del centro de la esfera).

Con el objetivo de mejorar el seguimiento de la esfera se ha implementado un filtro de Kalman [8] [9]. Esta necesidad surge para disminuir el ruido en las imágenes pues la cámara está montada en la plataforma y los movimientos agresivos provocan vibración. Para implementar el filtro de Kalman se usa la señal de la cámara y el modelo de un cuerpo con movimiento rectilíneo uniformemente variado (MRUV) sobre

un plano X, Y. La Fig. 4 muestra el efecto del Filtro de Kalman cuando se somete a movimiento brusco de la plataforma.

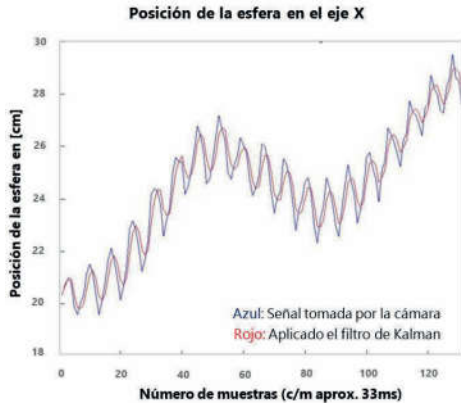


Fig. 4. Posición de la esfera utilizando el Filtro de Kalman.

III. MODELO DINÁMICO DEL SISTEMA

A. Obtención del modelo

La obtención del modelo dinámico del sistema es propuesta por [1][2]. Esta propuesta utiliza la ecuación de Euler-Lagrange, donde el Lagrangiano se obtiene de la diferencia de la energía cinética y potencial del sistema. En la Fig. 5 y la Tabla 2 se muestra la representación de las principales variables utilizadas.

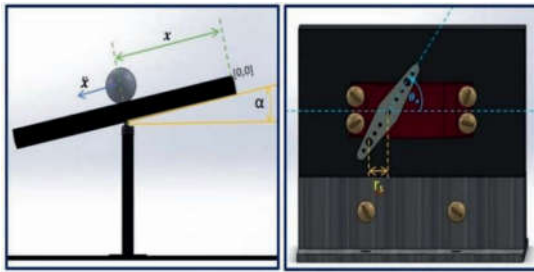


Fig. 5. Izquierda: Variables de movimiento de la esfera en la plataforma. Derecha: Variables del movimiento angular del asa de los servomotores.

TABLA 2. VARIABLES DEL SISTEMA BOLA-PLATAFORMA [1]

Variables del Sistema Bola-Plataforma	
Símbolo	Descripción
g	Gravedad
m_e	Masa de la esfera
r_e	Radio de la esfera
I_e	Momento de inercia de la esfera
x	Desplazamiento de la esfera en el eje X
\ddot{x}	Aceleración de la esfera en el eje X
θ_x	Ángulo del asa del servomotor en el eje X
α	Ángulo de inclinación de la plataforma en el eje X
$\dot{\alpha}$	Velocidad angular de la plataforma en el eje X
y	Desplazamiento de la esfera en el eje Y
\ddot{y}	Aceleración de la esfera en el eje Y
θ_y	Ángulo del asa del servomotor en el eje Y
β	Ángulo de inclinación de la plataforma en el eje Y
$\dot{\beta}$	Ángulo de inclinación de la plataforma en el eje Y

Las ecuaciones resultantes del modelo son para el eje X y Y, (1) y (2) respectivamente.

$$\left(m_e + \frac{I_e}{r_e^2}\right)\ddot{x} - m_e x \alpha^2 - m_e y \dot{\alpha} \dot{\beta} + m_e g \sin(\alpha) = 0 \quad (1)$$

$$\left(m_e + \frac{I_e}{r_e^2}\right)\ddot{y} - m_e y \beta^2 - m_e x \dot{\alpha} \dot{\beta} + m_e g \sin(\beta) = 0 \quad (2)$$

Reemplazando el momento de inercia de una esfera sólida respecto a su eje (3), se obtienen las ecuaciones (4) y (5) que describe el movimiento de la esfera en el eje X y Y respectivamente.

$$I_e = \frac{2}{5} m_e r_e^2 \quad (3)$$

$$\frac{7}{5} \ddot{x} - x \alpha^2 - y \dot{\alpha} \dot{\beta} + g \sin(\alpha) = 0 \quad (4)$$

$$\frac{7}{5} \ddot{y} - y \beta^2 - x \dot{\alpha} \dot{\beta} + g \sin(\beta) = 0 \quad (5)$$

Este modelo se puede reducir para simplificar la función de transferencia final. Considerando que el ángulo de inclinación de la plataforma es pequeño y que el movimiento de la plataforma es lento, se puede decir que $\dot{\alpha} \cong 0$, $\dot{\beta} \cong 0$. Por lo tanto, las ecuaciones (4) y (5) se reescriben como (6) y (7).

$$\ddot{x} = -\frac{5}{7} g \sin(\alpha) \quad (6)$$

$$\ddot{y} = -\frac{5}{7} g \sin(\beta) \quad (7)$$

Mediante las Series de Taylor se linealiza las ecuaciones (6) y (7) en el punto $\alpha=0$ y $\beta=0$ que es cuando la plataforma está en posición horizontal y mantiene a la esfera en equilibrio. Además, considerando a la gravedad $g = -980 \text{ cm/s}^2$, resultan las ecuaciones (8) y (9).

$$\ddot{x} = 700 \alpha \quad (8)$$

$$\ddot{y} = 700 \beta \quad (9)$$

Esta ecuación relaciona la aceleración de la esfera ante un cambio en el ángulo de la plataforma, sin embargo, la acción de control se va a realizar en los servomotores, por tanto, se debe relacionar al ángulo de la plataforma con el ángulo del servomotor, que en la planta construida es de 1/10. Las ecuaciones (10) y (11) por tanto, relacionan la aceleración de la esfera con el ángulo de inclinación del asa del servomotor.

$$\ddot{x} = 70 \theta_x \quad (10)$$

$$\ddot{y} = 70 \theta_y \quad (11)$$

Las funciones de transferencia en el dominio de la variable compleja s, considerando condiciones iniciales nulas, son las siguientes:

$$\frac{X(s)}{\theta_x(s)} = \frac{70}{s^2} \quad (12)$$

$$\frac{Y(s)}{\theta_y(s)} = \frac{70}{s^2} \quad (13)$$

Donde $X(s)$ y $Y(s)$ son las posiciones en cada eje de la esfera en la plataforma, en centímetros y, $\theta_x(s)$ y $\theta_y(s)$ son los ángulos de los servomotores en grados.

IV. IMPLEMENTACIÓN DEL CONTROLADOR

El sistema se puede entender como dos sistemas aislados e independientes, respectivamente para el eje X como para el eje Y. Los controladores implementados son de tipo PID ya que al ser este un sistema de segundo orden, es necesario corregir tanto la respuesta en estado transitorio como en estado estable para lograr una adecuada estabilización de la bola y realizar el seguimiento de camino. La ecuación matemática del controlador PID es:

$$u(t) = k_p e(t) + k_p T_d \frac{de(t)}{dt} + \frac{k_p}{T_i} \int_0^t e(t) dt \quad (14)$$

donde: $k_p T_d = kd$ y $\frac{k_p}{T_i} = ki$

Siendo k_p , k_i y k_d las constantes proporcional, integral y derivativa respectivamente. Así, la función de transferencia del controlador PID está representada como:

$$C(s) = \frac{U(s)}{E(s)} = K_p + \frac{K_i}{s} + K_d s \quad (15)$$

Las especificaciones para el diseño del PID son las siguientes:

- $Máximosobrepico \leq 1\%$
- $Tiempodeestablecimiento \leq 0.04 s$
- $Errordeposiciónenestadoestable = 0$

El controlador ha sido calibrado mediante un algoritmo iterativo basado en el método heurístico, es decir, es un algoritmo computacional sugerido por [10], que toma valores de un rango previamente definido para las constantes del controlador y determina los valores que generan el comportamiento deseado tanto para el régimen transitorio como para el régimen permanente en la respuesta del sistema. Por tanto, el controlador PID obtenido tiene los siguientes valores de las constantes proporcional, integral y derivativo.

$$K_p=1 \ ; \ K_i=1 \ ; \ K_d=1.5$$

Este algoritmo se implementó en Simulink de Matlab para motivos de simulación. El esquema de la planta y el controlador se muestran en la Fig. 6.

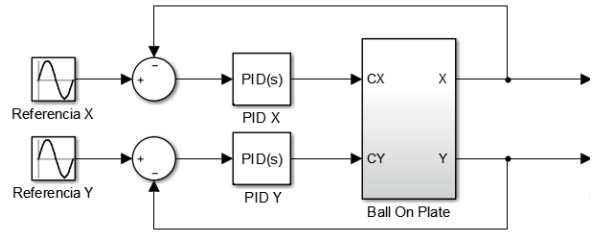


Fig. 6. Diagrama del la planta con el controlador [1].

V. RESULTADOS DE LA SIMULACIÓN

Mediante simulación, utilizando el modelo completo del sistema (4), (5) y el controlador mencionado en la sección IV, se obtuvieron algunos resultados para el control de posición (Fig. 7 y 8) y para seguimiento de un camino en forma de círculo (Fig. 9 y 10). En estas figuras, de color rojo se muestra la señal de referencia, de color verde el seguimiento de la esfera y de color azul la señal de control. En las Fig. 7 y 9 se muestra el camino de la esfera en el plano y en las Fig. 8 y 10 se muestra en la parte superior la respuesta en el eje X y en la parte inferior, la respuesta en el eje Y.

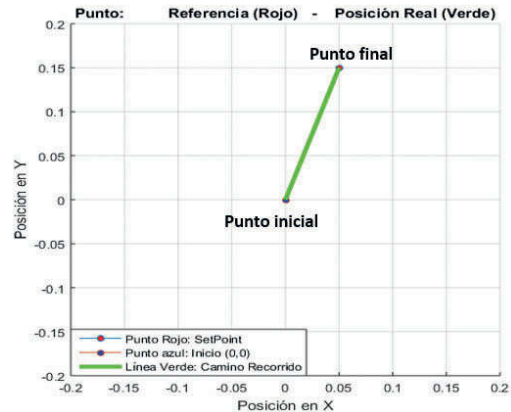


Fig. 7. Simulación – Referencia: Puntos

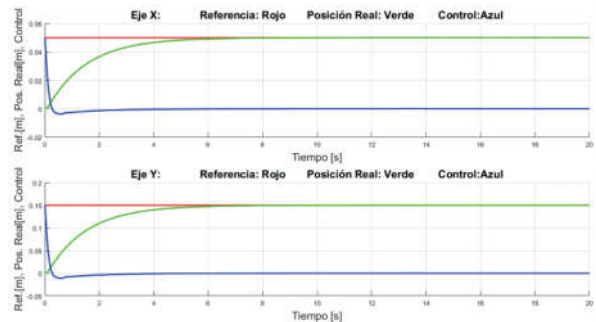


Fig. 8. Simulación: Puntos - Posición, Control vs Tiempo

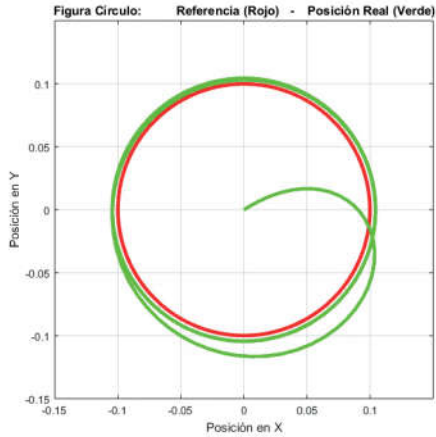


Fig. 9. Simulación – Referencia: Círculo

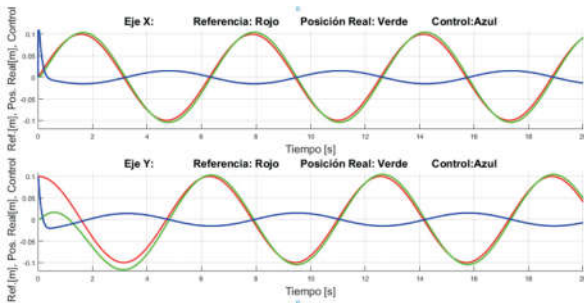


Fig. 10. Simulación: Círculo - Posición, Control vs Tiempo

VI. RESULTADOS DE LA IMPLEMENTACIÓN

En las Fig. 11 y 12 se muestra la respuesta del sistema ante una entrada de referencia de 29.2 cm para el eje x y 27.2 cm para el eje y. De color rojo se muestra la referencia y de color verde, el camino seguido por la esfera.



Fig. 11. Posición de la esfera en el eje X



Fig. 12. Posición de la esfera en el eje Y

Los resultados que se muestran en las Figs. 13, 14, 15 y 16 corresponden al seguimiento de diferentes caminos de la esfera. Las gráficas de las Fig. 13 y 14 muestran los resultados del seguimiento para un camino con forma de círculo de radio 11 cm. La Fig. 13 muestra el movimiento realizado en el plano X,Y y la Fig. 14 muestra el movimiento de la bola en los ejes X e Y respecto al tiempo. De color rojo se muestra la referencia y de color verde, el camino descrito por la esfera. Se muestra además la evolución del error cuando la esfera parte del reposo y cómo esta se incorpora al camino de referencia. La marca de color azul indica la coordenada inicial de la esfera.

- Círculo

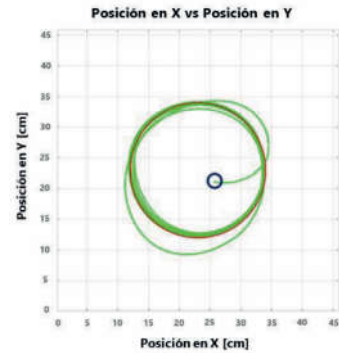


Fig. 13. Círculo: Seguimiento en el plano XY – Rojo: Referencia, Verde: Posición medida





Fig. 14. Círculo: Seguimiento de la señal de referencia – Rojo: Referencia, Verde: Posición medida

De forma análoga se muestran las Fig 15 y 16, pero esta vez se toma como referencia un camino cuadrado de radio circunscrito 15 cm. Se presentan los últimos resultados obtenidos una vez que la esfera ingresa al camino.

- Cuadrado

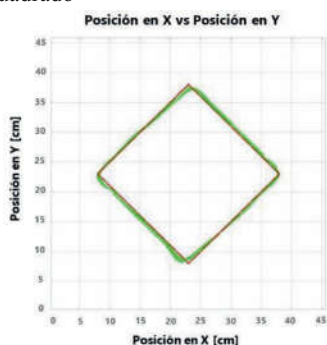


Fig. 15. Cuadrado: Seguimiento en el plano XY – Rojo: Referencia, Verde: Posición medida

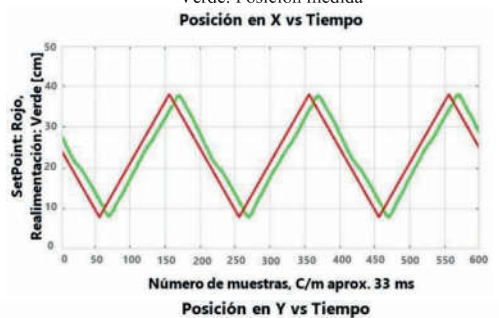


Fig. 16. Cuadrado: Seguimiento de la señal de referencia – Rojo: Referencia, Verde: Posición medida

Haciendo una comparativa entre los resultados de simulación y los obtenidos por experimentación, se puede

observar que, para el seguimiento de caminos en simulación, no existe desfase entre la señal de referencia y la de la posición de la esfera. Esto se observa claramente en la Fig. 10 donde las dos señales están superpuestas. Por otro lado, en la parte experimental, existe un desfase entre la referencia y la señal medida por la cámara (Fig. 14 y 16). Como se observa en las Fig. 11 y 12 existe un tiempo muerto de aproximadamente 400 ms hasta que la esfera empieza a moverse. Este tiempo muerto es el resultado de la suma de dos factores, el primero es el tiempo de respuesta de los servomotores desde que reciben la señal del controlador y el instante en que llegan a la posición angular deseada y el segundo tiempo que causa el retardo está relacionado con el retardo de transmisión de movimiento a la plataforma debido a la construcción del sistema mecánico. Sin embargo, como el objetivo del proyecto es realizar el seguimiento de caminos, más no de trayectorias parametrizadas en el tiempo, la función del controlador es, por tanto, permitir a la esfera describir de la mejor manera el camino dado, sin considerar el tiempo en que lo haga.

El error cuadrático medio (Ecuación 16) es el método usado para comparar el camino descrito por la esfera, respecto al camino de referencia. Los valores obtenidos se muestran en la Tabla 3.

$$ECM = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n (Referencia_i - Realimentación_i)^2 \quad (16)$$

TABLA 3. ERROR CUADRÁTICO MEDIO DE CADA CAMINO

Camino	Error cuadrático medio	
	Eje X	Eje Y
Cuadrado	0.32	0.20
Círculo	0.13	0.08

El error entre el camino de referencia y el camino descrito por la esfera no superan los 0.32 cm para el eje X y 0.20 cm para el eje Y. Este resultado se observa de forma gráfica en las Fig. 13 y 15 en las que los dos caminos están superpuestos.

VII. CONCLUSIONES

La construcción del sistema utilizando la cámara en paralelo a la plataforma permite eliminar errores en la medida, además que facilita y simplifica el procesamiento de las imágenes, lo que aumenta la velocidad del lazo de control, facilitando el seguimiento de caminos de mejor manera.

La cantidad de fotogramas por segundo que puede capturar la cámara, el tiempo de procesamiento de imágenes, el tiempo del lazo de control y el tiempo muerto de los servomotores, provocan un desfase entre la señal de referencia y la posición real de la esfera. A pesar de ello, se puede completar la forma del camino propuesto.

En el control de posición de la esfera en un punto dado, se obtuvieron errores de posición en estado estable no que superan el 3% y tiempos de establecimiento de máximo 1.4 segundos. En el seguimiento de caminos, el error cuadrático medio por cada eje no supera el valor de 3 milímetros. Por esta razón se puede concluir que los resultados obtenidos en el presente proyecto son satisfactorios.

Los mejores resultados se obtuvieron para figuras cuya señal de referencia es del tipo sinusoidal, como el círculo. Esto

se debe a que el seguimiento de una señal sinusoidal significa para los servomotores un movimiento amplio, continuo y con cambios de referencia suaves.

El controlador PID presenta grandes ventajas como su alta robustez y relativa facilidad en el diseño e implementación, además presenta una gran versatilidad en el momento de la calibración manual de sus constantes. Esto es posible ya que la señal de control generada por el PID es función básicamente de la señal de error entre la entrada y la salida, es decir, no considera los estados dinámicos de la planta que produjeron tal salida, esta ventaja ha sido la que más se ha explotado de tal manera de obtener resultados óptimos.

VIII. REFERENCIAS

- [1] M. Nokhbeh y D. Khashabi, "Modelling and Control of Ball-Plate System", Amirkabir University of Technology, Irán, 2011.
- [2] G. Andrews, C. Colasuonno y A. Herrmann, "Ball on Plate Balancing System", Rensselaer Polytechnic Institute, NY, USA, 2004.
- [3] M. Moarref, M. Saadat, G. Vossoughi, "Mechatronic Design and Position Control of a Novel Ball and Plate System", Conference on Control and Automation, France, 2008.
- [4] S. Galvan, M. Moreno, J. Rubio, F. Ortíz, W. Yu, C. Aguilar, "Dual PD Control Regulation with Nonlinear Compensation for a Ball and Plate System", México, 2014.
- [5] S. Mochizuki, H. Ichihara, "I-PD Controller Design based on Generalized KYP Lemma for Ball and Plate System", European Control Conference, Switzerland, 2013.
- [6] B. Appleton, R. Rijal, H. Khanh, F. Dooms, "Ball Balancing Project", Fontys University of Applied Sciences.
- [7] V. Hladký, P. Liscinský, "Control of Laboratory Model Ball and Plate", Slovak Republic, 2013.
- [8] G. Welch y G. Bishop, "An Introduction to the Kalman Filter, Dept. of Computer Science", University of North Carolina at Chapel Hill, USA, 2006.
- [9] Y. Bulut, D. Vines-Cavanaugh y D. Bernal, "Process and Measurement Noise Estimation for Kalman Filtering", Northeastern University at Boston, USA, 2010.
- [10] K. Ogata, "Ingeniería de control moderna", Quinta ed., Madrid, 2010.

IX. BIOGRAFÍAS



Angel Cedeño Nieto, nació en Manabí-Ecuador el 27 de diciembre de 1986. Realizó sus estudios primarios en la escuela fiscal mixta "8 de Noviembre" del cantón Paján, sus estudios secundarios los realizó en el Colegio Nacional Técnico Agropecuario "Paján" donde obtuvo el título de Bachiller con especialización en Químico-Biológicas, promoción 2005, sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional donde se graduó como Ingeniero en Electrónica y Control en el

2017.

Áreas de interés: Instrumentación Electrónica e Industrial, Robótica, Redes Industriales, Sistemas de Control y Automatización. (angel.cedeno@epn.edu.ec)



Marco Anthony Gordón Almeida, nació en Quito-Ecuador el 11 de noviembre de 1991. Realizó sus estudios secundarios en el Colegio Nacional Experimental Juan Pío Montúfar donde obtuvo el título de Bachiller con especialización en Físico-Matemático. Sus estudios superiores los realizó en la Escuela Politécnica Nacional donde se graduó como Ingeniero en Electrónica y Control en el 2017.

Áreas de interés: Robótica, Inteligencia Artificial, Procesamiento Digital de Señales, Control y Automatización Industrial.

(marco.gordon@epn.edu.ec)



Luis Alberto Morales Escobar, nació en Quito - Ecuador, el 14 de enero de 1985. Es Ingeniero en Electrónica y Control de la Escuela Politécnica Nacional (2010). En 2012, obtuvo el título de M.Sc. En Automática y Robótica, en la Universidad Politécnica de Catalunya, Barcelona- España, a través de la obtención de una de las becas ofertadas por la Senescyt en la "Convocatoria Abierta 2011". Su

principal campo de interés es la Visión por Computador, Sistemas Robóticos y Procesamiento de Señales Biomédicas. M.Sc. Luis Morales es actualmente profesor titular de la Escuela Politécnica Nacional de Ecuador y es jefe del Laboratorio de Instrumentación Electrónica de la Facultad de Ingeniería Eléctrica y Electrónica de la EPN. (luis.moralesec@epn.edu.ec)