

# Laboratorio 7: Control discreto en LabView de un polipasto.

Galvis, David. López, Daniel.

{u1802584,u1802530}@unimilitar.edu.co

Universidad Militar Nueva Granada

*Resumen---* Para esta práctica, se diseña un controlador digital utilizando la tarjeta de adquisición de national instruments DAQ, NI USB 6009. La planta a controlar será un sistema del control de una masa, utilizando un motor y se acopla a un sistema de polipasto. Se diseña un PID y luego se discretiza, se usan distintos métodos de discretización como Euler en adelanto y atraso, al igual que el método de Tustin se halla el tiempo de muestreo y las constantes para luego ser implementadas en un diagrama de LabView.

*Abstract---* For this practice, it is designed with a digital acquisition controller of national instruments DAQ, NI USB 6009. The plant to be controlled will be a control system of a mass, using a motor and coupling a hoist system. A PID is designed and then discrete, various methods of discretization are used as Euler in advance and delay, just as the method of Tustin is the sampling time and the constants and then executed in a diagram of LabView.

*Palabras clave---* Discretización, control discreto.

*Objetivo General---* Diseñar y construir un sistema que asegure la posición de una masa de un sistema con polipasto, mediante el uso de Labview.

*Objetivos específicos--*

\* Diseñar un sistema de polipasto que permita el ascenso y descenso de una masa, este debe tener como actuador un motor en DC.

\* Identificar el modelo matemático que representa el funcionamiento del prototipo.

\* Diseñar un PID discreto que asegure la posición de la masa.

\* Implementar el controlador en discreto mediante la utilización de tarjetas de adquisición (DAQ) y el uso de Labview.

## 1. INTRODUCCIÓN

### Marco teórico:

Dentro de los procesos de control, la mayoría de veces, la integración de ellos al mundo real se hace a través de sistemas digitales. El avance actual de sistemas de procesamiento de bajo costo, ha permitido tener casi en cualquier proceso un sistema de control discreto.

El avance en la miniaturización de los sistemas de procesamiento, la mejora de su velocidad en ejecutar instrucciones, permiten hoy en día la implementación de controles en la mayoría de sistemas que interactúan en nuestro entorno. Cuando se busca programar un control discreto en microcontroladores, computadores, PLC's, se debe proceder de un análisis e interpretación del comportamiento del sistema a controlar.

Para el planteamiento de la ecuación en diferencias (la que permite integrar el control discreto a un sistema de procesamiento), se puede partir de un diseño en continuo y aplicar alguna técnica de discretización para el control hallado, o discretizar el modelo del

sistema y diseñar en el mundo discreto el control.

Para el primer método, se sigue cualquiera de los pasos que se han tratado en las prácticas anteriores o teorías de control continuo conocidas. Con el control continuo cumpliendo los criterios de diseño, se procede a realizar su discretización y a partir de esta ecuación discreta (en  $Z$ ), se plantea la ecuación en diferencias. En este procedimiento, es deseable que el método que se use para la discretización, mantenga la mayor parte de las características temporales y frecuenciales.

Existen varias teorías que permiten encontrar la representación discreta. Una puede ser que  $s$  se transforma en  $\frac{1-z^{-1}}{t_m}$ , donde  $t_m$  es el tiempo de muestreo. Es importante para la anterior ecuación, seleccionar un buen tiempo de muestreo. En la literatura se encuentra que  $t_m$  está relacionado con la clase de sistema que se quiere controlar, con el tiempo de respuesta o su ancho de banda.

Por el segundo método, el primer paso es encontrar un modelo discreto del sistema y a partir de este, aplicar una de las muchas maneras que existen para calcular los coeficientes de un regulador discreto. El diseño de un regulador PID discreto, cuya ecuación está representada por  $\frac{q_0 + q_1 Z^{-1} + q_2 Z^{-2}}{1 - z^{-1}}$ , puede ser enfrentado por la técnica asignación de polos [1].

Sistemas de estabilización rápida, requieren sistemas de control de respuesta rápida y a su vez, exigen electrónica o actuadores mecánicos adecuados a esta dinámica. Dentro de la teoría necesaria para el diseño de este tipo de control, se tiene la adecuada selección del tiempo de muestreo  $t_m$ . La generación de la señal de control involucra varios pasos: se debe hacer la adquisición de la variable de salida (señal sensada), acondicionamiento o filtrado de ella, cálculo de la señal de control y su puesta al exterior (conversión de digital a

análogo). El driver o actuador es un elemento importante en la integración de la señal de control y el sistema.

### ¿Qué es la adquisición de datos?

La adquisición de datos (DAQ) es el proceso de medir con una PC un fenómeno eléctrico o físico como voltaje, corriente, temperatura, presión o sonido. Un sistema DAQ consiste de sensores, hardware de medidas DAQ y una PC con software programable. Comparados con los sistemas de medidas tradicionales, los sistemas DAQ basados en PC aprovechan la potencia del procesamiento, la productividad, la visualización y las habilidades de conectividad de las PCs estándares en la industria proporcionando una solución de medidas más potente, flexible y rentable. [2]



Figura 1: Tarjeta de adquisición DAQ

## 2. MATERIALES

- \* Bata blanca.
- \* Planta: Motor DC, Soporte, poleas, cuerda, masa, potenciómetro lineal.
- \* Control digital: Tarjeta de adquisición DAQ de National Instruments, Labview 2015.

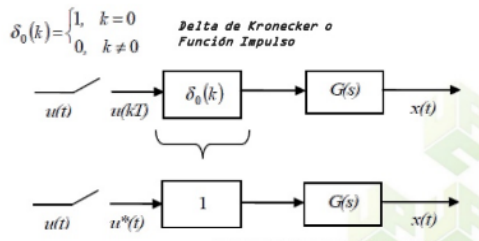
## 3. PROCEDIMIENTO

Solución del cuestionario:

¿Cuántos métodos de discretización se encuentran en la literatura? Dar ejemplo de cada uno de ellos (por lo menos 4), aplicado a

## sistemas reales.

-Discretización directa o respuesta invariante al impulso.



Discretizando, aplicamos la Transformada Z, y conociendo que  $Z[\delta_0(k)] = 1$ , se obtiene,

$$X(z) = [x(s)] = Z[\delta_0(k)] \cdot Z[G(s)] \cdot Z[U^*(s)] = 1 \cdot G(z) \cdot U(z)$$

Finalizando:  $G(z) = \frac{X(z)}{U(z)} = Z[G(s)]$

Tra. John Jaime Anaya Díaz

## Ejemplo:

- **Ejemplo:** Obtenga la función de transferencia impulso donde  $G(s)$  es:

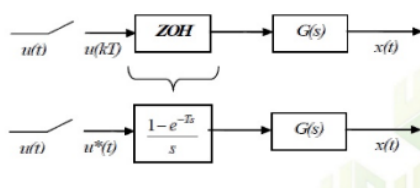
$$G(s) = \frac{1}{s+a}$$

- **Solución:** De la tabla de transformada se puede obtener directamente esta forma:

$$Z\left[\frac{1}{s+a}\right] = \frac{1}{1 - e^{-aT}z^{-1}}$$

Por lo tanto  $G(z) = \frac{1}{1 - e^{-aT}z^{-1}}$

-Retenedor de orden cero o respuesta invariante al escalón.



-Retenedor de primer orden

-Retenedor triangular o respuesta invariante a la rampa.

-Transformación por diferencias finitas hacia atrás. (Euler hacia atrás)

-Transformación por diferencias finitas hacia

adelante (Euler hacia adelante)

-Método trapezoidal, bilineal, tustin, o transformación z bilineal.

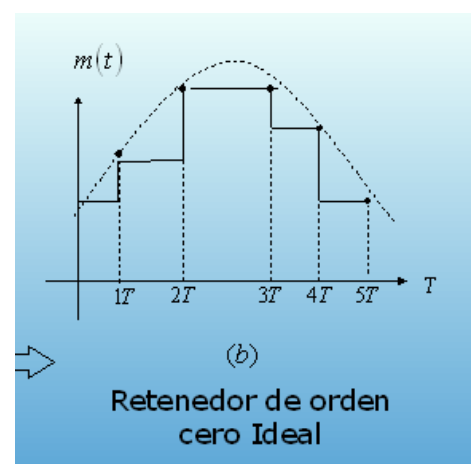
¿Qué es una ecuación en diferencias? ¿Cómo se programa en un sistema de procesamiento tipo tarjetas de adquisición o microcontroladores?

En una tarjeta de adquisición o en un microcontrolador se diseña un sistema de procesamiento de la siguiente manera:

Primero se define una referencia que será una variable dentro del programa del microcontrolador. La tarjeta debe tener como entrada el valor del sensor que mide la salida, para lograr realizar la realimentación, para este caso se usa una lectura analógica como un ADC o un DAC si se quiere, dependiendo de la aplicación. Y la salida que debe tener la tarjeta, deberá ser la señal de control que será capaz de controlar la planta con cualquiera de las tres constantes necesarias P,PI,PD p PID entre otras.

¿Qué es un retenedor de orden cero?

La función que cumple un retenedor es mantener la señal retenida hasta que llega un nuevo valor, el retenedor de orden cero es un retenedor ideal.



La F. de T. del retenedor de orden cero es:

$$H_0(s) = \frac{1 - e^{-sT}}{s}$$

## Práctica

Se tiene entonces que la función de transferencia de la planta del sistema con polipasto es la siguiente:

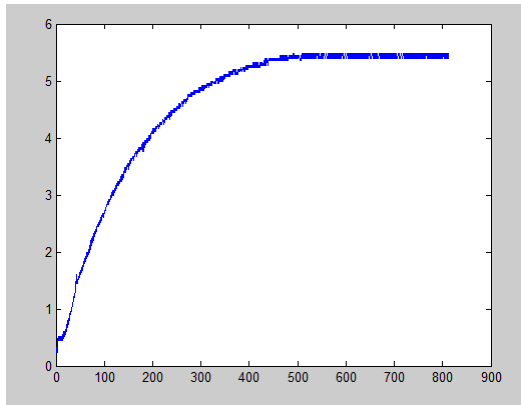


Figura 2: Respuesta de la planta.

Respuesta de la función de transferencia

Así se obtiene la graficación de la respuesta de los datos obtenidos por el archivo en excel del osciloscopio.

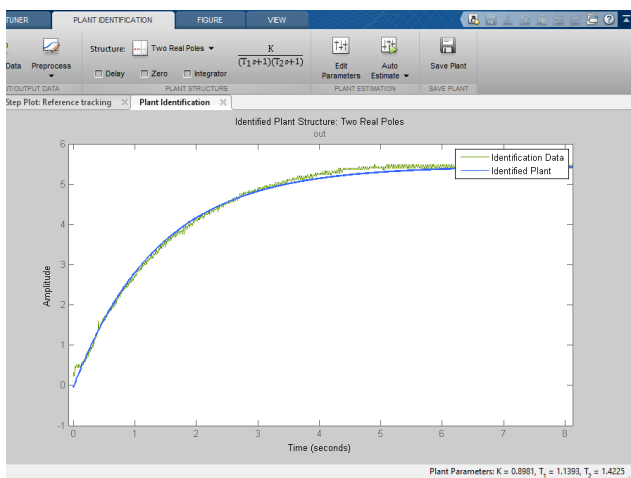


Figura 3: Aproximación del valor de la planta.

Fue obtenida utilizando la herramienta "identify new plant" de la herramienta del command window de Matlab "pidtool".

Aproxima el resultado obtenido del osciloscopio, a una función de transferencia de una planta que se comporte igual, para este caso

$$\text{Función de transf} = \frac{0.8981}{(1.1393s+1)(1.4225s+1)} =$$

$$\frac{0.5541}{s^2 + 1.5807s + 0.6170}$$

Para un  $t_s=5s$  y  $e_l=0.8 \rightarrow W_n=1.125$

$$W_d = 1.125\sqrt{1 - 0.8^2}$$

$$W_d = 0.675$$

$$tr = \frac{\pi - \cos^{-1}(0.8)}{0.675}$$

$$tr = 3.7$$

Y las constantes del PID

$$k_p = 23.8$$

$$k_i = 14.44$$

$$k_d = 14.47$$

Euler hacia atrás

$$\begin{aligned} tf(z) &= \frac{0.5541}{\left(\frac{1-z^{-1}}{tm}\right)^2 + 1.5807\left(\frac{1-z^{-1}}{tm}\right) + 0.617} \\ &= \frac{0.5541*tm^2}{1-2z^{-1}+z^{-2} + 1.5807tm - 1.5807tmz^{-1} + 0.617tm^2} \\ &= \frac{0.5541*tm^2}{z^{-2} + (-2+1.5807tm)z^{-1} + 1.5807tm + 1 + 0.617tm^2} \end{aligned}$$

$$PID = \frac{Kps + Ki + Kds^2}{s}$$

$$PID = \frac{Kp\left(\frac{1-z^{-1}}{tm}\right) + Ki + Kd\left(\frac{1-2z^{-1}+z^{-2}}{tm^2}\right)}{\frac{1-z^{-1}}{tm}} * \frac{tm^2}{tm^2}$$

$$PID = \frac{Kp*tm(1-z^{-1}) + Ki*tm^2 + Kd(1-2z^{-1}+z^{-2})}{tm - tmz^{-1}}$$

$$= \frac{(Kp*tm + Ki*tm^2 + Kd) + (-Kp*tm - 2Kd)z^{-1} + (Kd)z^{-2}}{tm - tmz^{-1}}$$

$$= \frac{(Kp + Ki*tm + \frac{Kd}{tm}) + (-Kp - 2\frac{Kd}{tm})z^{-1} + (\frac{Kd}{tm})z^{-2}}{1 - z^{-1}}$$

$$* \text{Para un } tm = \frac{tr}{30} = 0.123s$$

$$q_0 = 143.22$$

$$q_1 = -259.1$$

$$q2=117.64$$

$$* \text{Para un } tm = \frac{tr}{10} = 0.37s$$

$$q0=68.25$$

$$q1=-102.02$$

$$q2=39.12$$

$$* \text{Para un } tm = \frac{tr}{50} = 0.074s$$

$$q0=220.41$$

$$q1= -414.88$$

$$q2=195.54$$

Se simulan los resultados en MATLAB a partir del diagrama en bloques que se muestra a continuación.

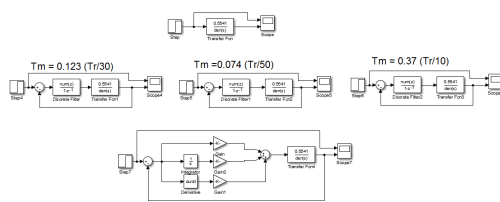


Figura 4: Diagrama simulado en Matlab funcionando.

Como se observa se tienen 5 diagramas distintos, la planta en continuo, el diseño del PID en continuo, y su equivalente en discreto implementando 3 tiempos de muestreo distintos.

Ahora se realiza la ecuación recursiva en el diagrama de bloques de LabView, como se muestra en las siguientes figuras.

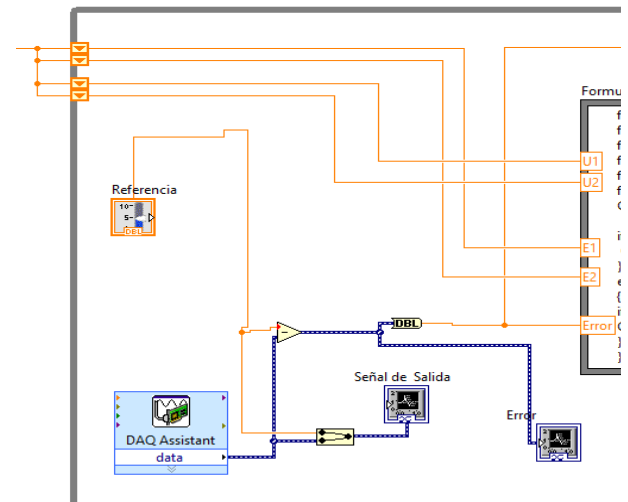


Figura 5: Diagrama de bloques de LabView, parte izquierda

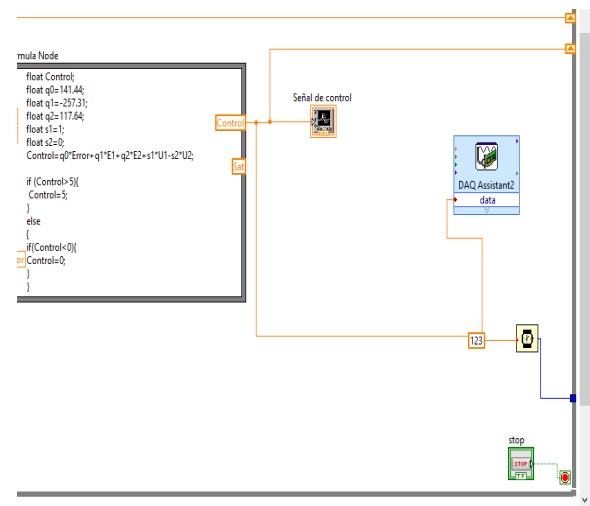


Figura 6: Diagrama de bloques de LabView, parte derecha

Como se observa, de entrada se tiene los valores analógicos obtenidos por la DAQ (Potenciómetro), y a partir del valor de referencia dado por el slider se da el valor del error que entra al nodo de formula donde, dadas las constantes previamente calculadas se determina el valor del control; como este es posible de llegar a valores mayores a 5 voltios, se satura utilizando un condicional, esto se da debido a que el hardware no permite valores mayores de salida.

## 4. RESULTADOS

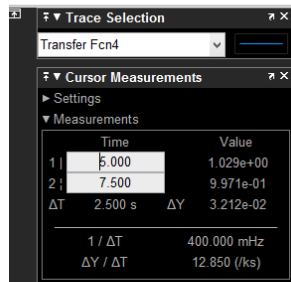
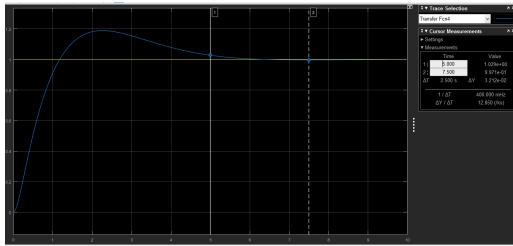


Figura 7: Respuesta del PID continuo

El diseño del PID en continuo se muestra correcto dado que se estabiliza en el tiempo escogido y con un sobrepico correspondiente al factor de amortiguamiento asignado

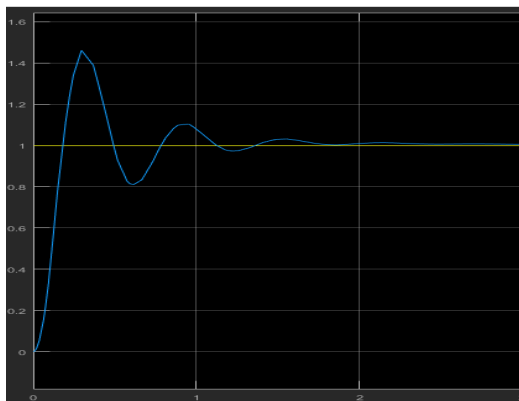


Figura 8: Control PID discretizado con  $T_M$  de 0.123s

Para el control **discretizado**, mediante el método de Euler en atraso y un tiempo de muestreo de 0.123s se ve que el sistema presenta un error en estado estable de cero, aunque muestra mayor oscilación en el transitorio

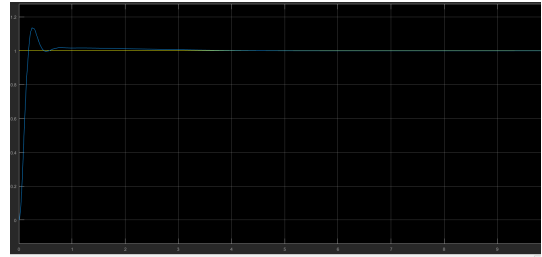


Figura 9: Control PID discretizado con  $T_M$  de 0.074s

Ahora implementando un tiempo de muestreo de 0.074 s se observa que el sistema responde de forma más rápida lo que se esperaría ver reflejado en una acción de control mayor respectivamente.

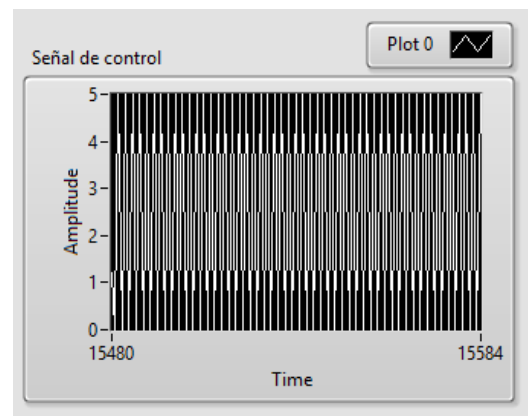


Figura 10: Señal de control del sistema

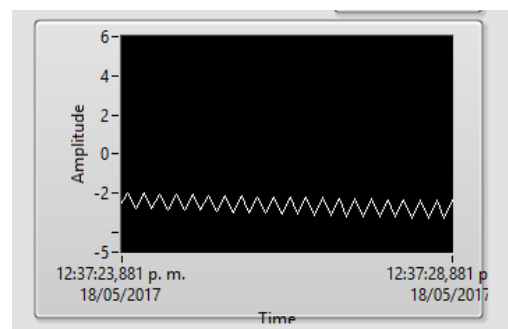
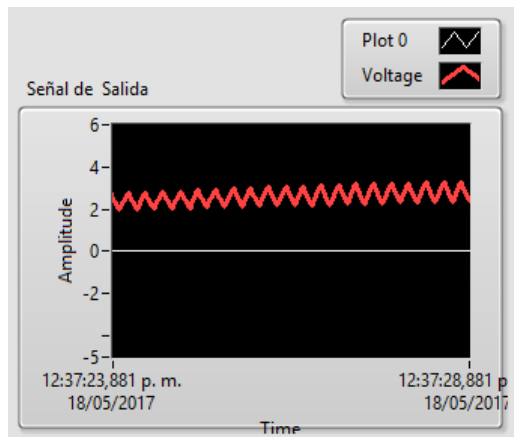


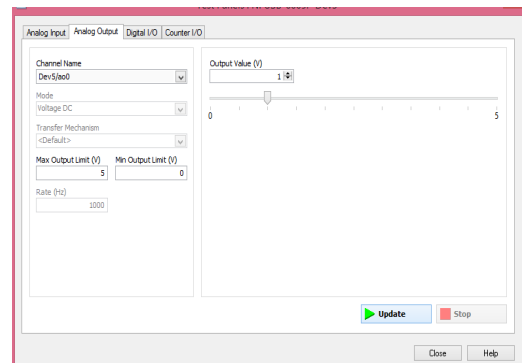
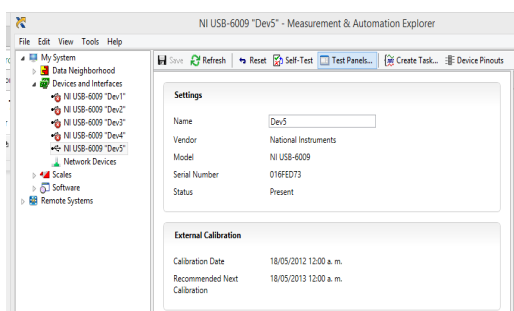
Figura 11: Señal de error del sistema



**Figura 12:** Señal de salida del sistema, oscilando en 2.4v, la referencia es de 2.2v.

El sistema con el control diseñado integrado presenta una pequeña diferencia con el modelo simulado, la salida del sistema completo se mantiene oscilando en un valor promedio de 2.4v para una entrada que es de 2.2v el cual es la referencia; se intentó corregir implementando un control con un control integral mayor, realizado en discreto con lo que cambian las constantes y la ecuación recursiva, el sistema se control en el punto donde se quiere pero se obtiene una respuesta inestable, con un error del 10%

**NOTA:** Al realizar esto último, se hizo uso del *Measurement & Automation Explorer* por donde se “forzaban” valores de voltaje en el pin correspondiente a la señal de control. (Ver figura 14). Con el sistema físico sin modificar se obtuvo una respuesta adecuada.



**Figura 13-14:** Measurement & Automation Explorer

Después de esto, se observó la señal de control y se realiza si bien se encuentra limitada en.

## 5. CONCLUSIONES

- Añadiendo la otra polea móvil al sistema, se logra tener una reducción de la masa controlada, haciendo que el motor no ejerza el torque ejercido como en la planta pasada.
- En Euler atraso, el control simulado en Matlab se comporta mejor que con los otros métodos de discretización.
- Al momento de la discretización del controlador PID, se presentan diferencias entre las respuestas del sistema, lo que respecta a tiempos de establecimiento, oscilaciones y sobrepicos.
- La implementación del software LabView, junto con la DAQ, se muestran muy útiles al momento de obtener los valores de respuesta del sistema para su debido procesamiento; esto cada intervalo de tiempo, o sea, se muestra muy útil para generar un sistema de control en **DISCRETO**.

## 6. REFERENCIAS

[1] K. Ogata, Sistemas de control en tiempo discreto, Prentice hall International, 1996.

[2] N. Instruments, «National Instruments,» [En línea]. Available: <http://www.ni.com/data-acquisition/what-is/esa/>.

[Último acceso: 15 06 2016].

[3] Discretización de funciones de transferencia. [En línea] .Disponible en: <https://es.slideshare.net/davinso1/unidad-3-c2-control2-1>