

Laboratorio 3: Diseño e Implementación de Controladores Discretos

1st Andrés Blandón Quiroz

Universidad EIA

Medellin, Colombia

andybq98@hotmail.com

2nd Julián Andrés Marmolejo Sánchez

Universidad EIA

Medellin, Colombia

jamas.99@live.com

3rd William Yesid Palencia Arismendy

Universidad EIA

Medellin, Colombia

Yespa2617@gmail.com

4th Daniel Andrés Vahos Mendoza

Universidad EIA

Medellin, Colombia

daniel.vame@gmail.com

Resumen—En este laboratorio se utiliza una nueva función de transferencia de la planta, de acuerdo a una identificación de un escalón. Por medio de esta, se realiza diferentes controladores, por RST, Dead Beat, IMC y PID en discreto. Cada uno de ellos es correctamente simulado y adecuado a la planta real.

Index Terms—RST, IMC, Dead Beat, PID, Controlador, Planta, Nivel, Tiempo

I. INTRODUCCIÓN

En la industria, una de las principales necesidades en la producción es la correcta automatización de los procesos y el correcto control de las plantas para obtener los resultados o desempeños deseados por el usuario, y así, mejorar los procesos y optimizarlos de una manera eficiente. Para esto se necesita del conocimiento de los diferentes métodos de implementación de controladores en discreto, que serían controlados directamente desde un computador con unos desempeños deseados para generar resultados mucho más óptimos a los que se encuentran sin dichos controladores. La diferencia y la implementación de todos estos controladores en discreto lleva a que se puedan establecer diferencias y obtener destreza para el correcto discernimiento de cuál es mejor implementar para las situaciones específicas en el mundo industrial. Teniendo esto, en el laboratorio se realiza la implementación de todos los controladores en discreto aprendidos durante las clases de control digital para con los resultados sacar conclusiones y adquirir conocimiento no solo en la parte académica y teórica de estos, sino también la parte experimental al ser manipulados e implementados en su totalidad en la planta de Nivel Gunt localizada en el laboratorio de Automatización de la Universidad EIA.

Cabe aclarar que en este informe únicamente se explica el controlador Dead Beat pues los demás controladores ya fueron correctamente explicados y demostrados experimentalmente y en simulación en el laboratorio de Automatización ante el docente.

II. CONTROLADOR DEAD BEAT

El controlador Dead Beat tiene dos formas de hacerse. Una de ellas es con el algoritmo a Un Paso, o de Orden Normal. Este tipo de controlador busca que el sistema no tenga oscilaciones, por lo que una vez teniendo analizada la planta lo que hace es por medio de un integrador realizar el mismo comportamiento ante una entrada escalón pero con un tiempo después a su entrada, es decir, con un leve retardo.

II-A. Controlador Dead Beat 1 Paso

El algoritmo a un Paso, consiste en un integrador para garantizar un error nulo en estado estacionario y la anulación de la planta con el objetivo de eliminar polos inestables. A continuación se muestra la ecuación general para dicho controlador Dead Beat a un paso.

$$D(z) = \frac{1}{G_p(z) \times (z - 1)}$$

Teniendo la función de transferencia de la planta de segundo orden.

$$\frac{0,0672972}{s(3,716022s + 1)}$$

Se busca tener un período de muestreo que sea la mitad del tiempo de establecimiento deseado, pues como se trata de un controlador Dead Beat, este después de dos períodos de muestreos buscará estabilizarse por completo.

De acuerdo a esto, se opta por un período de muestreo $T_s = 5$, buscando un $T_{ss} = 10$.

La discretización de la planta por método de retenedor de orden cero es la siguiente.

$$\frac{0,1515z + 0,09733}{z^2 - 1,26z + 0,2604}$$

El controlador por ende, consiste en el integrador multiplicado por la anulación de la planta como se puede ver a continuación.

$$C(z) = \frac{1}{\frac{0,1515z+0,09733}{z^2-1,26z+0,2604} \times (z-1)}$$

Haciendo álgebra se tiene que

$$C(z) = \frac{z^2 - 1,26z + 0,2604}{(0,1515z + 0,09733) \times (z-1)}$$

$$C(z) = \frac{z^2 - 1,26z + 0,2604}{0,1515z^2 - 0,05419z - 0,09733}$$

Teniendo ya el controlador, se busca hallar el sistema completo realimentado, el cual consiste del controlador y la planta con una realimentación unitaria.

$$Sisc(z) = \frac{C(z) \times G(z)}{1 + C(z) \times G(z)}$$

Reemplazando dichas funciones se tiene que:

$$Sisc(z) = \frac{0,1515z^3 - 0,09365z^2 - 0,08322z + 0,02535}{0,1515z^4 - 0,09365z^3 - 0,08322z^2 + 0,02535z}$$

Como se puede evidenciar es un sistema causal ya que el orden de su denominador es mayor al orden de su numerador. A continuación se realiza la simulación a una entrada escalón, la cual se puede evidenciar en la figura 1.

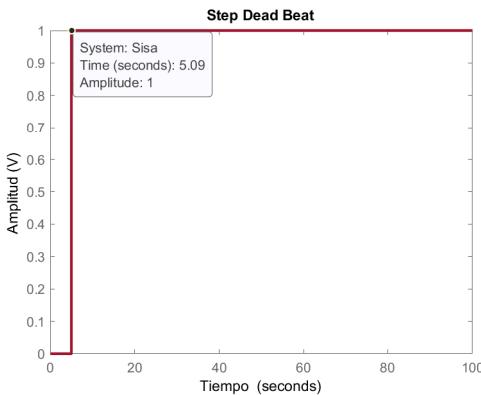


Figura 1. Respuesta a entrada escalón Dead Beat 1 paso

Esta cuenta con un tiempo de establecimiento de 5.09 segundos.

Sin embargo, es importante revisar el esfuerzo de control de este sistema, por lo que se muestra a continuación.

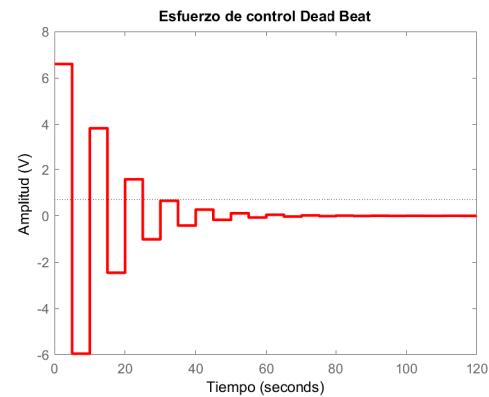


Figura 2. Esfuerzo de Control Dead Beat 1 paso

Como se puede ver en la figura 2 en el esfuerzo de control se genera un efecto timbre, algo completamente indeseado para el sistema pues puede incluso dañar el actuador.

Debido a esto, se procede encontrar lo que genera dicha efecto timbre.

$$Sisc(z) = \frac{(z-1)(z+0,6424)(z-0,2604)}{z(z-1)(z+0,6424)(z-0,2604)}$$

Analizando el sistema de esta forma, se puede evidenciar que al realizar la anulación de la planta en el controlador se generó un polo en el semiplano izquierdo, lo que causa el efecto timbre en el sistema. Para ello, se cambia dicho polo por un retardo quedando el sistema como el mostrado a continuación.

$$Sisc(z) = \frac{0,1515z^4 + 0,0009013z^3 - 0,1417z^2 - 0,02658z + 0,01582}{0,2461z^5 - 0,2466z^4 + 0,01784z^3 + 0,03465z^2 - 0,06775z + 0,01582}$$

A continuación, se puede ver el esfuerzo de control y se evidencia que cumple los rangos necesarios, aunque el esfuerzo no es tan bajo como uno deseara idealmente.

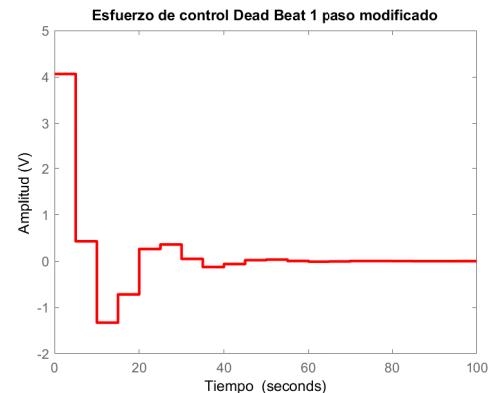


Figura 3. Esfuerzo de Control Dead Beat 1 paso modificado

Sin embargo, se realiza la entrada escalón y se encuentra que se dañan las especificaciones principales por las que se realiza dicho controlador, lo que es el tiempo de establecimiento, llevando a que se estabilice en el mismo tiempo inicial sin controlador, por lo que se concluye que este controlador Dead Beat por el método del Algoritmo de 1 paso no se puede realizar de manera adecuada.

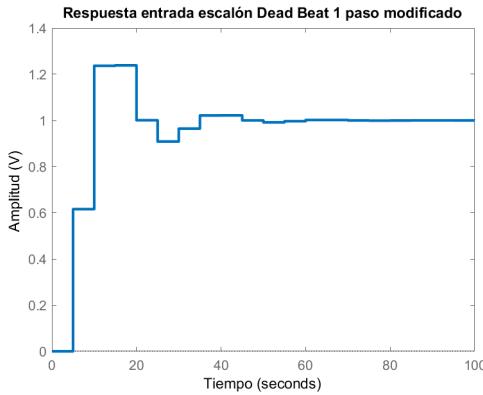


Figura 4. Respuesta entrada escalón dead beat 1 paso modificado

Más adelante, se procede a explicar el proceso del controlador por Orden Normal, en el que sí se evidencian resultados satisfactorios.

II-B. Controlador Dead Beat Orden Normal

El controlador Dead Beat por Orden normal, a pesar de ser más complejo tiene mayores posibilidades para regular el esfuerzo de control del sistema.

El período de muestreo de este sistema se eligió de 6 segundos.

Este período generó una función de transferencia de la planta discreta por el método de retenedor de orden cero como la siguiente.

$$G(z) = \frac{0,2035z + 0,12}{z^2 - 1,199z + 0,199}$$

Para este controlador se definió como q_0 ,

$$q_0 = \frac{1}{\sum b_1}$$

Teniendo en cuenta que b son los coeficientes del numerador de la planta.

$$G_p(z) = \frac{B(z^{-1})}{A(z^{-1})}$$

De acuerdo a la planta con la que se está trabajando, que es la misma expuesta anteriormente.

Se tienen los siguientes parámetros.

$$A(z^{-1}) = 1 - 1,199z^{-1} + 0,199z^{-2}$$

$$B(z^{-1}) = 0,2035z^{-1} + 0,12z^{-2}$$

$$q_0 = 3,0912$$

Según estos datos mostrados previamente se tiene que el controlador Dead Beat por orden normal es el siguiente.

$$D(z) = \frac{q_0 \times A(z^{-1})}{1 - q_0 \times B(z^{-1})}$$

$$D(z) = \frac{3,091z^2 - 3,706z + 0,6151}{z^2 - 0,6291z - 0,3709}$$

Una vez teniendo el controlador listo, se procede a realizar el sistema completo realimentado. Este consiste en el controlador $D(z)$ y la planta $G(z)$ con una realimentación unitaria.

$$Sisc(z) = \frac{D(z) \times G(z)}{1 + D(z) \times G(z)}$$

$$Sisc(z) = \frac{0,6289z^3 - 0,3832z^2 - 0,3195z + 0,07381}{z^4 - 1,199z^3 + 0,199z^2 + 4,93 \times 10^{-5}z + 2,697 \times 10^{-6}}$$

A continuación se muestra la respuesta ante una entrada escalón del sistema.

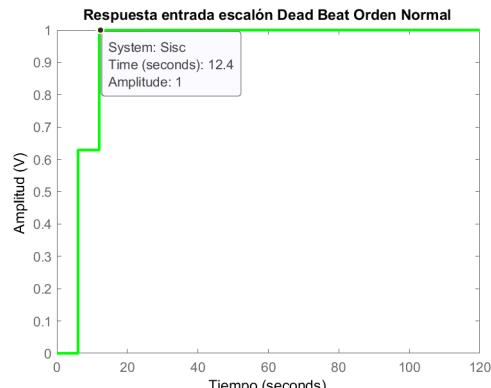


Figura 5. Respuesta entrada escalón dead beat orden normal

Como se puede evidenciar, se tiene un tiempo de establecimiento de 12.4 segundos, lo que quiere decir que es aproximadamente el doble del período de muestreo del sistema, algo que era relativamente esperado.

A continuación, se analiza el esfuerzo de control, para garantizar que sí cumpla con los rangos requeridos de operación para el actuador.

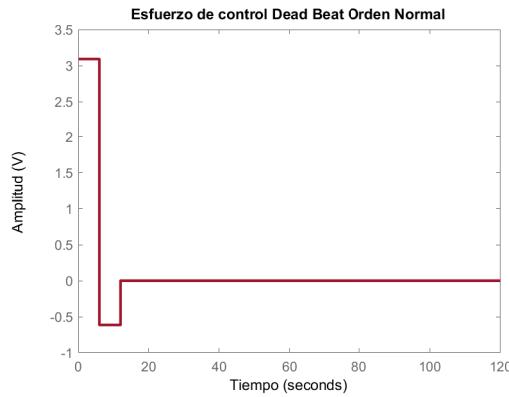


Figura 6. Esfuerzo de control dead beat orden normal

Como se puede evidenciar en la gráfica del esfuerzo de control, este cumple con los rangos de operación del actuador al ser menor que 5 en amplitud de voltios. Por otra parte, es bueno que no sea tan bajo pues el sistema cuenta con 0.5V que no considera o no lee, lo que hace que al ser un esfuerzo muy bajo corre el riesgo de que la planta y el sistema no identifiquen la acción de control, mientras que el esfuerzo de control con un aproximado de 3V es un esfuerzo pertinente para implementar en el sistema.

A continuación, se realiza la ecuación en diferencias del controlador final de Dead Beat para poder realizar la respectiva simulación y montaje en LabView, el cual se encarga de comunicar la planta real con el computador y el controlador.

$$D(z) = \frac{3,091 - 3,706z^{-1} + 0,6151z^{-2}}{1 - 0,6291z^{-1} - 0,3709z^{-2}}$$

Teniendo que el controlador D(z) es

$$D(z) = \frac{U(z)}{E(z)}$$

Se utiliza la propiedad de atraso de las transformadas Z para finalmente obtener la siguiente ecuación.

$$u(k) = 3,091e(k) - 3,706e(k-1) + 0,6151e(k-2) \\ + 0,6291u(k-1) + 0,3709u(k-2)$$

A continuación se ingresa dicha ecuación en diferencias en un SubVi para ingresarla a la plantilla de simulación en LabView.

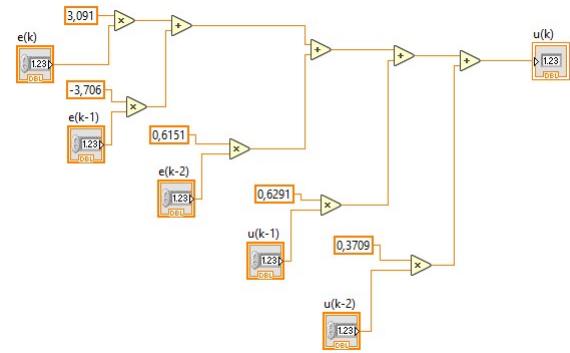


Figura 7. D(z) Controlador Dead Beat en LabView

Se tiene de igual forma, ingresado en otro SubVi el saturador del sistema que va justo después del controlador para prevenir cualquier posible daño al incumplirse los rangos de operación del actuador. (Cabe aclarar que el controlador ya está configurado para que su esfuerzo no sea mayor, sin embargo es por prevención).

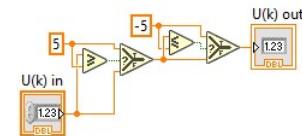


Figura 8. Saturador Dead Beat en LabView

De igual forma, la planta nueva se halló en ecuaciones en diferencia para poder implementarla en la simulación. El SubVI de la planta se puede ver a continuación.

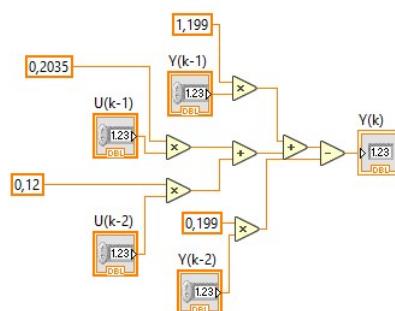


Figura 9. Planta GUNT para Dead Beat en LabView

En la figura 10 se puede ver el sistema completo de simulación implementado en LabView.

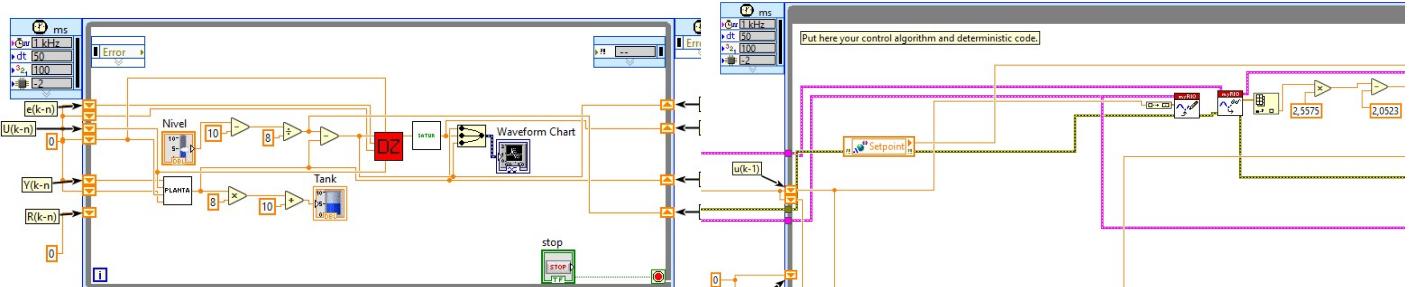


Figura 10. Configuración Dead Beat en LabView

Una vez teniendo todo configurado en la plantilla, se realiza la respectiva simulación con el período de muestreo igual al establecido, es decir, de 1.25 segundos.

En la siguiente gráfica se pueden ver las diferentes señales; entre esas, la salida, el error, el esfuerzo de control.

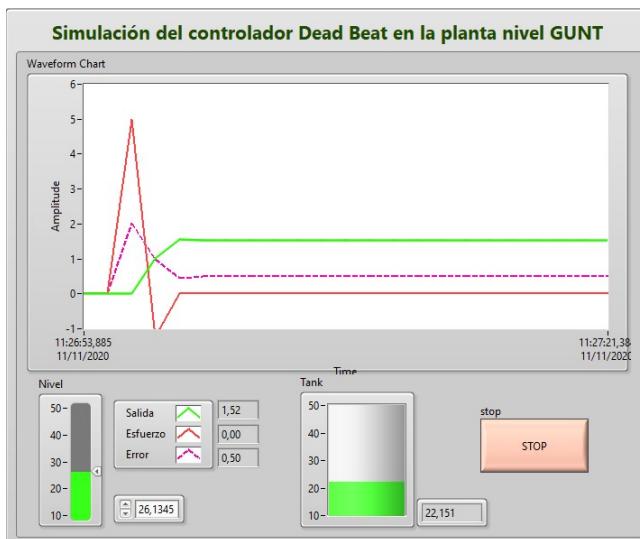


Figura 11. Simulación Dead Beat en LabView

Como se puede ver en la figura 11 se tienen resultados satisfactorios, donde el sistema se estabiliza con rapidez un período después de haber identificado la señal. El esfuerzo de control también es pertinente.

Para realizar la prueba en la vida real, se pasa ese SubVI del controlador para la plantilla de MyRIO donde trabajará para el control de la planta de nivel GUNT correctamente conectada según sus entradas y salidas.

A continuación, se puede evidenciar la conexión dada en la plantilla de MyRIO LabView para la implementación en la planta encontrada en el laboratorio de Automatización.

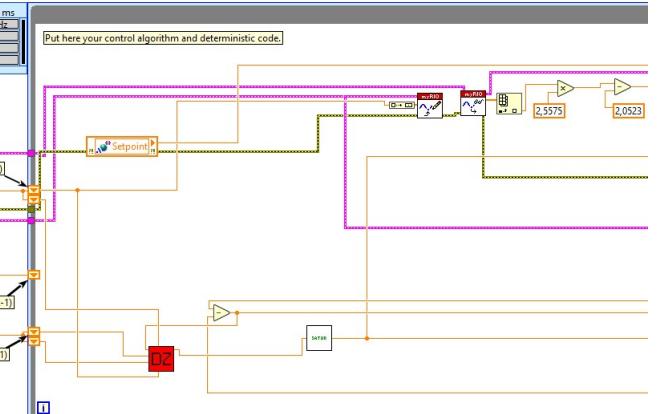


Figura 12. Montaje en MyRIO Dead Beat en LabView

III. CONCLUSIONES

Al implementar este controlador Dead Beat de Orden normal en la planta de nivel Gunt, no se pudo encontrar resultados satisfactorios.

Esto principalmente en que la dinámica de la planta es algo aproximado, no es completamente una función idéntica a la planta GUNT, esto lleva a que el controlador a la hora de anular su dinámica, no la anule por completa y queden dinámicas importantes todavía operando o generando aproximaciones no deseadas a la hora de experimentar el sistema.

Por otra parte, como bien se sabe, el controlador Dead Beat consiste principalmente en generar dicho step que se le ingrese al sistema de una manera igual pero un tiempo después, llamándose este tiempo el tiempo de establecimiento, que va completamente ligado a aproximadamente dos veces el período de muestreo. Pues en el primer muestreo se identifica el sistema, la señal y la situación de la planta que se busca anular, para en un segundo muestreo poder generar una estabilidad deseada. Sin embargo, si se ajusta un período de muestreo muy bajo, los esfuerzos de control generados en el sistema de control creado son muy altos, por lo que no los podría soportar la válvula que se encarga de generar los accionamientos, debido a que esta tiene un rango de operación limitado.

Esto también considerando que el hecho de realizar un escalón como salida es una de las reacciones más fuertes que puede realizar un sistema, mientras que las que suelen ser habituales suelen ser más suaves, al generar una trayectoria curva donde poco a poco se va estabilizando.

Por otra parte, al asignarse un período de muestreo mayor, llega a ser un esfuerzo de control mucho más bajo, lo que es algo positivo para el accionamiento del sistema. Sin embargo, al ser un período de muestreo considerablemente alto, esto ocasiona que a la hora de realizar el control del sistema, se demore mucho en identificar su estado de error, llevando a que una vez encuentre un error genera una acción de control que tomará como la misma hasta muchos segundos después (en este caso 6 segundos) en los que la planta debido a su perturbación, válvula de drenado y de llenado habrá cambiado

considerablemente durante este tiempo, y su acción de control ya no será acorde a lo que necesita el sistema en ese instante. Por otra parte, adicionando estos principales inconvenientes comentados anteriormente, también se tiene que no se posee una caracterización de esa válvula de drenado para poder identificar con certeza la cantidad de drenado de agua con respecto al tiempo para que en caso de que haya un sobreimpulso, la planta sepa correctamente hasta que punto bajar para generar correctamente esta acción de control. De la misma forma, esto afecta aún más el hecho de tener los períodos de muestreo altos (altos para lo que necesita el sistema), pues no logra identificar en el tiempo necesario dicha situación para generar el control deseado.

A pesar de ello, se adquirió bastante conocimiento en el manejo de la planta. desde su acondicionamiento, identificación de las señales, caracterización de la planta, diseño de diferentes controladores de manera óptima en simulación, y se adquirió destreza en el manejo experimental de la planta, logrando también sacar de manera eficiente y exitoso la gran mayoría de los controladores, evidenciando muchas situaciones que nunca se podrían haber evidenciado netamente desde la simulación; gracias a esto, se obtuvo mayor análisis crítico y lógico a la hora de realizar diseños de controladores para los diferentes sistemas que se puedan demandar en la industria.