

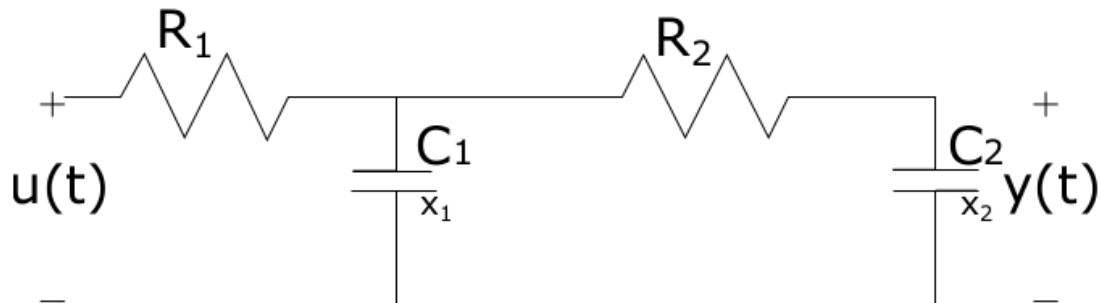
Trabajo práctico final **para** **Control Digital**

Esp. Ing. Daniel Marquez
Esp. Ing. Hanes Nahuel Sciarrone

01/05/2022

Punto 1

El armado del circuito se presenta a continuación:

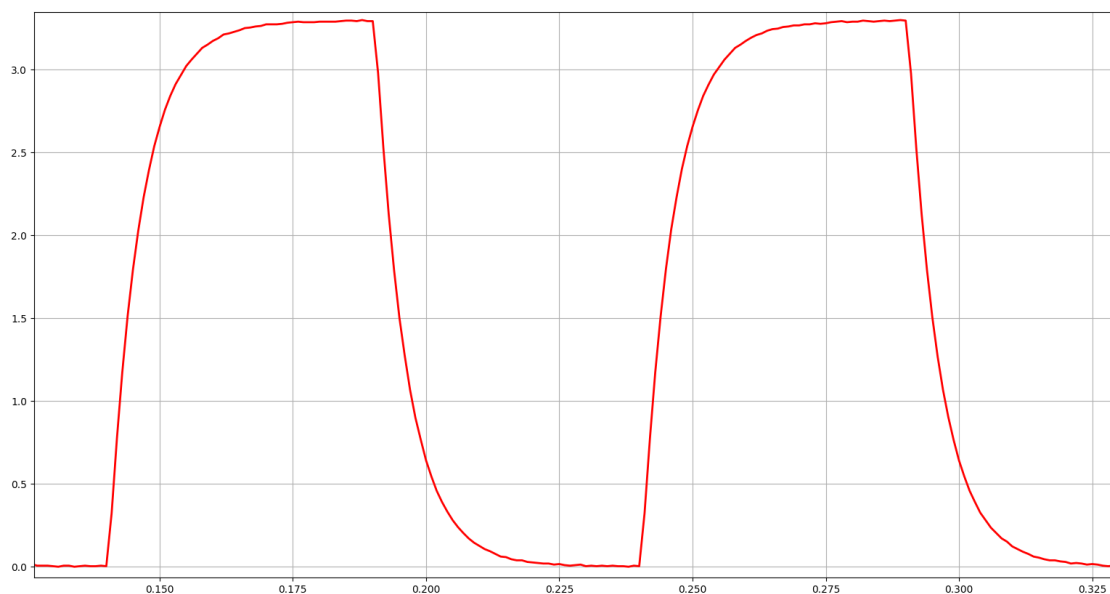


Los valores de componentes propuestos en sus valores nominales fueron:

- $R_1 = 2 \text{ K}\Omega$
- $R_2 = 1 \text{ K}\Omega$
- $C_1 = C_2 = 1 \mu\text{f}$

Punto 2

Para el cálculo del tiempo de subida a lazo abierto del sistema se optó por utilizar un script en python y la EDU-CIAA en baremetal que genere una señal cuadrada de 10 Hz a través del DAC y con el ADC1 medir el valor a la salida y transmitirlo por UART. Los resultado obtenido fue el siguiente:



Para el cálculo de tiempos se buscó el 10% del nivel de la señal y se tomó el valor del tiempo y lo mismo para el caso del 90%. Luego se realizó la resta de los tiempos dando como resultado lo siguiente:

$$10\% = 0.33 \rightarrow t_1 = 0.075045 \text{ seg}$$

$$90\% = 2.97 \rightarrow t_2 = 0.08540 \text{ seg}$$

$$t_r = t_2 - t_1 = 10.355 \text{ ms}$$

Punto 3

El proceso de Identificación se realizó en base al diagrama que se muestra en la figura A. Se tomó como punto de inicio el programa dado en clase, se realizaron diferentes pruebas para evaluar la identificación del sistema, entre ellas se propuso probar diferentes tiempos de ensayo y número de muestras. El método utilizado es el no recursivo y todos los cálculos se realizan en el microcontrolador.

Adicionalmente se preparó un script en Octave, que a partir de los parámetros calculados por la EDU-CIAA, hace uso de las herramientas utilizadas en la práctica 2, y procede a calcular el error J del modelo. Este esquema permite obtener una indicación acerca de la exactitud del modelo calculado en comparación al modelo teórico.

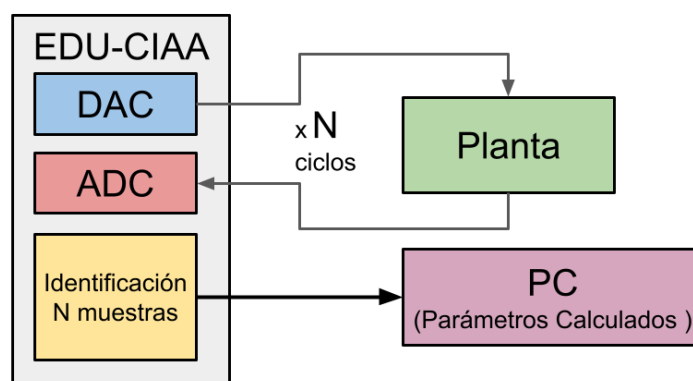


Figura A: Diagrama de funcionamiento.

Tabla A: Pruebas de identificación realizadas.

Número de Muestras	Orden del Sistema	Tiempo de Identificación n [ms]	Parámetros	J
--------------------	-------------------	---------------------------------	------------	---

400	2	1	[-0.196 -0.273 1.693 -0.049 -0.147]	749
50	1	1000	[0.195 0.312 0.308]	1.49
50	2	1000	[1 0 0.001 -0.003 0]	6
400	2	10	[0 0.001 0.863 0.134 -0.097]	8

Como se puede observar en la tabla A se intentó ejecutar el código con 300 y 400 muestras, donde a pesar de que el error disminuye; la EDU-CIAA tan solo muestra el resultado de los parámetros para un único ciclo (al parecer posterior al primer ciclo el sistema genera una excepción y se detiene la ejecución del código).

Al modificar el código para evaluar la razón, se varió la memoria previamente solicitada tanto para la matriz de datos, como para el stack de la tarea. Posteriormente se agregó la posibilidad de imprimir por puerto serie la matriz de entrada “U” y la salida “Y”. De esta forma se valida que realmente el controlador realice las operaciones con las matrices debidamente generadas.

Este mecanismo permitió identificar que el máximo número de muestras funcionales para el código es de 200, para el caso de 400 muestras, se observa que la matriz parece ser funcional hasta cierto valor, ya que posterior a las 200 - 250 muestras los valores parecen no corresponder con los cálculos. A partir de un cierto número de muestras podemos observar lecturas incorrectas (por ejemplo 0 en el vector de entrada), por lo que se procede a descartar aquellos resultados en los que el N de muestras sea superior a 200.

Otro de los factores que surgió a partir del análisis de las matrices “U” y “Y”, fue que para un tiempo de 1ms el sistema no tiene tiempo de responder ante diferentes entradas, para una entrada X1, no se observan cambios relevantes en las siguientes muestras, por lo que se interpreta que la identificación del sistema bajo estas condiciones “no representan correctamente el espectro de respuestas del sistema”.

Es por ello que se decidió realizar un nuevo ensayo con las siguientes modificaciones:

- Se configura el DAC al próximo valor y además de los 6 us de establecimiento, se espera un tiempo de 15 ms.
- Se procede a realizar la medición del ADC de la respuesta del sistema.
- Se procede a realizar un vTaskDelayUntil del tiempo deseado para asegurar la periodicidad del muestreo.

Este nuevo esquema basa el tiempo de respuesta en 15 ms, ya que es superior al tiempo de respuesta medido en el punto 1. Esto permite que para cada valor de X_n existe una Y_n que realmente refleja la respuesta del sistema.

Se puede observar en la figura B un diagrama de cómo se realiza la identificación del sistema con el nuevo esquema.

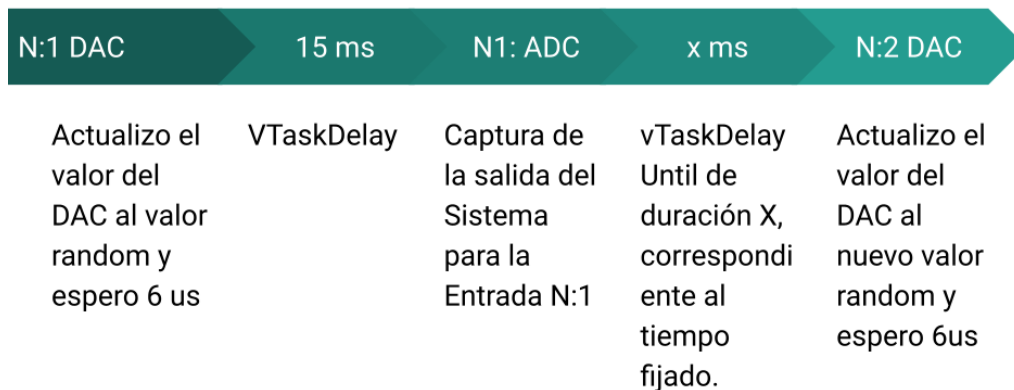


Figura B: Diagrama de nuevo esquema de identificación del sistema.

Con estas nuevas consideraciones se procede a realizar una nueva secuencia de mediciones como se puede observar en la Tabla B.

Tabla B: Comparación de los parámetros de identificación con modelos diferentes.

Modelo	Número de Muestras	Tiempo de Identificación [ms]	Parámetros	J
Custom	200	15 / 30	[0.294 -0.016 0.861 -0.134 -0.006]	0.5408
Clase	200	15	[0.261 -0.003 0.004 0.833 -0.095]	153.57

A partir de los resultados podemos observar que las modificaciones parecen mejorar el error del sistema, sin embargo en comparación con los valores de la Tabla A, se puede observar que a pesar de que el script funcione una única vez, el hecho de incrementar el número de muestras a 400 mejora considerablemente el error del sistema.

Punto 5

El primer paso consiste en realizar el método de Ziegler y Nichols a partir de la respuesta del sistema a lazo abierto, por lo que a partir del gráfico de la figura C, se seleccionan los puntos (1 , 577) y (3 , 1793).

- $a = -31$
- $L = 0.0509868$

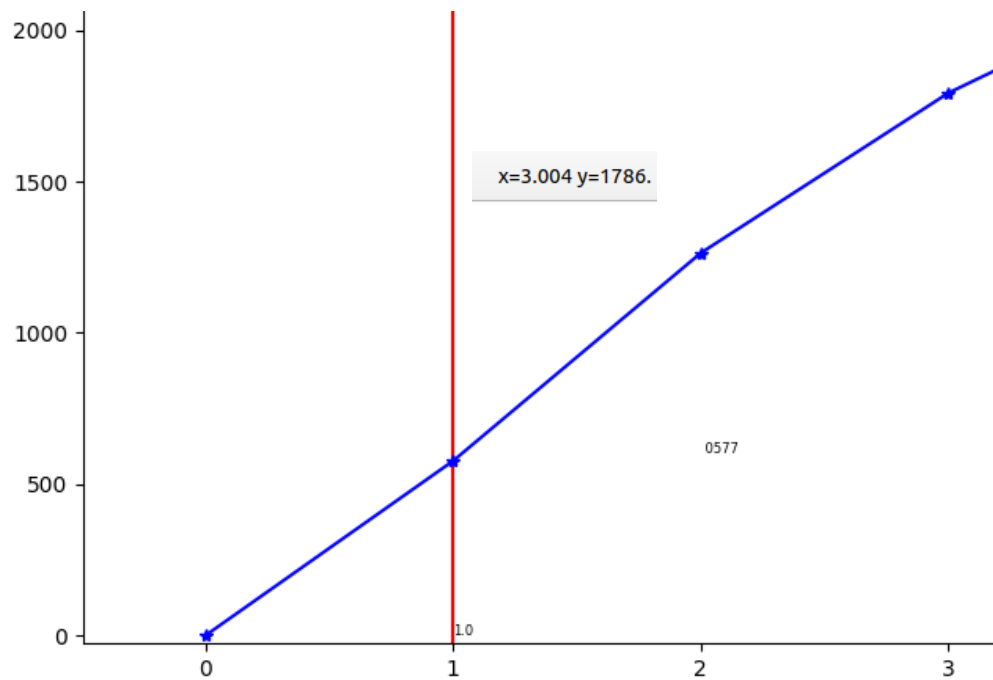


Figura C: Zoom para la respuesta en lazo abierto de escalón del sistema.

Considerando los parámetros obtenidos, se procede al cálculo de Ziegler y Nichols. Finalmente pasamos a evaluar la respuesta del sistema (figura D) con los valores obtenidos. Los parámetros de nuestro control PID son:

- K_p : 0.3871.
- K_i : 0.102.
- K_d : 0.0013.

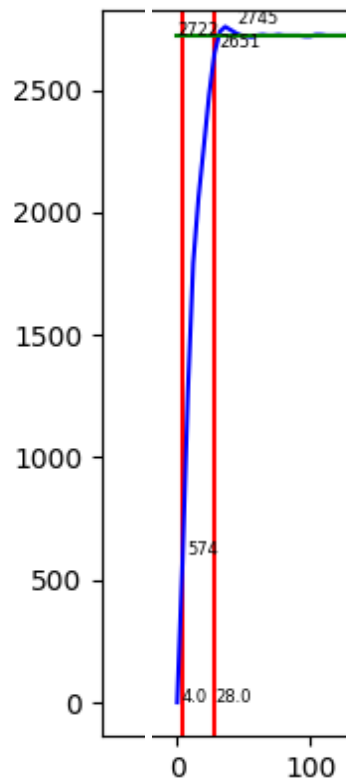


Figura D: Respuesta del sistema ante un PID con Ziegler y Nichols.

Como se puede observar en la figura D, el sistema tiene una respuesta que NO satisface las condiciones requeridas. Es por ello, que a partir del conocimiento de los parámetros, y el cómo afectan el comportamiento del control PID, se procede a realizar iteraciones hasta conseguir los siguientes parámetros finales:

- K_p : 0.5
- K_i : 0.03
- K_d : 0.0013
- $b = 0.1$

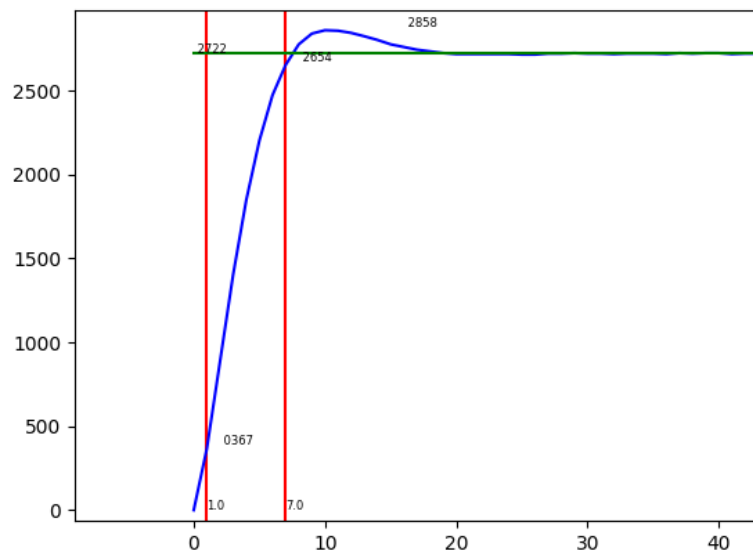


Figura E: Respuesta del sistema con entonación del PID Z&N inicial.

La figura E ilustra la respuesta del sistema con los parámetros finales. Las modificaciones realizadas son el incremento del parámetro proporcional y la reducción del parámetro integrativo para mejorar la velocidad del sistema, con el cuidado de mantener el sobrepico en el rango especificado. Adicionalmente debido a los aumentos del K_p , se disminuye el valor de b para disminuir aún más el valor del sobrepico y asegurar que la respuesta sea la adecuada.

Punto 6

Tomando en cuenta la regla de referencia indicada en clase se aproxima el ancho de banda de la señal a $BW = 0.35 / tr_{lc}$.

- $tr_{\text{lazo abierto}} = 10 \text{ ms.}$
- $tr_{\text{lazo cerrado}} = 7 \text{ ms.}$
- $BW = 0.35 * 1000 / 7 = 50 \text{ Hz.}$
- $f_{\text{nyquist}} = 2 * BW = 100 \text{ Hz.}$

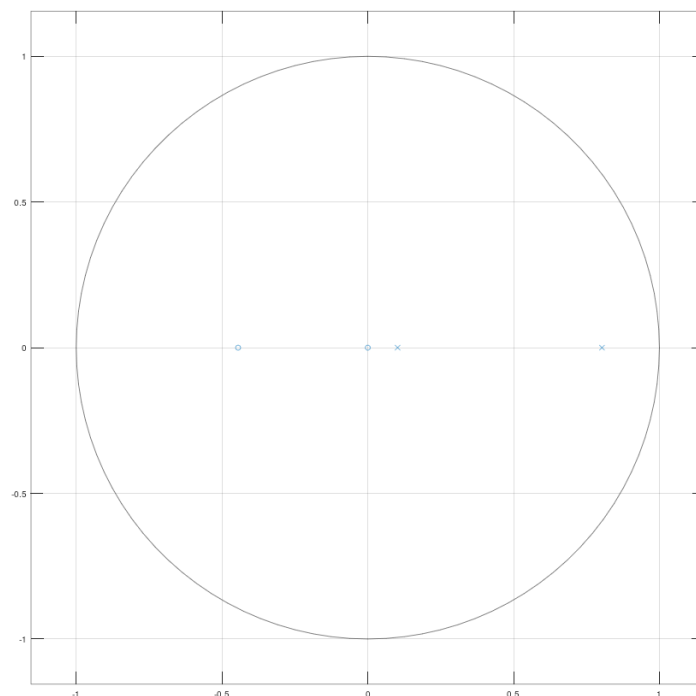
El cálculo previo corresponde a uno de los extremos del rango de frecuencias del sistema. El siguiente extremo se obtiene a partir de la implementación del código, se obtiene un tiempo de procesamiento de 50 μs . Por lo que al considerar un criterio de $20 * t_{\text{procesamiento}}$, obtenemos un extremo de 1KHz.

Rango de frecuencias: (100, 1000] Hz.

Punto 8

Para el control de esta planta se utilizó el método de Pole and Placement, la obtención de los coeficientes del controlador fue realizada por medio de Octave. Lo primero fue el cálculo de las matrices de estado de la planta como se hizo en clase. Con las matrices se obtuvo la función transferencia en tiempo discreto, sus polos y ceros. En las imágenes se observa la función transferencia, polos y ceros del sistema en tiempo discreto.

$$y1: \frac{0.1223 z + 0.05442}{z^2 - 0.9053 z + 0.08208}$$



Con los polos ya obtenidos se optó por moverlos más cerca del cero del círculo unitario mejorando la respuesta de la planta y también su estabilidad. La simulación del controlador se muestra en la siguiente figura:

