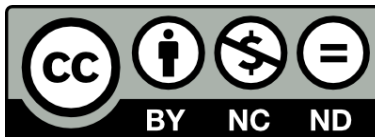


SISTEMAS DE CONTROL EN ROBÓTICA

Notas de Clase

Mauricio Arias Correa
Medellín, 2022



Atribución – No comercial – Sin derivar

Esta obra puede ser descargada y compartida con otras personas, siempre y cuando se den los créditos respectivos al autor. La obra no puede ser intervenida, no pueden generarse obras derivadas ni obtener beneficios comerciales.

Identificación de Sistemas

La identificación de sistemas

La identificación de sistemas tiene por objeto **obtener el modelo de un sistema dinámico (variable) a partir de datos experimentales, expresado como una función de transferencia**. Dicho modelo representará a la variable con bastante fidelidad.

Con los modelos obtenidos, se pueden realizar análisis de los sistemas, predicciones, diseños de controladores y filtros (cuando se trata de señales).

La identificación se puede realizar a partir de datos experimentales, cuya recolección se llevará a cabo por medio de un experimento diseñado específicamente para la identificación del sistema. En este caso, el usuario puede determinar que señales va a medir, cuándo y cómo las va a medir y también puede escoger las señales de entrada.

El objetivo del diseño del experimento es entonces, seleccionar los datos que proporcionen la máxima información posible.

En cualquier caso, existen técnicas de identificación cuyos procedimientos son claros y estandarizados en el campo del control de procesos. Dichas técnicas se pueden dividir en:

- **Identificación Fuera de Línea (Off-Line)**

Los datos del sistema o variable son recogidos durante la experimentación, pero sin tener conectado dicho sistema al sistema mayor del que hace parte, motivo por el cuál se considera que está fuera de línea en un proceso.

Esto se puede entender con el ejemplo de quitar el servomotor de una articulación de robot y montarle un hardware de adquisición de datos a ese servomotor solamente, pretendiendo modelar la velocidad de este como variable a controlar. En ese caso, la técnica es válida, pero dado que el servomotor se ha sacado de la articulación (*físicamente o porque su circuito se ha aislado*), entonces se considera una identificación Off Line y si pretendemos que el controlador diseñado para la velocidad del motor sea eficaz, debemos obtener los modelos de los demás componentes de la articulación.

Identificación En línea (On-Line).

Los datos del sistema o variable son recogidos durante la experimentación. La diferencia con el método fuera de línea consiste en que no se desconecta el sistema, dispositivo o variable, del sistema mayor del cual hace parte. ***En el ejemplo de la articulación de robot, la adquisición de los datos de la variable velocidad del servomotor debería realizarse manteniendo el motor como parte de la articulación.*** De esa manera podremos modelar indirectamente la forma en que todos los demás sistemas que conforman la articulación afectan a la variable de interés. Eso se verá reflejado entonces en la función de transferencia.

En la identificación Off-Line los modelos resultantes del proceso de identificación contienen la información relevante acerca de la dinámica del proceso real en un vector de parámetros de dimensión finita. Los modelos se aproximan por medio de otros modelos (aproximaciones estadísticas):

- Regresión lineal
- Métodos de predicción del error
- Mínimos cuadrados
- Mínimos cuadrados generalizados
- Métodos de identificación paramétrica basados en análisis frecuencial

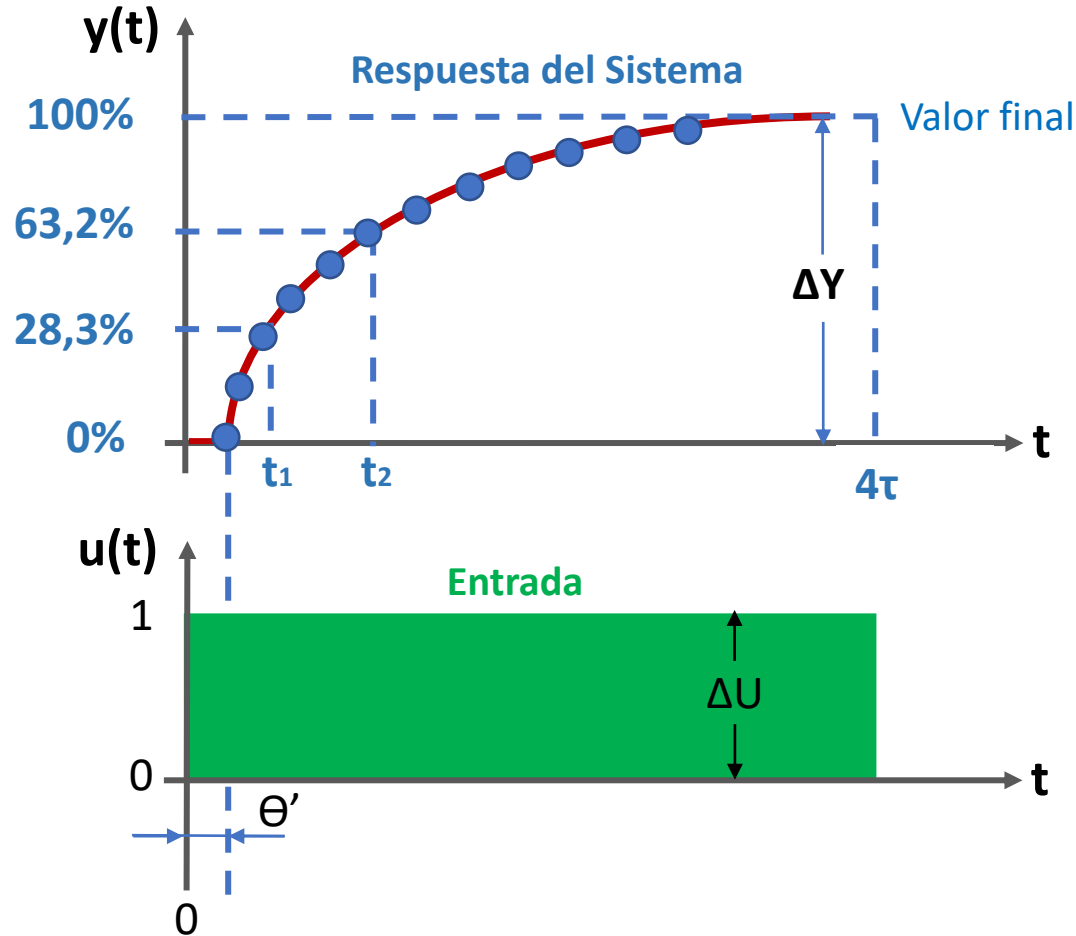
Identificación No-Paramétrica

La importancia de la adecuada elección del periodo de muestreo:

Tabla 1. Elección de periodo de muestreo para sistemas de control digital. Fuente [2]

| Type of variable (or plant)) | Sampling period (s) |
|---------------------------------|---------------------|
| Flow rate | 1 – 3 |
| Level | 5 – 10 |
| Pressure | 1 – 5 |
| Temperature | 10 - 180 |
| Distillation | 10 - 180 |
| Servo-mechanisms | 0.001 - 0.05 |
| Catalytic reactors | 10 - 45 |
| Cement plants | 20 - 45 |
| Dryers | 20 – 45 |

Sistema de Primer Orden con Retardo



$$K = \Delta Y / \Delta U \quad (1)$$

$$\theta' + \tau/3 = t_1 \quad (2)$$

$$\theta' + \tau = t_2 \quad (3)$$

Donde:

θ' : retardo del sistema

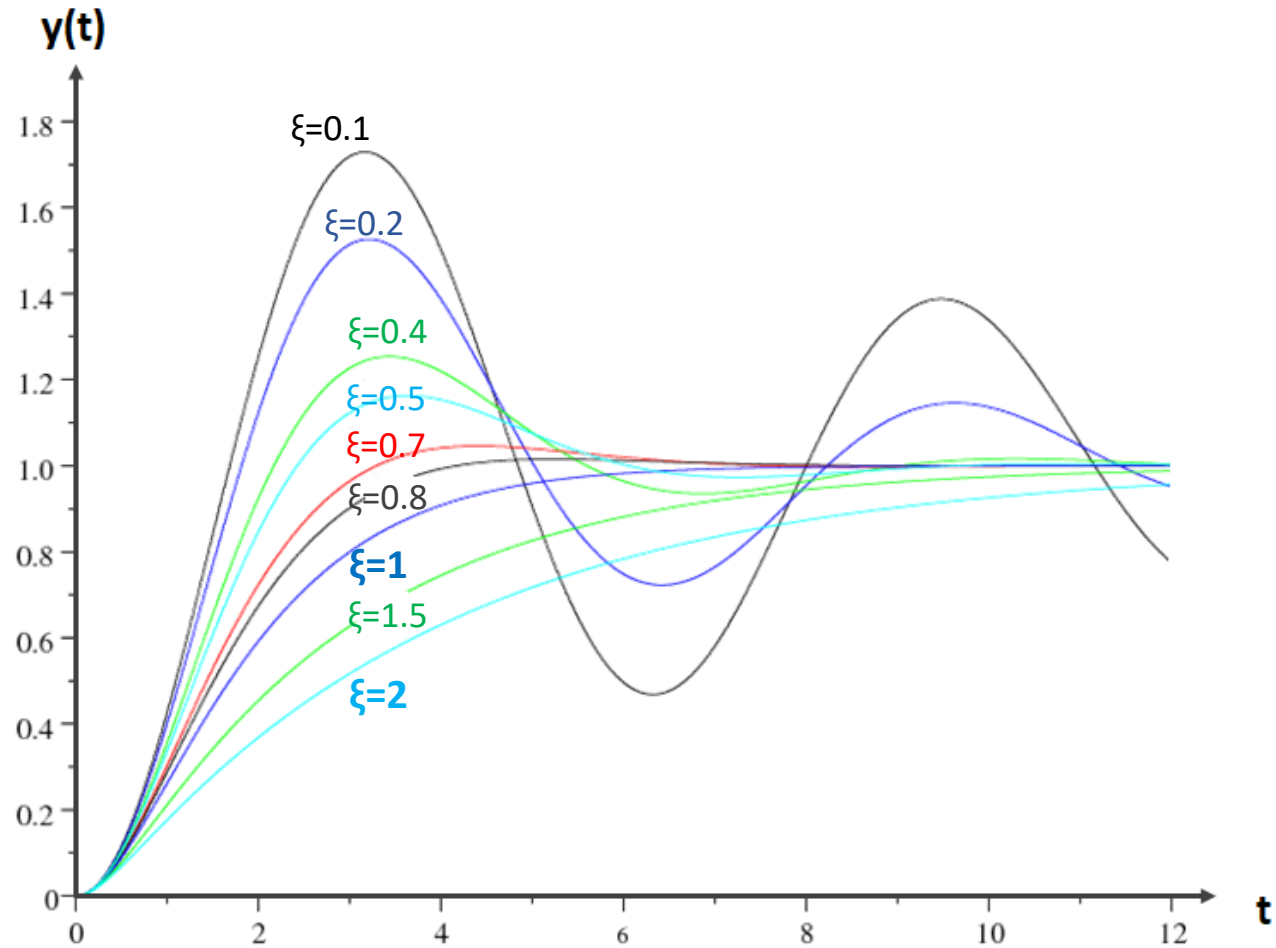
τ : Constante de tiempo

De (1), (2) y (3):

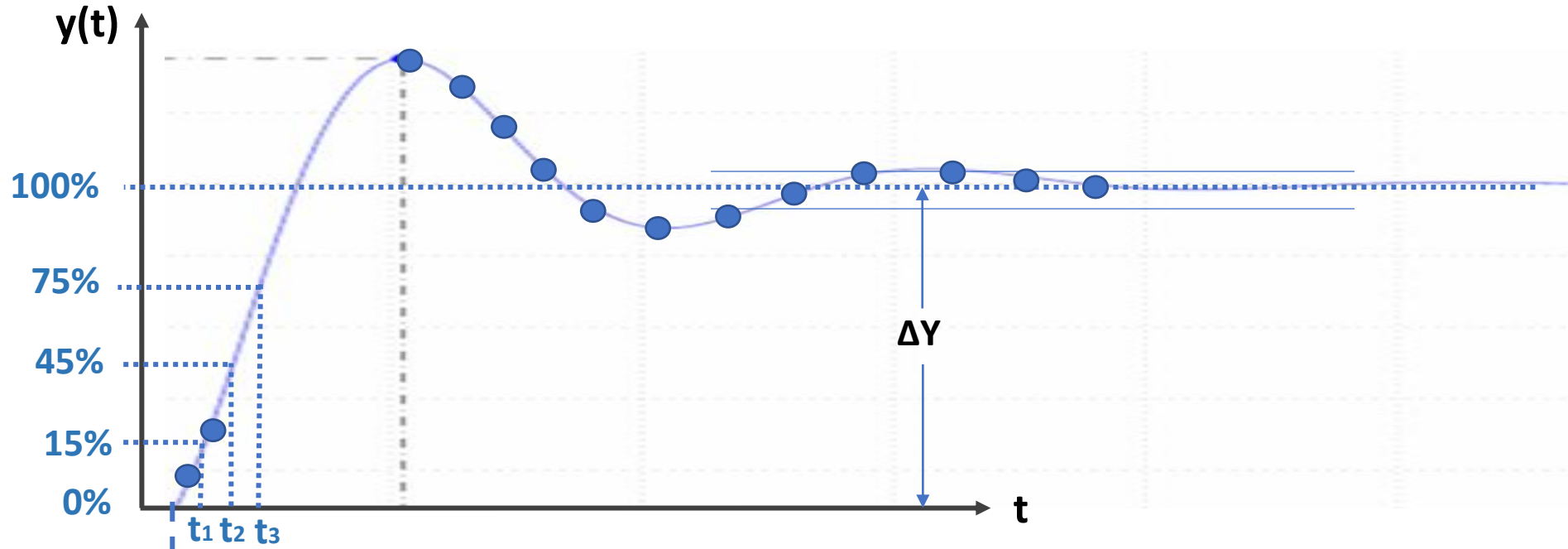
$$G(S) = \frac{Y(S)}{U(S)} = \frac{K e^{-\theta' s}}{\tau S + 1}$$

La dinámica del sistema desde la aplicación del estímulo hasta alcanzar el estado estacionario, tiene una duración de 4τ en un sistema de primer orden (la respuesta transitoria se alcanza en 4τ).

Sistema de Segundo Orden con Retardo



Sistema de Segundo Orden con Retardo



$$G_p(S) = \frac{K w_n^2 e^{-\theta' s}}{S^2 + 2\xi w_n S + w_n^2} \quad \xi < 1$$

$$G_p(S) = \frac{K e^{-\theta' s}}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} \quad \xi \geq 1$$

Sistema de Segundo Orden con Retardo

$$G_p(S) = \frac{K w_n^2 e^{-\theta' s}}{S^2 + 2\xi w_n S + w_n^2} \quad \xi < 1$$

$$G_p(S) = \frac{K e^{-\theta' s}}{(\tau_1 S + 1)(\tau_2 S + 1)} \quad \xi \geq 1$$

Donde:

$$\tau_{1,2} = \frac{\xi \pm \sqrt{\xi^2 - 1}}{w_n} \quad K = \frac{\Delta Y}{\Delta U}$$

K =Ganancia de la planta.

w_n =Frecuencia natural.

ξ = Coeficiente de amortiguamiento

θ' = Tiempo muerto de la planta.

τ_1 y τ_2 =Constantes de tiempo.

Para
obtener el
modelo:

ΔY = Cambio total en la salida de la planta.

ΔU = Magnitud del escalón aplicado.

t_1 = Tiempo requerido para que la respuesta alcance el 15% del cambio total.

t_2 = Tiempo requerido para que la respuesta alcance el 45% del cambio total.

t_3 = Tiempo requerido para que la respuesta alcance el 75% del cambio total.

$$x = \frac{t_2 - t_1}{t_3 - t_1}$$

$$\xi = \frac{0.0805 - 5.547(0.475 - x)^2}{x - 0.356}$$

$$F_2(\xi) = \begin{cases} 2.6\xi - 0.6 & \xi \geq 1 \\ 0.708(2.811)^\xi & \xi < 1 \end{cases}$$

$$w_n = \frac{F_2(\xi)}{t_3 - t_1}$$

$$F_3(\xi) = 0.922(1.66)^\xi$$

$$\theta' = t_2 - \frac{F_3(\xi)}{w_n}$$

IDENTIFICACIÓN NO PARAMÉTRICA - EJEMPLO

DC brushed motor

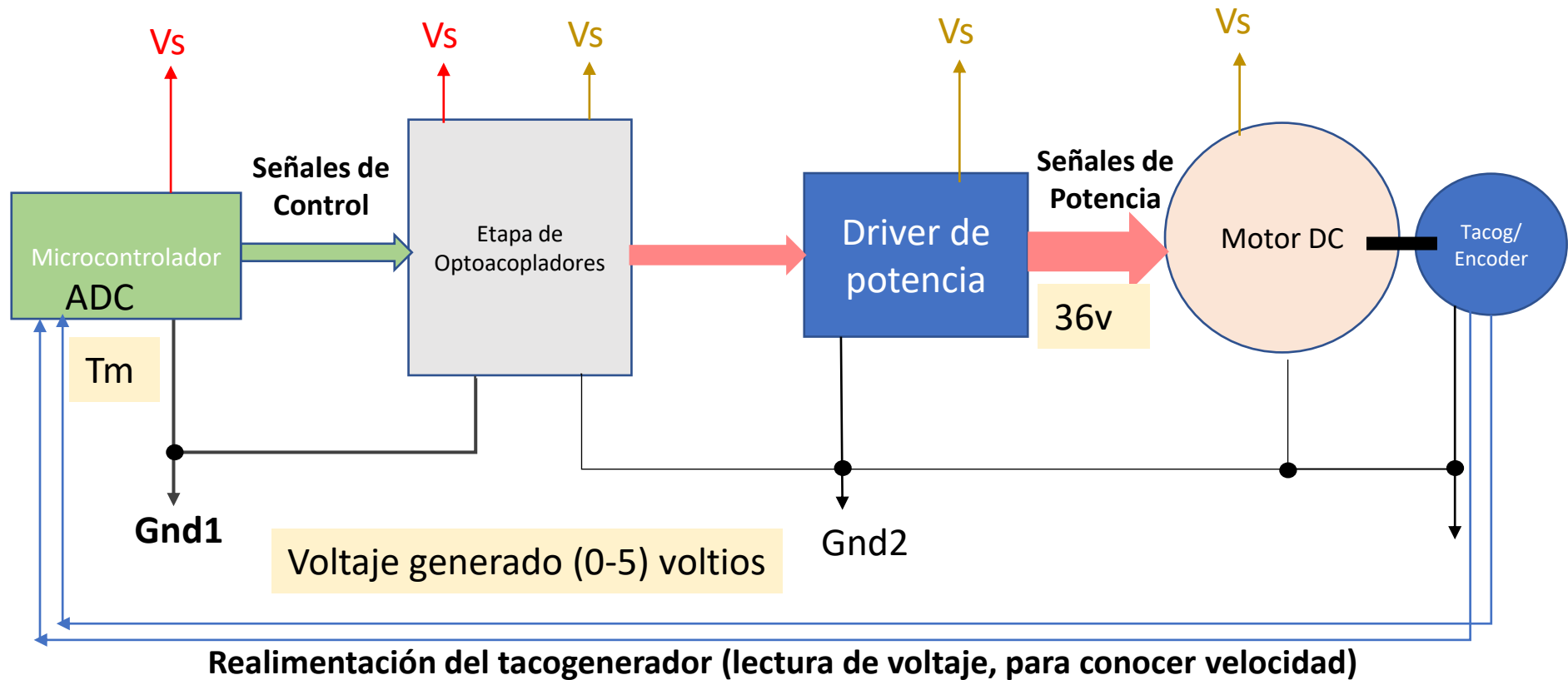


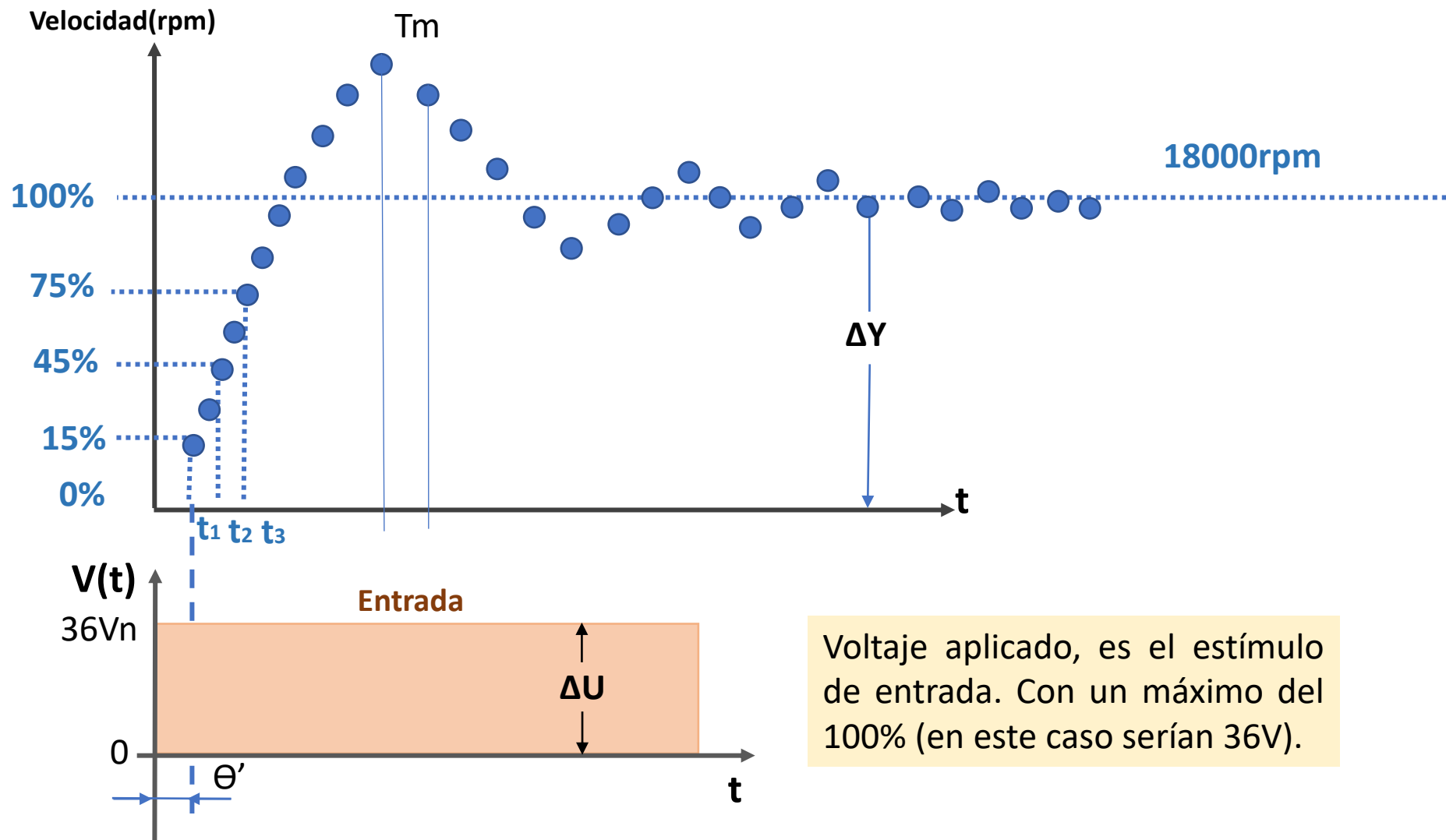
Se obtienen datos del motor a partir del catálogo de fabricante o de manera experimental (caracterización).

| MOTOR DATA | Units | DC022C-1 | DC022C-2 | DC022C-3 |
|-------------------------|----------|------------|------------|------------|
| Max DC Terminal Voltage | V | 36 | 36 | 36 |
| Max Speed (Mechanical) | rpm | 10000 | 10000 | 10000 |
| Continuous Stall Torque | Nm | 0.0057 | 0.0093 | 0.014 |
| | oz-in | 0.81 | 1.3 | 2.0 |
| Peak Torque (Maximum) | Nm | 0.018 | 0.037 | 0.066 |
| | oz-in | 2.6 | 5.3 | 9.3 |
| Rotor Inertia | kg m2 | 0.00000052 | 0.00000068 | 0.00000081 |
| | oz-in-s2 | 0.000073 | 0.000096 | 0.00011 |
| Motor Weight | g | 43 | 60 | 75 |
| | oz | 1.5 | 2.1 | 2.7 |

Caracterización del motor DC
Para agregar un sensor de velocidad tipo Tacogenerador (ejemplo).

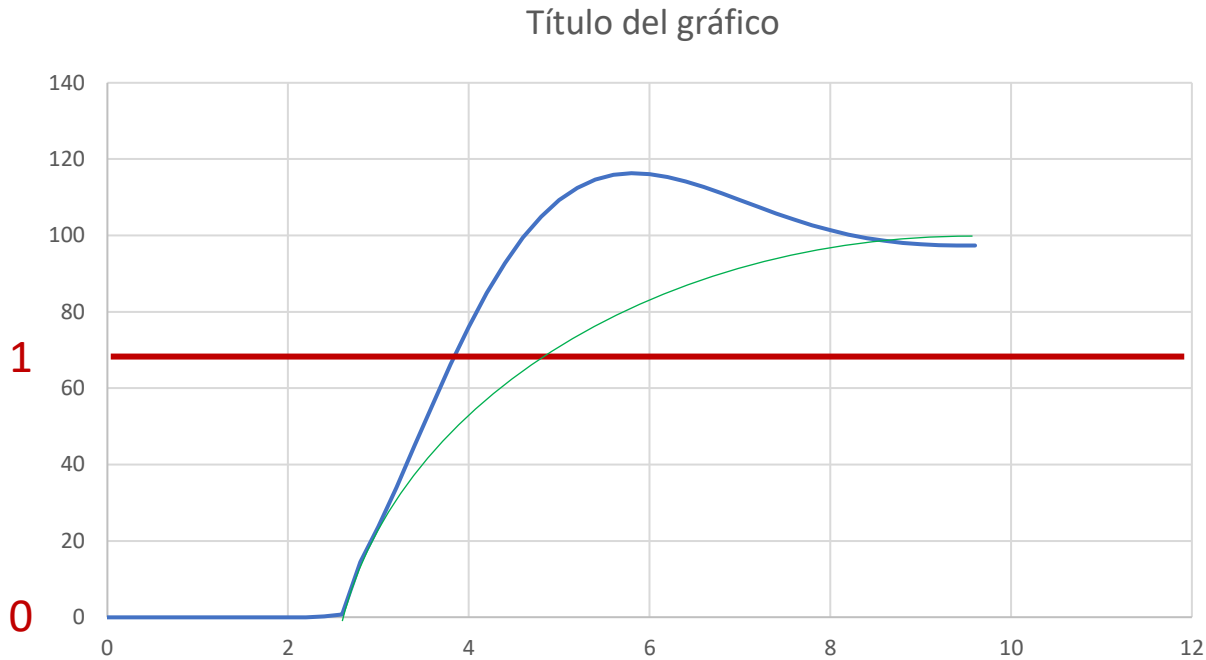
| V aplicado | V generado | Vel RPM |
|------------|------------|---------|
| 2,5v | 0v | 0 |
| 3v | 1v | 600RPM |
| 6V | 2,5V | 1200RPM |
| 11,2v | 5v | 2400RPM |





EJERCICIO

A partir de la reacción del sistema obtenido en la gráfica 1, obtenga la función de transferencia para el Sistema POR y Sistema SOR, utilizando el método de identificación no paramétrica. (Los datos adquiridos se encuentran en el archivo: DatosEjercicio1.xls).



2. CÁLCULOS PARA LOS SISTEMAS POR Y SOR

| | |
|---|------------|
| Vf=Valor Final (promedio de los últimos 12 datos) | 10,2 |
| 28,3%*Vf | 2,8866 |
| 63,2%*Vf | 6,4464 |
| t1 (por interpolación lineal) | 2,90001936 |
| t2 (por interpolación lineal) | 3,5663619 |
| Ts (periodo de muestreo en segundos) | 0,2 |
| Θ' (en segundos) | 2 |
| τ | 1,5663619 |
| t mínimo: 4τ | 6,26544762 |
| t máximo: 5τ | 7,83180952 |
| ΔY | 10,2 |
| ΔU | 1 |
| K | 10,2 |

3. SISTEMA POR

$$G1(S) = \frac{10,2e^{-2S}}{1,5663619S + 1}$$

APROXIMACIÓN MATEMÁTICA AL MODELO DE PRIMER
ORDEN POR MEDIO DE LOS DATOS DE LA IDENTIFICACIÓN
NO PARAMÉTRICA.

2. CÁLCULOS PARA LOS SISTEMAS POR Y SOR

| | |
|---|-------------|
| VALOR FINAL (promedio de los últimos 12 datos) | 10,2 |
| ΔY | 10,2 |
| ΔU | 1 |
| K | 10,2 |
| 15%*Vf | 1,53 |
| 45%*Vf | 4,59 |
| 75%*Vf | 7,65 |
| t1(15%) | 2,61806452 |
| t2(45%) | 3,21896869 |
| t3(75%) | 3,81033708 |
| X | 0,503999 |
| ξ | 0,51240412 |
| F2(ξ), para x menor que 1 | 1,20235137 |
| F3(ξ) | 1,1954054 |
| w _n | 1,02527128 |
| (w _n) ² | 1,0511812 |
| Factor del Numerador para SOR | 10,7220482 |
| 2* ξ *w _n | 1,05070645 |

4. SISTEMA SOR

La función de transferencia del sistema (relación entre salida y entrada).

$$G2(S) = \frac{10,7220482e^{-2S}}{S^2 + 1,05070645S + 1,0511812}$$

APROXIMACIÓN MATEMÁTICA AL MODELO DE SEGUNDO
ORDEN POR MEDIO DE LOS DATOS DE LA IDENTIFICACIÓN
NO PARAMÉTRICA.