

# Trabajo Final – Modelado de un Punte Grúa

## Técnicas Avanzadas de Modelado y Simulación

En este trabajo modelaremos y simularemos un sistema consistente en un Punte Grúa impulsado mediante un motor de corriente continua con excitación independiente. En el mismo además evaluaremos distintas estrategias simples de control. El Problema 6 y el Problema 7 son opcionales.

### Problema 1. Modelado del Motor de Corriente Continua

Consideraremos un motor de corriente continua con excitación independiente como el de la Figura 1, en el cual los parámetros son los dados por la Tabla 1 mientras que la característica magnética de la excitación es la de la Figura 2.

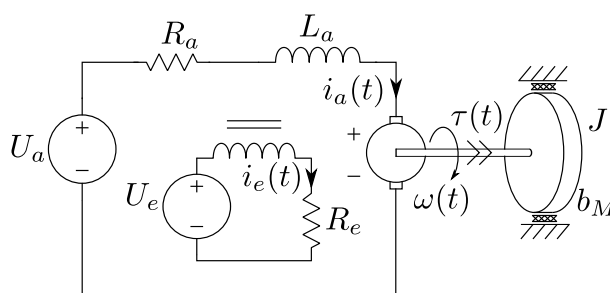


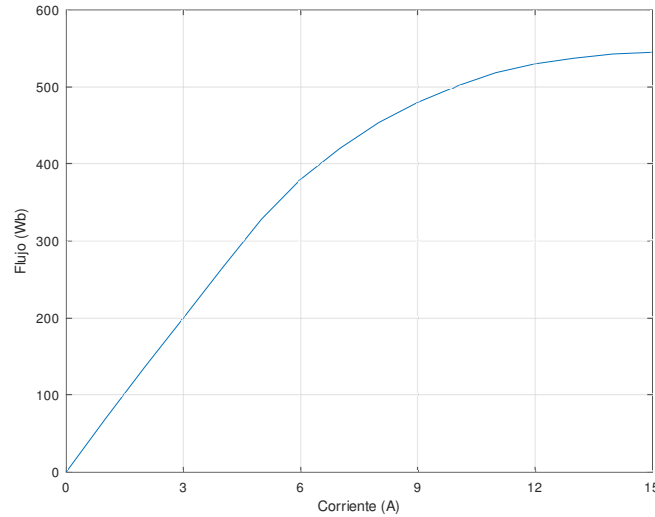
Figura 1: Motor de Corriente Continua con Excitación Independiente.

Parám.	Descripción	Valor	Unidad
$J$	Momento de Inercia	15	$\text{Kg m}^2$
$b_M$	Coef. Roce Eje	1.1	$\text{N m s}$
$R_a$	Resis. de Armadura	0.05	$\Omega$
$L_a$	Induc. de Armadura	0.003	$\text{H}$
$R_e$	Resis. de Excitación	25.2	$\Omega$
$K_M$	Constante Motor	0.016	$\text{V s / rad}$
$P_{\text{nom}}$	Potencia Nominal	150	$\text{KW}$
$U_{a\text{nom}}$	Tension Armadura Nom.	460	$\text{V}$
$U_{e\text{nom}}$	Tension Excit. Nom.	184	$\text{V}$
$\omega_{\text{nom}}$	Velocidad Nom.	66	$\text{rad / s}$

Tabla 1: Parámetros del Motor de Corriente Continua

Se pide entonces:

1. En función de la potencia nominal, de la tensión de armadura nominal y de la velocidad nominal, calcular los valores nominales de corriente de armadura y de torque de carga (recordar que  $P_{\text{nom}} = U_{a\text{nom}} i_{a\text{nom}} = \tau_{\text{nom}} \omega_{\text{nom}}$ ).
2. Construir un modelo de este sistema en el lenguaje Modelica utilizando los componentes de la librería DSFLib. En el modelo utilizar una fuente de tensión constante para el circuito de excitación con el valor de tensión nominal. El modelo deberá tener dos pines eléctricos para conectar la fuente de tensión de armadura y un conector mecánico rotacional para conectarlo con la carga.
3. Utilizando como componente el modelo construido en el ítem anterior, y conectando al mismo una fuente de tensión con el voltaje nominal, simular el sistema y verificar que funcione observando la velocidad angular y la corriente de armadura.



**Figura 2:** Característica Magnética de Excitación.

4. Para luego poder simular un arranque suave, construir el bloque correspondiente a una fuente de señal de tipo rampa en la cual la misma suba desde 0 hasta el valor  $U_f$  entre un tiempo  $t_0$  y un tiempo  $t_f$ . La ecuación correspondiente puede plantearse como

$$u(t) = \begin{cases} 0 & \text{si } t < t_0 \\ U_f & \text{si } t > t_f \\ \frac{t-t_0}{t_f-t_0} U_f & \text{en otro caso} \end{cases} \quad (1)$$

### Problema 2. Arranque Suave del Motor

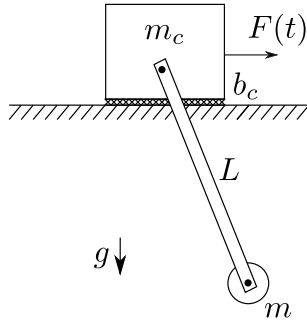
En la práctica no es conveniente arrancar directamente un motor de corriente continua aplicando un escalón de tensión de entrada, ya que se pueden producir transitorios de corriente inadmisibles. Idealmente, la corriente no debería superar el doble de la corriente nominal de armadura, que puede calcularse a partir de la potencia nominal y la tensión de armadura nominal.

1. Utilizando una fuente de voltaje controlada y el bloque que genera la rampa, alimentar el circuito de armadura del motor incrementando gradualmente la tensión de manera que la corriente de armadura nunca supere el doble de su valor nominal. Establecer como comienzo de dicha rampa un instante de tiempo en el cual el circuito de excitación ya tenga establecido el flujo. Analizar las evoluciones de la corriente de armadura y de la velocidad.
2. Repetir el punto anterior colocando como carga un amortiguador rotacional con parámetro  $b_c = 30$  N m s / rad.

### Problema 3. Modelado del Punte Grúa

Consideraremos ahora el modelo de un puente grúa constituido por un carro que se mueve en una dimensión y una carga que pende del mismo a través de un cable rígido, como se indica en el esquema de la Figura 3. En el mismo, se asume que hay rozamiento lineal entre la carga y el aire a través de un coeficiente  $b_m$ .

1. Construir un modelo del mismo en el lenguaje Modelica utilizando componentes de la librería DSFLib. Utilizar los parámetros brindados en la Tabla 2.
2. Verificar el correcto funcionamiento del modelo al aplicar una fuerza constante sobre el carro. Observar que las condiciones iniciales sean correctas (si utiliza un componente de barra rígida, el ángulo inicial deberá ser  $-\pi/2$ ).



Parám.	Descripción	Valor	Unidad
$m_c$	Masa del carro	1000	Kg
$m$	Masa de la carga	4000	Kg
$L$	Longitud cable	10	m
$b_c$	Coef. roce carro	$10^6$	N s / m
$b_m$	Coef. roce carga	100	N s / m

**Tabla 2:** Parámetros del Puente Grúa

**Figura 3:** Puente Grúa.

#### Problema 4. Modelado del Puente Grúa Completo

Para construir el modelo completo del Puente Grúa impulsado por un motor, se pide lo siguiente:

1. Reemplazar la fuerza constante sobre el carro por el motor del Problema 1, conectándolo mediante un sistema piñón-cremallera de radio  $r = 0.004\text{m}$ .
2. Verificar que el sistema funcione correctamente alimentando la armadura del motor con la tensión nominal.

#### Problema 5. Control del Puente Grúa en Lazo Abierto

Supondremos que tenemos el objetivo de transportar la carga a 15 metros de distancia respecto de la posición inicial, lo que inicialmente trataremos de lograr aplicando una trayectoria adecuada a la tensión de armadura. Para simular esta situación, se pide lo siguiente:

1. Mediante una fuente de tensión controlada, alimentar el motor generando una tensión de armadura que inicialmente suba hasta el valor nominal y en cierto instante de tiempo  $t_2$  comience a bajar hasta volver a cero. Ajustar por prueba y error el valor de  $t_2$  para que efectivamente la carga quede detenida a 15 mts de la posición inicial. Puede construir una señal suave que no genere transitorios indeseados utilizando dos rampas.
2. Agregar ahora una fuerza horizontal sobre la carga debida al viento con un valor  $F_v(t) = 3000\text{N}$  y observar si la trayectoria calculada en el punto anterior funciona para situar la carga en la posición deseada.

#### Problema 6. Modelo del Puente Grúa en Lazo Cerrado

Para poder controlar el sistema a lazo cerrado, necesitaremos medir la posición horizontal de la carga y realimentarla comparándola con una referencia. Para esto, se pide:

- Construir el modelo de un sensor de posición para mecánica planar que tenga un conector planar y dos salidas reales, de manera que la primera salida represente la posición horizontal y la segunda la posición vertical. Tener en cuenta que dicho componente, para no afectar al sistema, deberá transmitir una fuerza nula en ambas dimensiones.
- Conectando este componente a la carga del puente grúa, comparar la posición de dicha carga con una posición deseada ( $x_{\text{ref}}(t)$ ) y generar la tensión de armadura según la ley  $U_a(t) = K_P (x_{\text{ref}}(t) - x(t))$  donde  $x(t)$  es la posición medida y  $K_P = 30$  es la ganancia del control proporcional.

#### Problema 7. Análisis del Control a Lazo Cerrado

Analizaremos ahora lo que se obtiene si utilizamos un esquema de lazo cerrado que compara la posición de la carga con una referencia.

1. Utilizando como referencia para la posición  $x_{\text{ref}}(t)$  un escalón de 15mts y una ganancia de control  $K_P = 30$ , observar el comportamiento del sistema a lazo cerrado. Graficar tanto la posición de la carga como la corriente de armadura del motor.

2. Cambiar ahora la referencia por una rampa que llegue a los 15 mts en un minuto y volver a simular. Observar que pasa en presencia de la fuerza del viento.
3. Repetir el punto anterior para  $K_P = 3$  y  $K_P = 300$ . Concluir sobre las ventajas-desventajas de usar valores más grandes o pequeños de  $K_P$ .
4. Cambiar ahora el control proporcional por uno que tenga la siguiente función transferencia:

$$C(s) = 200 \frac{-s + 1}{s + 1} \quad (2)$$

y observar el comportamiento, tanto en ausencia como en presencia de viento.