

Proyecto Global Integrador: Control coordinado de Grúa Pórtico

Objetivo:

Diseño, implementación conceptual y análisis de desempeño mediante simulación de un *autómata híbrido de control semi-automático coordinado de operación* para una *grúa tipo pórtico* (ej. grúa portacontenedores portuaria).

El sistema físico a controlar considera *dos movimientos principales* continuos en un plano vertical (2D): *traslación del carro (horizontal)* e *izaje de la carga (vertical)*, accionados mediante motores eléctricos y con restricciones de recorrido (posiciones límite), velocidad y aceleración máxima, que están *acoplados* entre sí por la carga que se balancea, suspendida por los cables de izaje del carro que la traslada.

El autómata híbrido debe considerar dos niveles de control:

- control supervisor global*, de estados discretos activados por eventos (comandos de operador, límites de protección, etc.), para la coordinación de trayectorias y control de operación global;
- dos controladores de movimiento*, de estados continuos en tiempo discretizado (lazo cerrado), que reciben consignas de movimiento individuales del control supervisor para controlar cada uno de los movimientos principales (izaje y traslación), basados en accionamientos electro-mecánicos genéricos de 4 cuadrantes.

Lineamientos:

- Trabajo individual o en grupo de no más de dos alumnos: desarrollo y simulación.
- Presentación de Informe Técnico, completo y breve, cumpliendo lo pedido a continuación e incluyendo: Resumen. Introducción. Desarrollo: esquemas conceptuales y modelado; análisis; diseño; simulación y resultados. Conclusiones. Referencias consultadas.
- Demostración y explicación presencial breve mediante simulación (Matlab/Simulink).
- Plazo de presentación: Mayo-Junio de 2014 (fecha a coordinar).

I. Datos de la Aplicación y Sistema físico (Planta) a controlar:

Aplicación: grúa tipo pórtico de muelle, portacontenedores (ver esquema en Fig. 1).

Hipótesis simplificativas:

- estructura de pórtico totalmente rígida;
- sistema de izaje de carga (motor, tambor y cable) totalmente sobre el carro; 1 cable equivalente elástico sin masa propia;
- efectos externos: resistencia al viento despreciable; sólo se considera aceleración gravitatoria sobre carga.



Control de Operación Semi-Automático:

a) Configuración: el operador ajusta, mediante interfaz HMI,

- límites de traslación (sobre muelle, fijo, y sobre barco, fijo o incremental ± 1);
- altura de izaje máxima (despeje de obstáculos: viga testera, contenedores apilados) y altura inicial de izaje y final de descenso automático (sobre muelle y sobre barco).

b) Operación: el operador realiza, en Modo Manual, la maniobra inicial de aproximación, toma de carga e izaje inicial cargado \rightarrow transferencia a Modo Automático: Trayectoria de izaje, traslación, descenso y detención \rightarrow Modo Manual: maniobra final de aproximación, liberación de carga e izaje inicial vacío \rightarrow retorno automático vacío. \rightarrow Repetir ciclo.

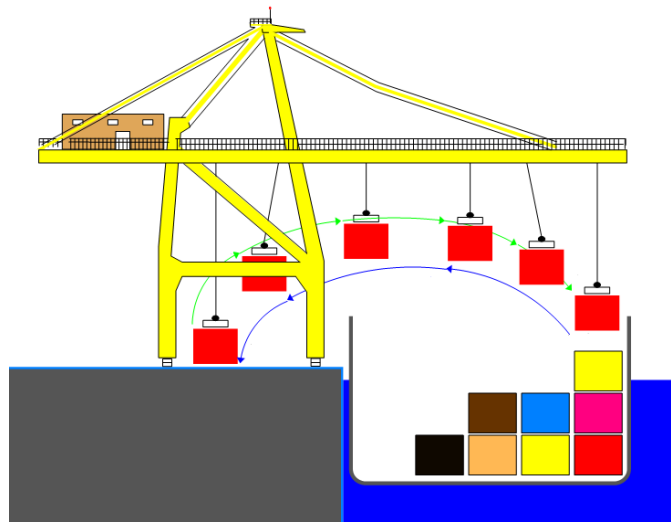


Figura 1: Esquema gral. de la aplicación de grúa

Coordenadas (sistema de referencia inercial fijo a muelle) y **Límites de movimiento:**

1. **Traslación de carro:** eje x, horizontal (positivo \rightarrow referido al borde de muelle $x=0$)

- Posición x: $[-30.0$ (sobre muelle) ... 0.0 ... (sobre barco) $+50.0]$ m;
- Velocidad máx.: ± 4.0 m/s (cargado o sin carga);
- Aceleración máx.: ± 1.0 m/s² (cargado o sin carga).

2. **Izaje de carga:** eje y, vertical (positivo \uparrow referido al nivel de muelle $y=0$)

- Posición y: $[-20.0$ (dentro de barco) ... 0.0 ... (sobre barco / muelle) $+40.0]$ m
Despeje mínimo sobre borde de muelle (viga testera): $+15$ m
- Velocidad máx.: ± 1.5 m/s (cargado) o ± 3.0 m/s (sin carga);
- Aceleración máx.: ± 1.0 m/s² (cargado o sin carga).

Carga suspendida (sometida a acción externa de aceleración gravitatoria: $g = 9.80665$ m/s²)

- Gancho vacío: $m_l = m_{l0} = 15000$ kg (sin carga)
- Gancho con Carga nominal: $m_l = 65000$ kg ($15000 + 50000$ kg)

Cadena cinemática de accionamientos: (simplificada)

1. **Traslación de carro:** \rightarrow referir a coordenada de traslación x

- Carro (incluye sistema izaje): $m_c = 50000$ kg;
- Radio primitivo de rueda: $R_w = 0.5$ m;
- Momento de inercia de ruedas (eje lento): $J_w = 2.0$ kg.m²;

- Caja reductora: relación $i=15.0:1$;
- Momento de inercia de motor y freno (eje rápido): $J_m = 10.0 \text{ kg.m}^2$;
- Fricción mecánica: **definir b_m , b_w** .

2. Izaje de carga: → referir a coordenada de izaje y

- Hipótesis simplif.: cable rígido (a la tracción/pandeo) y sin masa propia.
- Radio primitivo de tambor: $R_d = 0.75 \text{ m}$ (1 sola corrida de cable);
- Momento de inercia de tambor (eje lento): $J_d = 8.0 \text{ kg.m}^2$;
- Caja reductora: relación $i=30.0:1$;
- Momento de inercia de motor y freno (eje rápido): $J_m = 30.0 \text{ kg.m}^2$;
- Fricción mecánica: **definir b_m , b_d** .

Modelo dinámico simplificado de la planta (carro-izaje-carga) en tiempo continuo:
(equivalente, referido a coordenadas en plano vertical de traslación x e izaje y)

Carga suspendida: $m_l \cdot \ddot{x}_l(t) = -F_w(t) \cdot \sin \theta(t)$ (Ec. 1.a)

$m_l \cdot \ddot{y}_l(t) = F_w(t) \cdot \cos \theta(t) - m_l \cdot g$ (Ec. 1.b)

Accionamiento Traslación: $M_t \cdot \ddot{x}_t(t) = F_t(t) - b_t \cdot \dot{x}_t(t) + F_w(t) \cdot \sin \theta(t)$ (Ec. 2)

Accionamiento Izaje: $M_h \cdot \ddot{l}_h(t) = F_h(t) - b_h \cdot \dot{l}_h(t) - F_w(t)$ (Ec. 3)

Cable elástico amortiguado: $F_w(t) = K_w \cdot (l(t) - l_h(t)) + b_w \cdot (\dot{l}(t) - \dot{l}_h(t))$ (Ec. 4)

(Nota: cable siempre tensado por acción de gravedad, sin flexión o pandeo)

Tal que (restricción geométrica):

$$x_l(t) = x_t(t) + l(t) \cdot \sin \theta(t)$$

$$y_l(t) = y_{t0} - l(t) \cdot \cos \theta(t)$$

o, equivalentemente:

$$l(t) = \sqrt{(x_l(t) - x_t(t))^2 + (y_{t0} - y_l(t))^2}$$

$$\tan \theta(t) = \frac{x_l(t) - x_t(t)}{y_{t0} - y_l(t)}$$

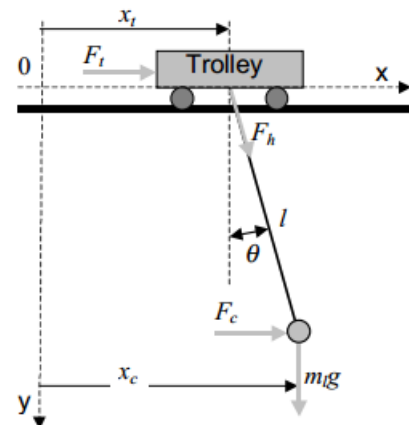


Figura 2: Modelo físico idealizado

Nota: utilizar la nomenclatura y sentido de eje y indicadores en la descripción de coordenadas y ecuaciones, la cual difiere levemente de la indicada en el modelo físico idealizado de la Fig. 2.