

Control Semi-Automático de Grúa Portuaria de Muelle tipo Pórtico

Autómatas y Control Discreto
Maximiliano García – Jonathan Obredor
2019

Contenido

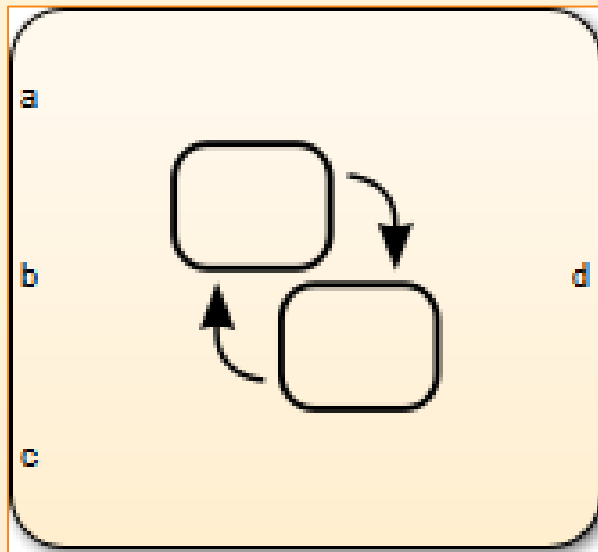
- Objetivos
- Modelo matemático
- Autómata
- Controladores PID
- Trayectorias
- CODESYS
- Resultados

Objetivos

- Didáctico
- Desarrollo del autómata híbrido de control
- Model-in-the-Loop
- Software-in-the-Loop
- Desempeño
- Trayectorias óptimas de carga o descarga, evitando colisiones

Dos etapas

Simulink
(Model in the loop)

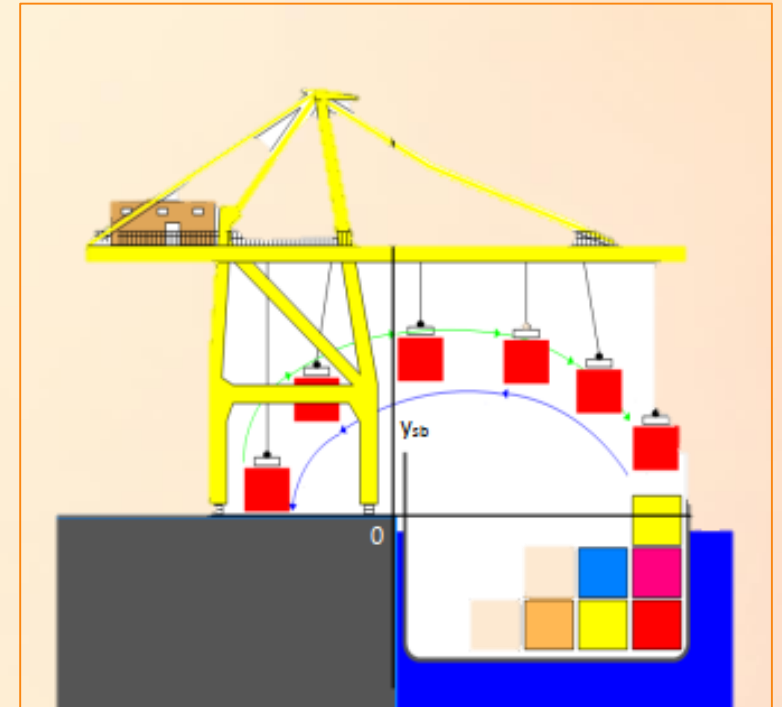


CODESYS (IEC 61131)
(Software in the loop)



Modelo Matemático: hipótesis

- Dos movimientos acoplados
- Estructura rígida (no hay viento)
- Cajas reductoras rígidas, sin backlash (1 GDL)
- Sistema de izaje montado sobre el carro.
- Radio del tambor de izaje constante
- Cable elástico sin masa siempre tensado
- Carro sin resbalamiento

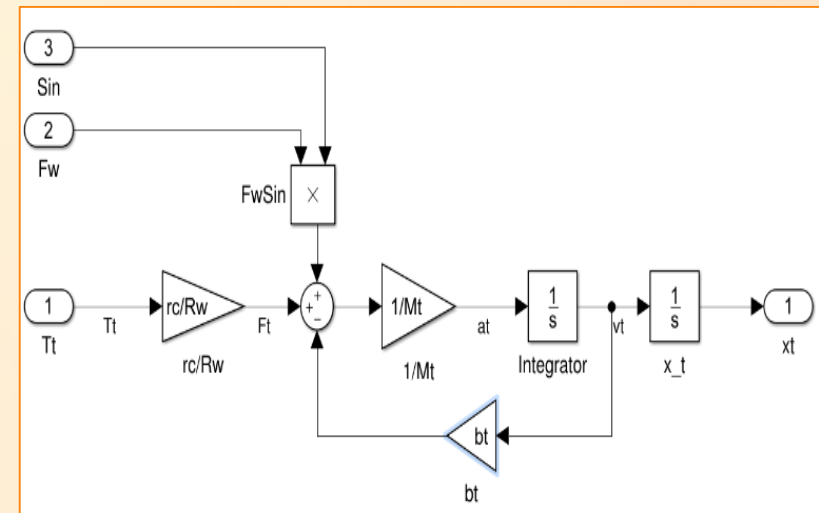


Carro

$$M_t \cdot \dot{v}_t = F_t - b_t \cdot v_t + F_w \cdot \sin \theta$$

Donde:

- M_t Es la masa equivalente en el eje traslacional
- v_t Es la velocidad lineal
- F_t Es la fuerza del accionamiento en el eje traslacional
- b_t Es la fricción viscosa equivalente
- F_w Es la fuerza ejercida por el cable

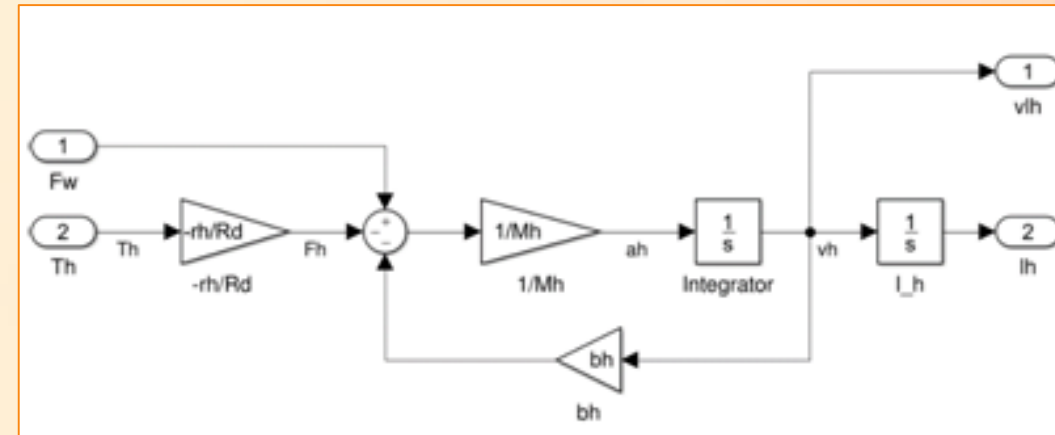


Izaje

- $M_h \cdot \dot{V}_h(t) = -F_h(t) - b_h \cdot V_h(t) + F_w(t)$

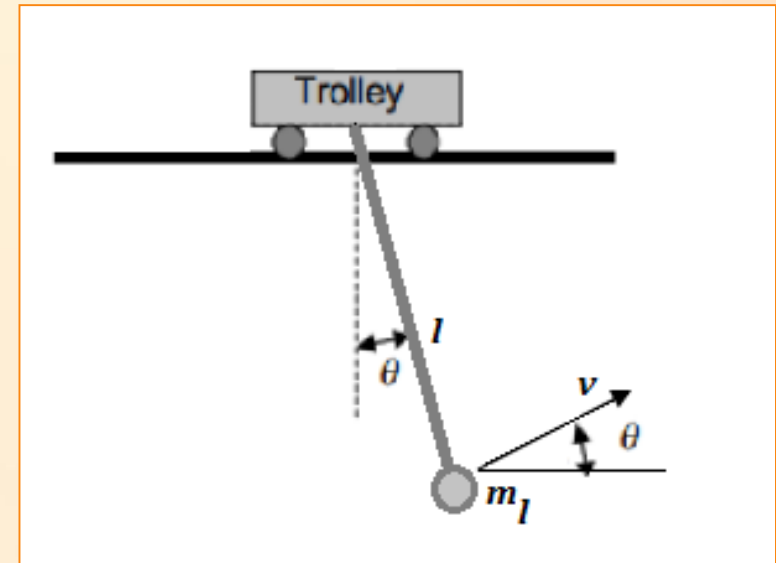
Donde:

- M_h Es la masa equivalente en el eje traslacional
- v_h Es la velocidad lineal
- F_h Es la fuerza del accionamiento en el eje traslacional
- b_h Es la fricción viscosa equivalente
- F_w Es la fuerza ejercida por el cable



Balaneo de la carga

- sistema es subactuado
- *Lagrange* $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{x}_t} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial x_t} = F_t - b_t * \dot{x}_t$
 $\frac{d}{dt} \left(\frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \dot{\theta}} \right) - \frac{\partial \mathcal{L}}{\partial \theta} = 0$
- $$\begin{cases} (m_c + m_l) \ddot{x}_t + m_l l \ddot{\theta} = F_t - b_t v_t \\ g \theta + \dot{v}_t + l \ddot{\theta} = 0 \end{cases}$$
- Usando $\dot{v}_t = \frac{F_t - b_t v_t}{M_t}$
- $$(m_c + m_l) \dot{v}_t + m_l * l * \ddot{\theta} = -M_t * (\ddot{\theta} * l + \theta * g)$$

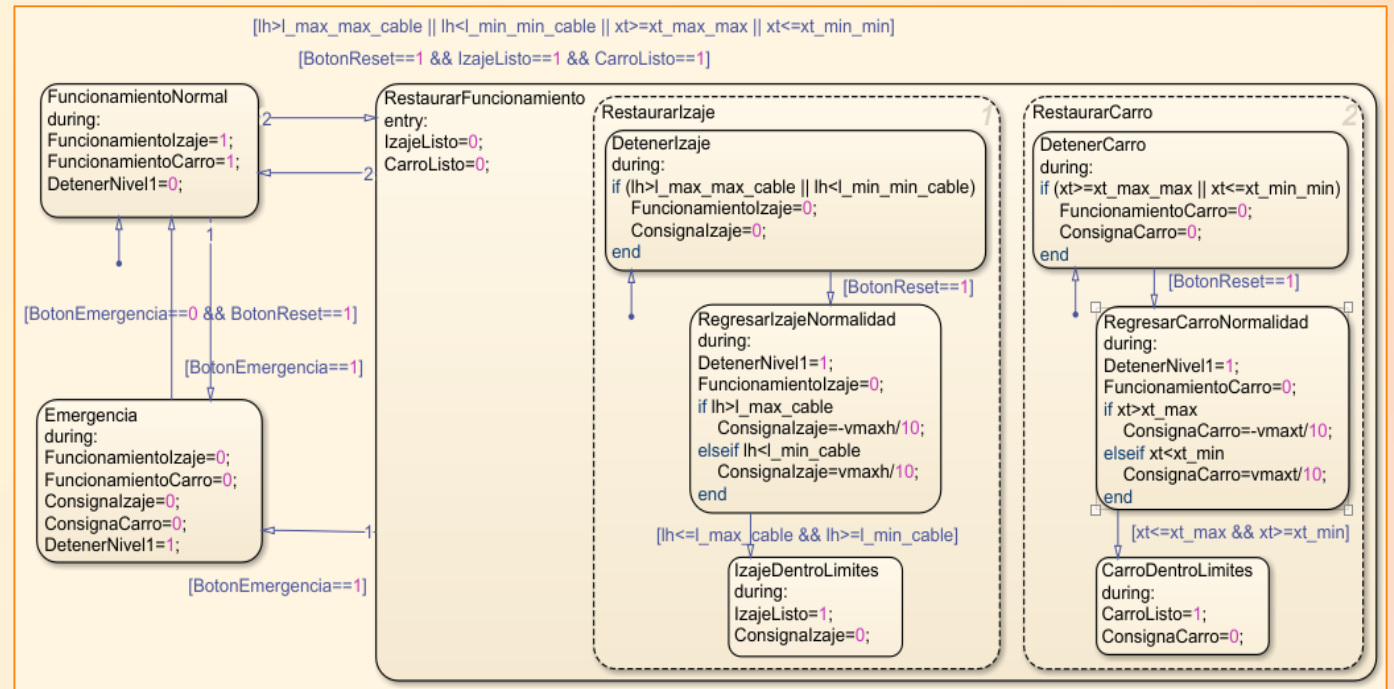


Autómata híbrido de control



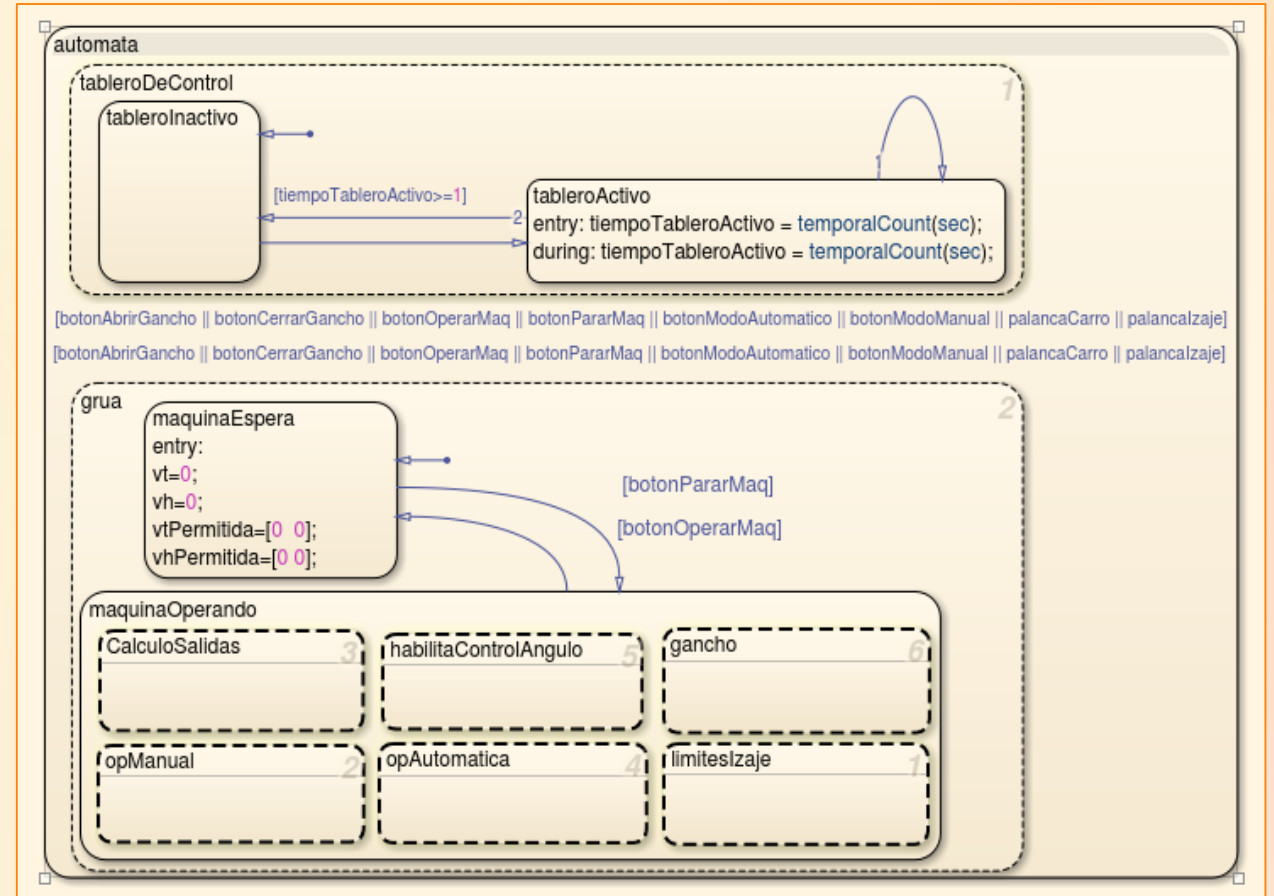
Nivel 0: Autómata de Seguridad

- Reducido
- Toma el control ante falla o riesgo
- Sensor de fines de carrera y botón de emergencia
- Restauración a condición segura



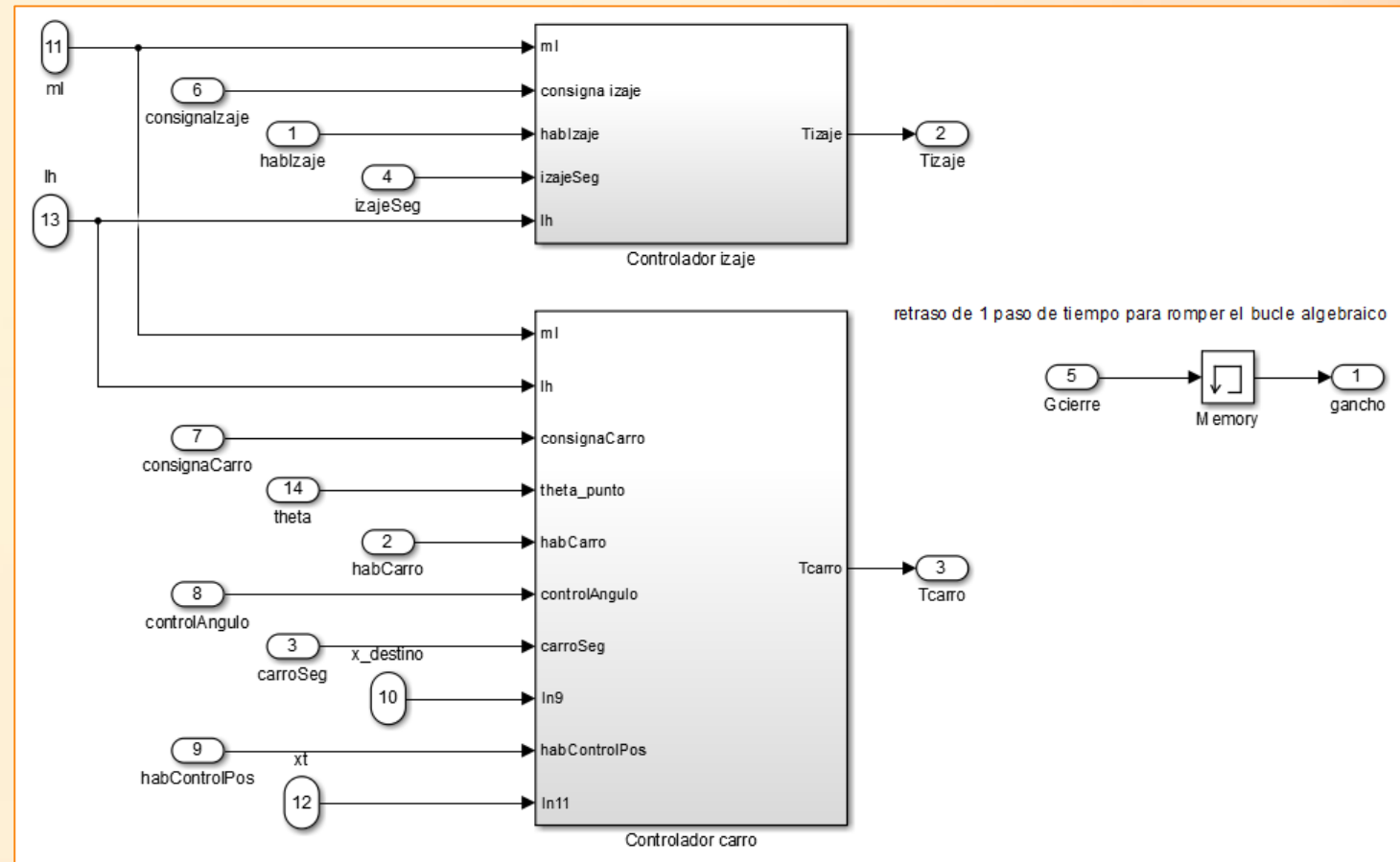
Nivel 1: Control Supervisor global

- De estados discretos activados por eventos
- Estructura jerárquica
- Generación de trayectorias
- Control de operación del sistema
- Diagnóstico (alarmas y fallas)

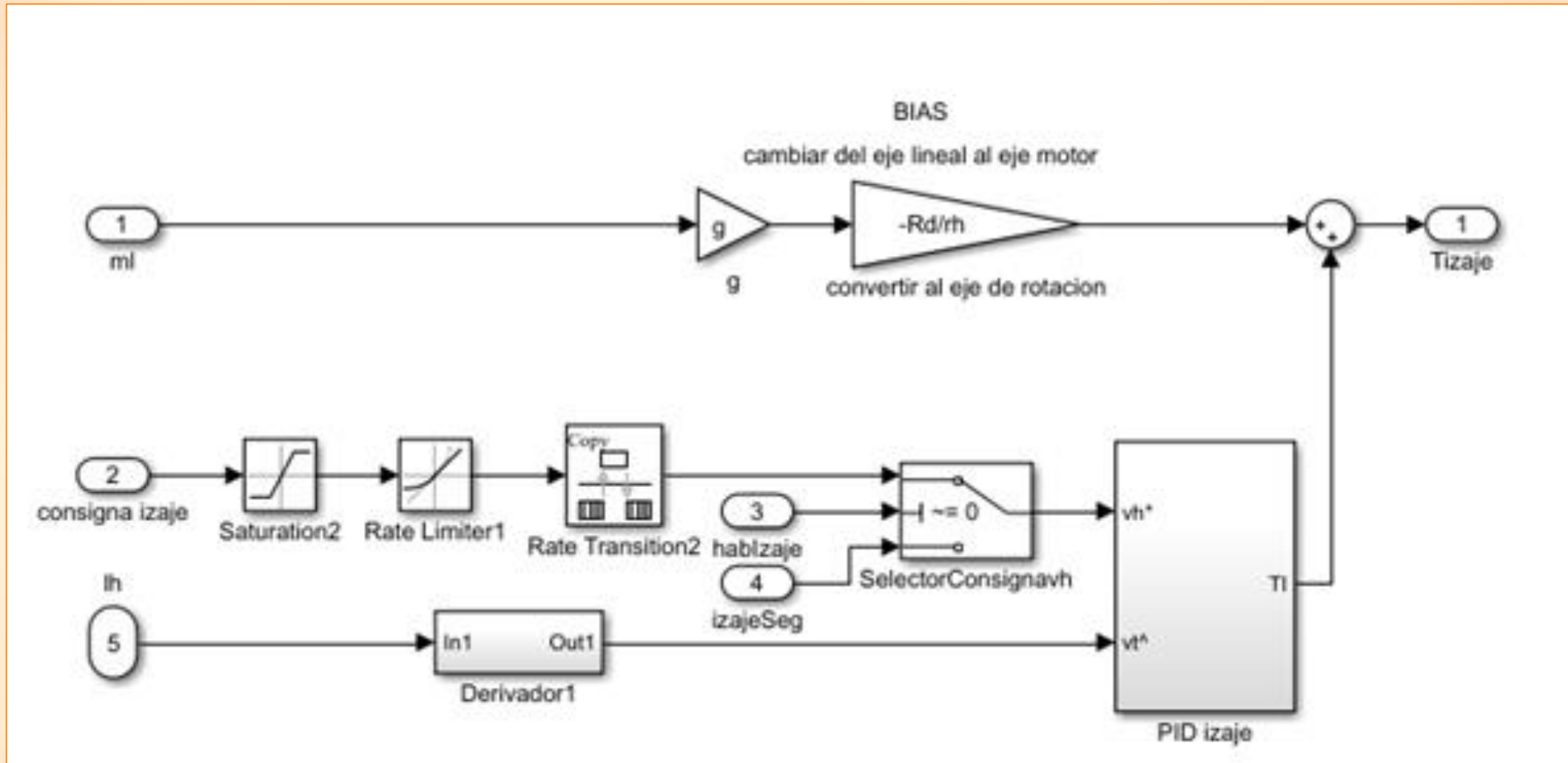


Nivel 2: Controladores de movimiento

- Estados continuos en tiempo discretizado
- Sintonía serie
- PID izaje
- PID carro
- PD balanceo

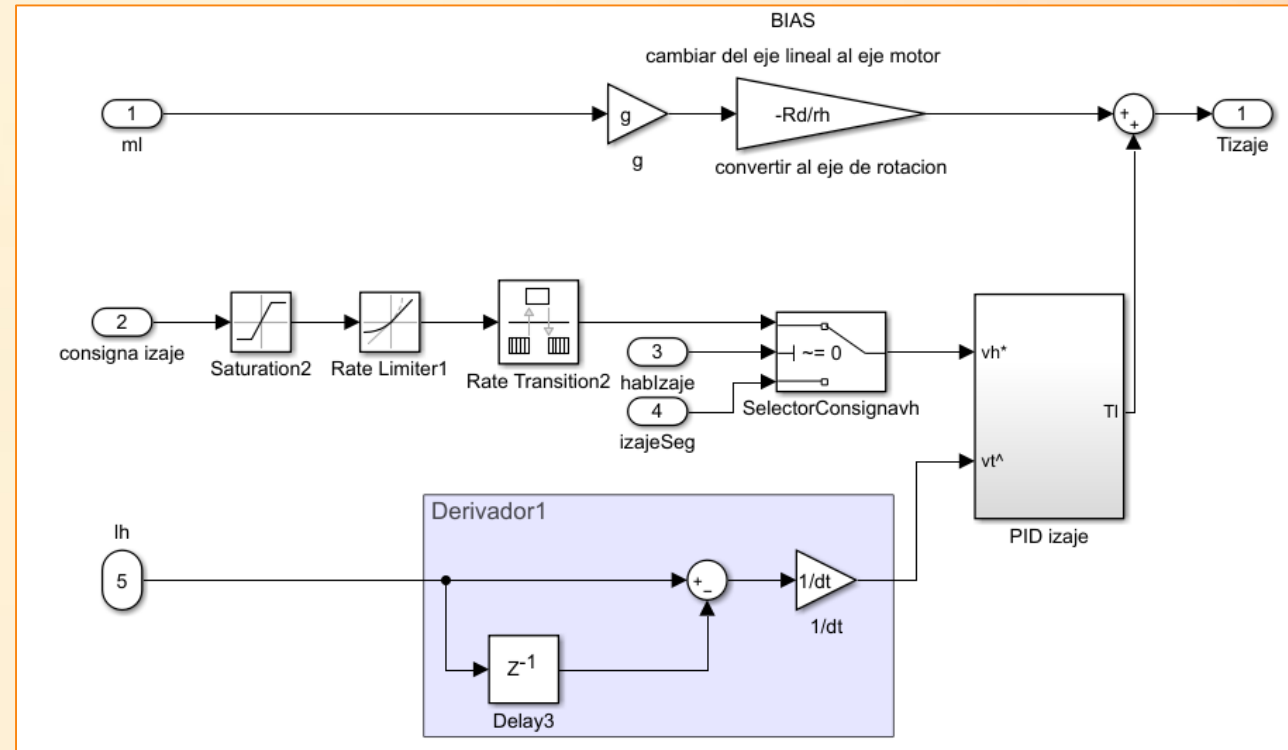
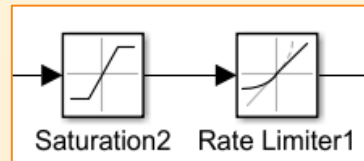


Control de movimientos: Izaje

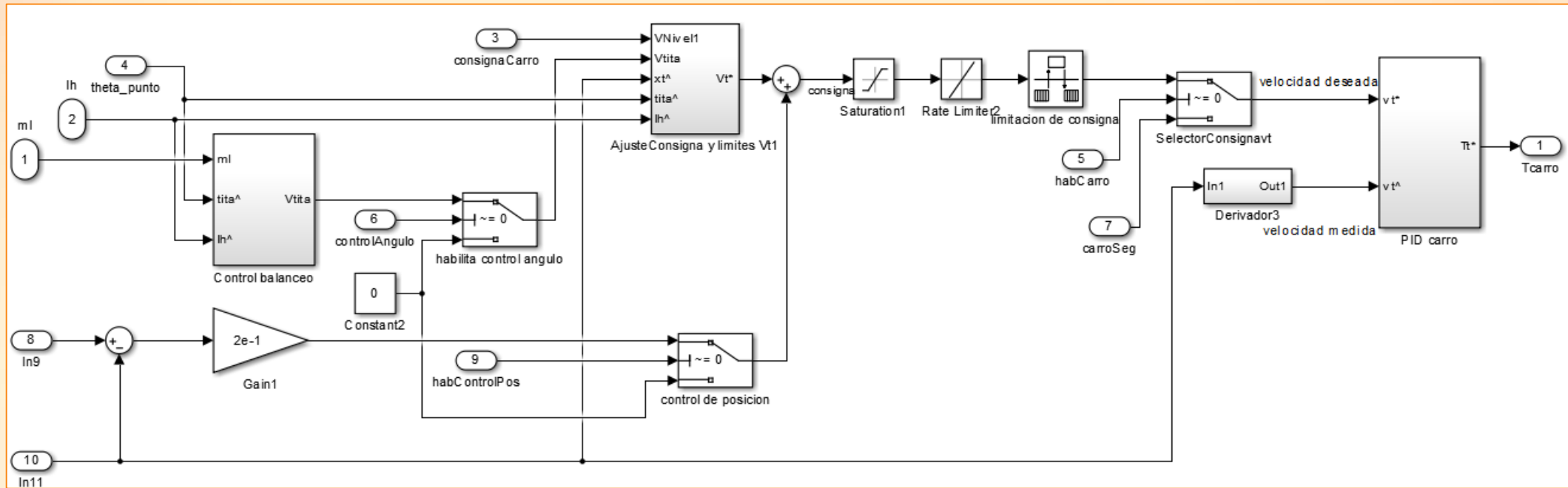


PID de izaje de la carga

- Limitar velocidad con saturación 3m/s para el izaje vacío (1,5m/s).
- Limitar aceleración con “rate limiter” $1 \frac{m}{s^2}$.

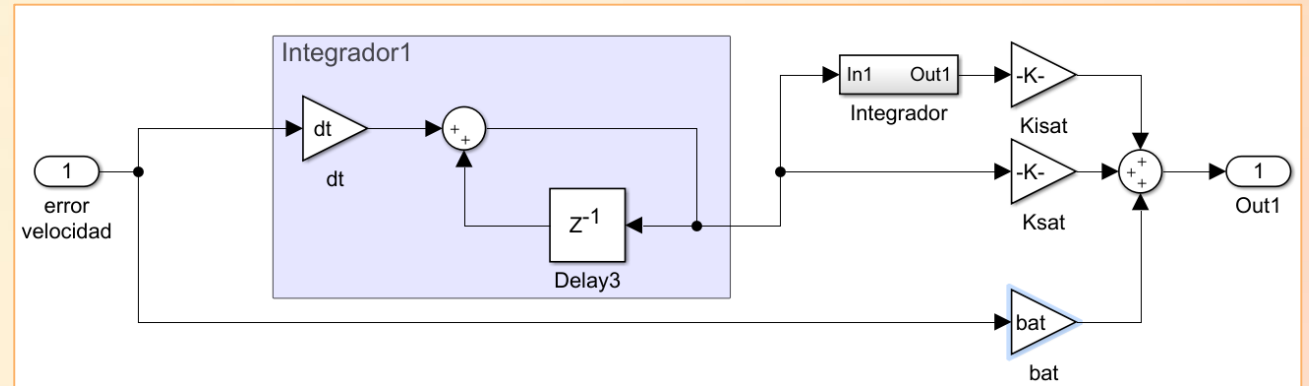


Control de movimientos: Carro



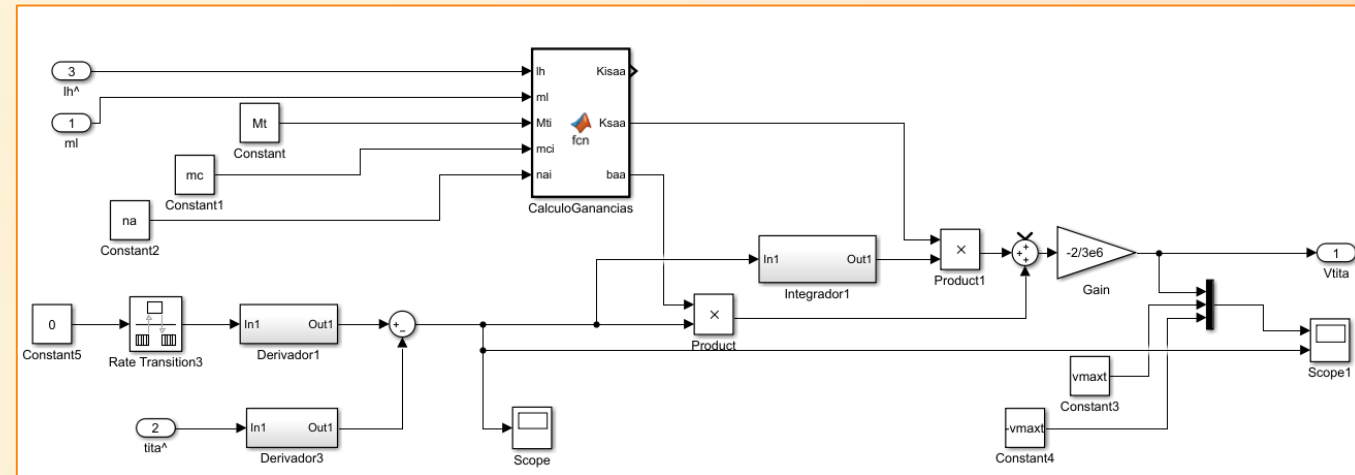
PID de traslación del carro

- $G_t(s) = \frac{V_t(s)}{F_t(s)} = \frac{1}{(M_t s + b_t)}$
- $T_t(s) = \left(b_a + \frac{k_{sa}}{s} + \frac{k_{sia}}{s^2} \right) E_{v_t}(s)$
- $$\begin{cases} b_{ah} = M_h * n_h * \omega_{posh} \\ K_{sah} = M_h * n_h * \omega_{posh}^2 \\ K_{siah} = M_h * \omega_{posh}^3 \end{cases}$$
- Similar para el izaje



PD de balanceo de carga

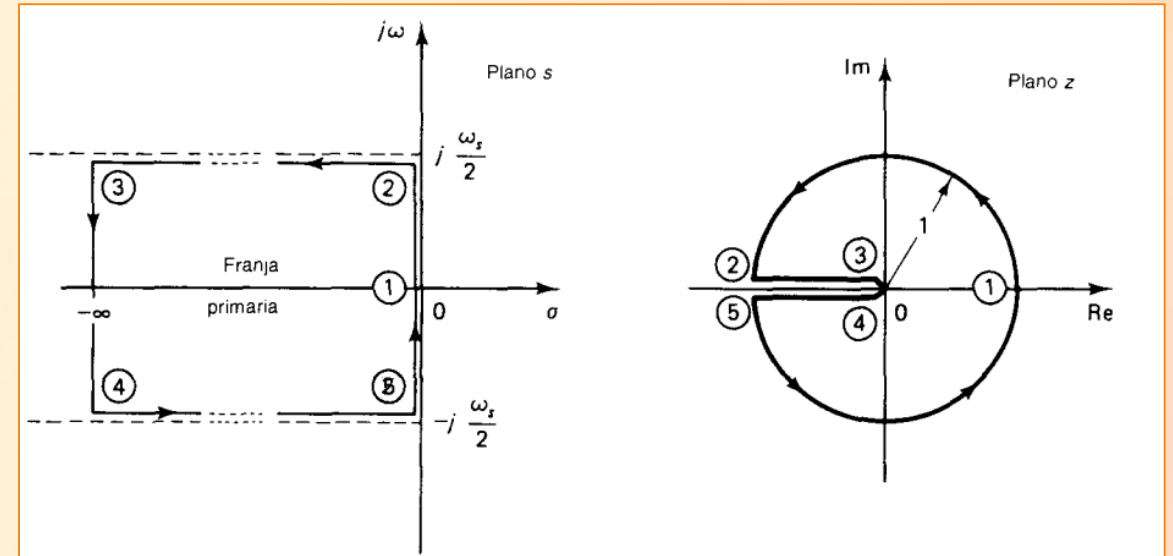
- ganancias autoajustadas (longitud del cable, peso del contenedor)
- Linealización para ángulos pequeños
- $\sin(\theta) = \theta$; $\cos(\theta) = 1$; $\theta\dot{\theta}^2 = 0$
- $$G(s) = \frac{\theta(s)}{V(s)} = \frac{-(m_c + m_l) * s}{(m_l + M_t) * l * s^2 + M_t * g}$$
- $$V_t(s) = \left(b_a + \frac{k_{saa}}{s} \right) E_a(s)$$
- $$\begin{cases} b_{aa} = M_a * n_a * \omega_{posa} \\ K_{saa} = b_{aa} * \omega_{posa} \end{cases}$$



$$\omega_a = \pm \frac{\sqrt{-4 * (m_l + M_t) * M_t * g * l}}{2 * (m_l + M_t) * l}$$

PID: Problema del muestreo

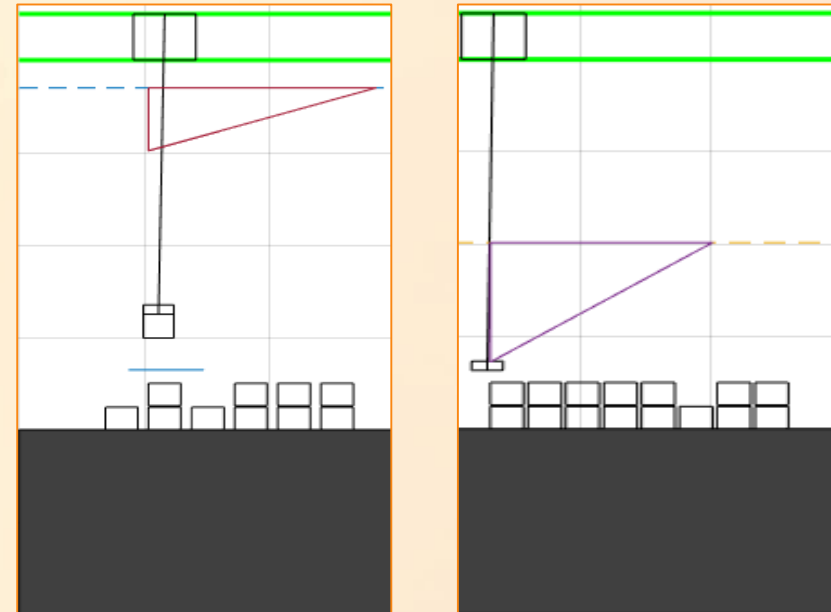
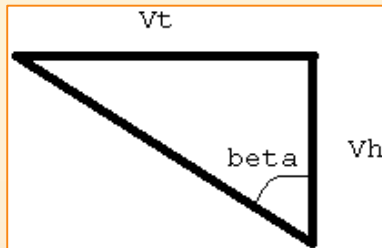
- muestreo por impulsos $Z = e^{Ts}$
- $\omega_{post} \leq 1.2 * \omega_t, n_t = 2, \text{ para } \xi = 0,5$
- $\omega_{posh} \leq 1.2 * \omega_h, n_h = 2$
- $\omega_{posa} \leq 1.6 * \omega_a, n_a = 3; \text{ para } \xi = 1$



Fuente: Ogata, Control en Tiempo Discreto

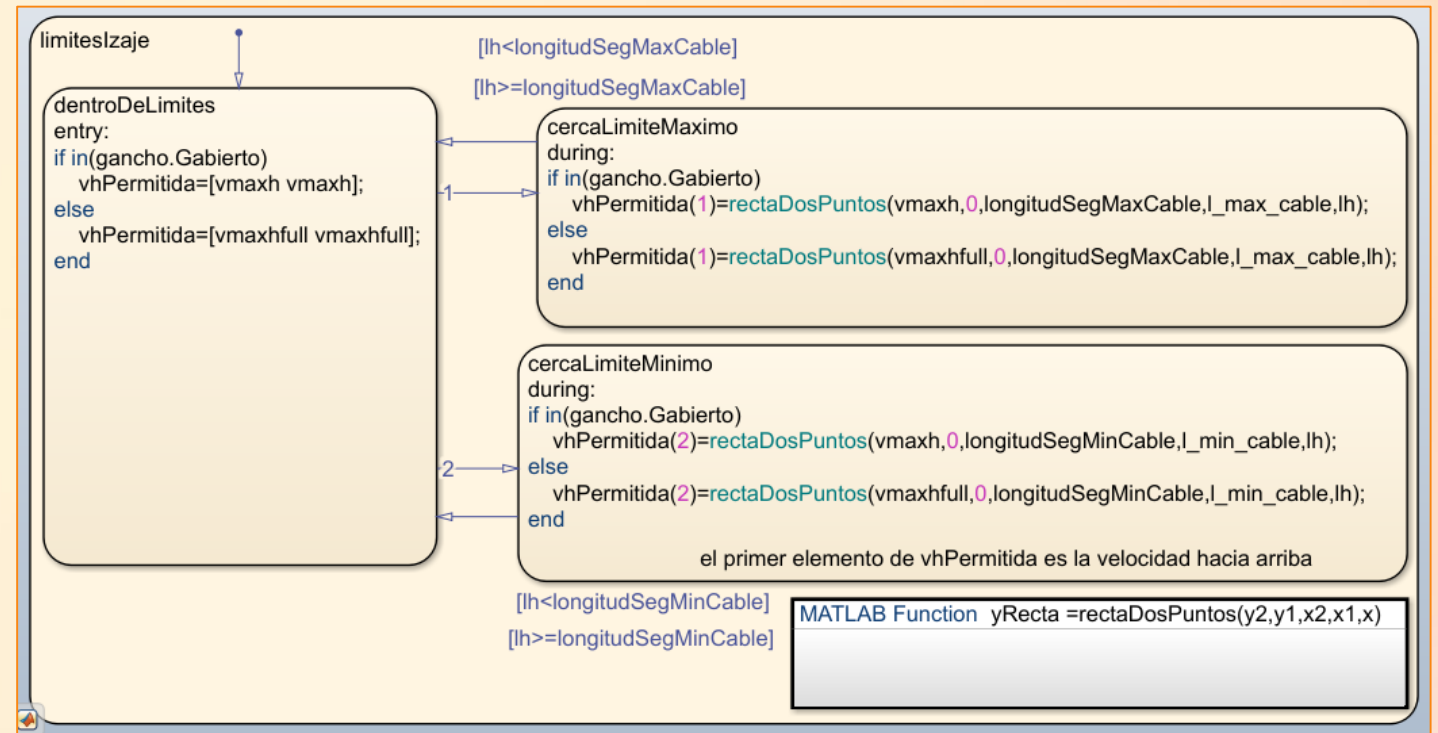
Trayectorias: Generación

- Los catetos se modifican dependiendo de la carga suspendida
- Control P corrige errores en el destino

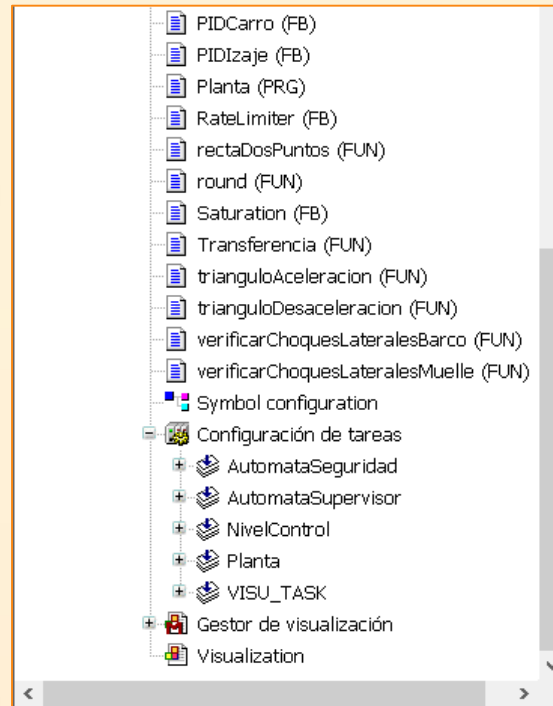
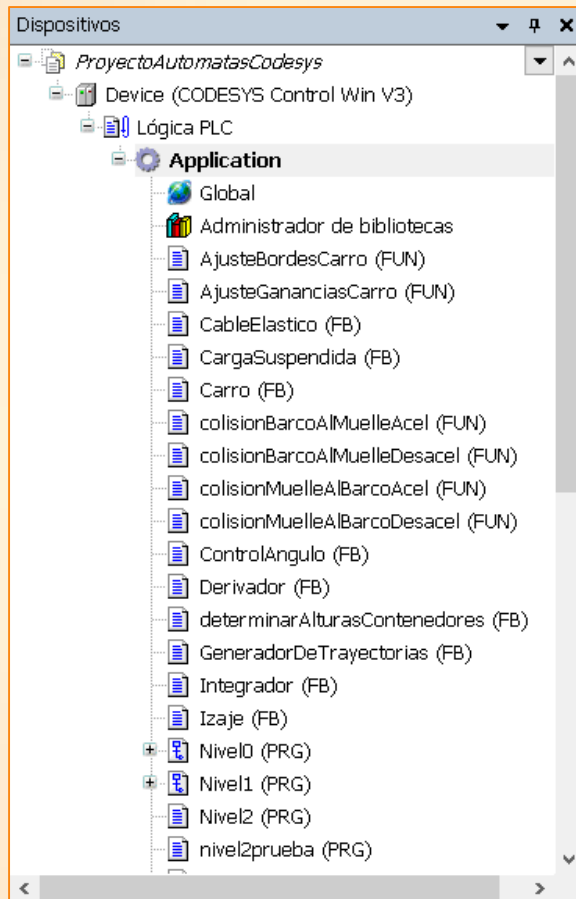


Trayectorias: Velocidad hacia los límites

- línea recta hasta volverse cero en los límites de operación

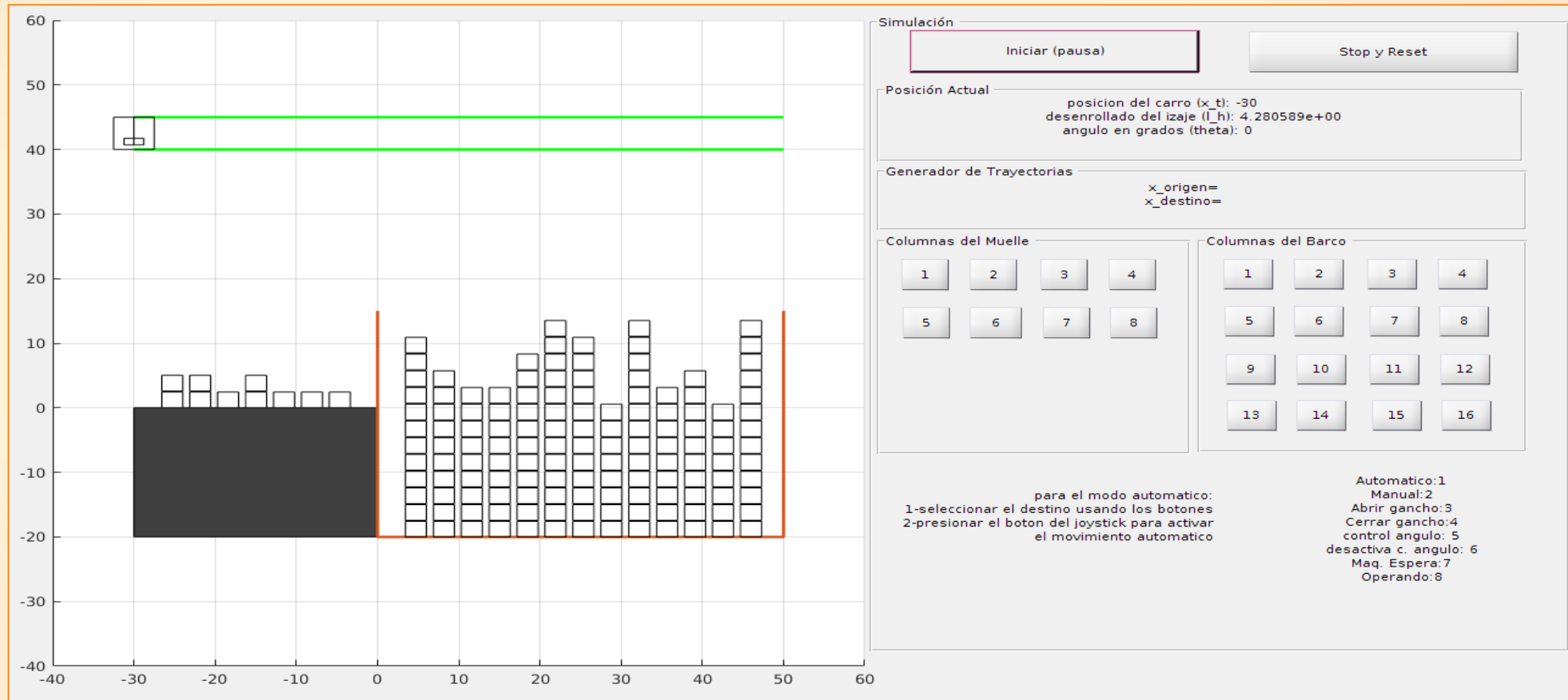


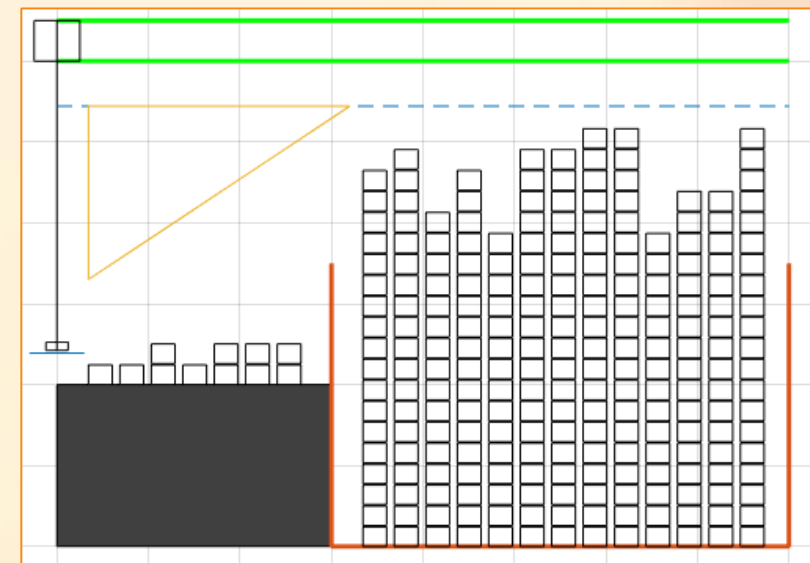
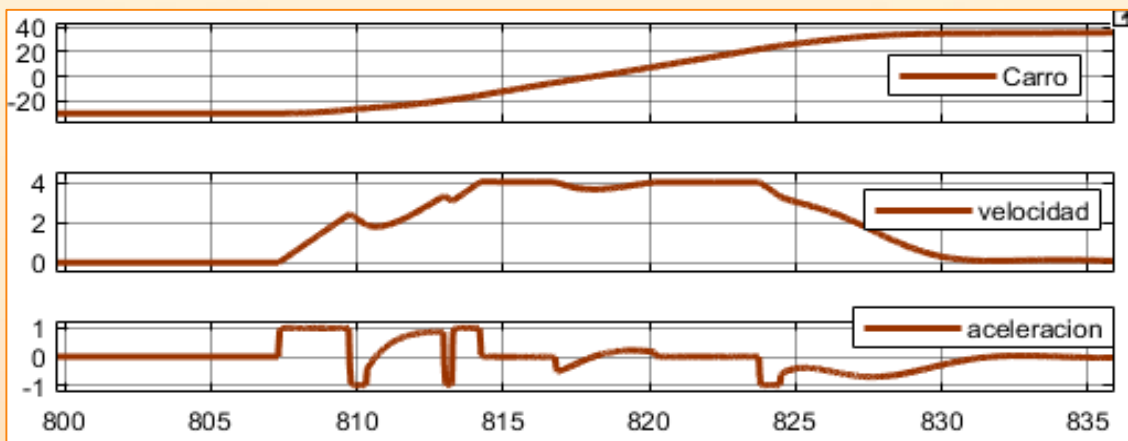
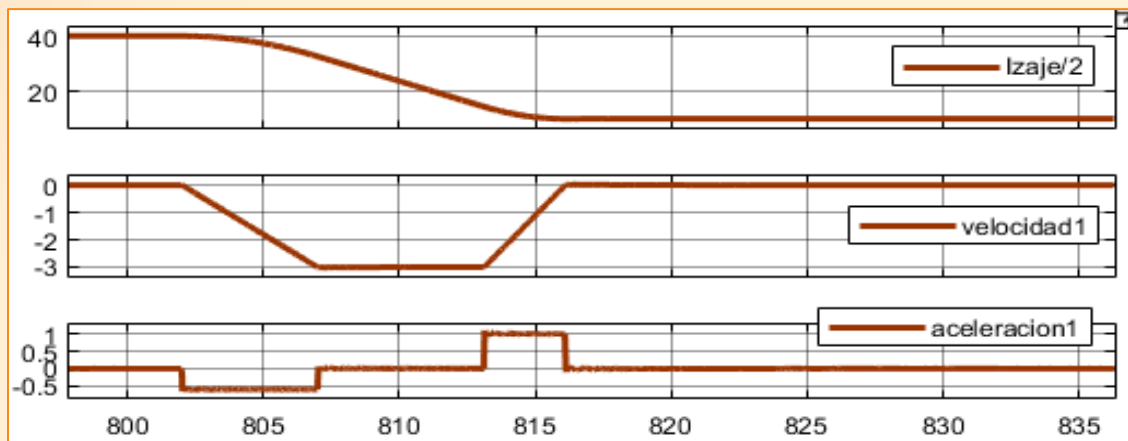
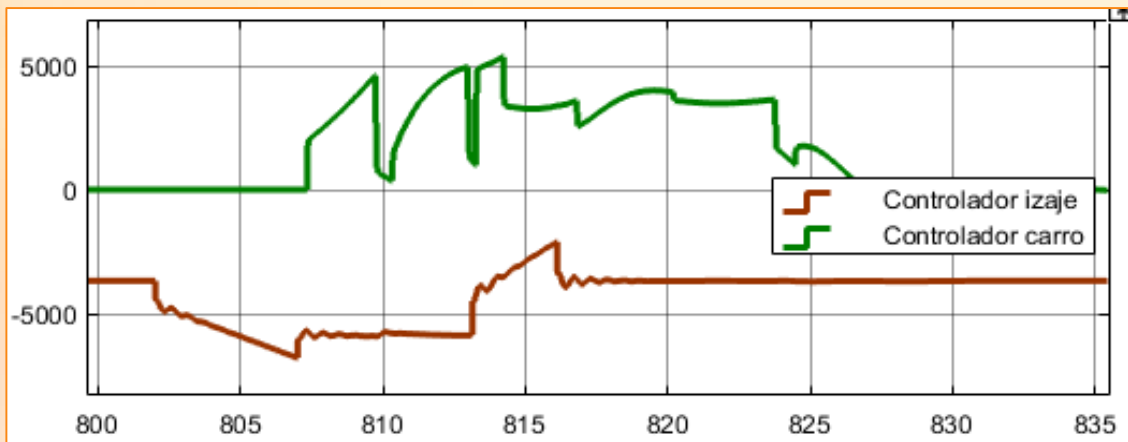
Simulación en CODESYS



- IEC 61131
- Nivel cero: 100 ms
- Nivel uno: 50 ms
- Nivel dos: 22 ms

Interfaz Hombre Máquina



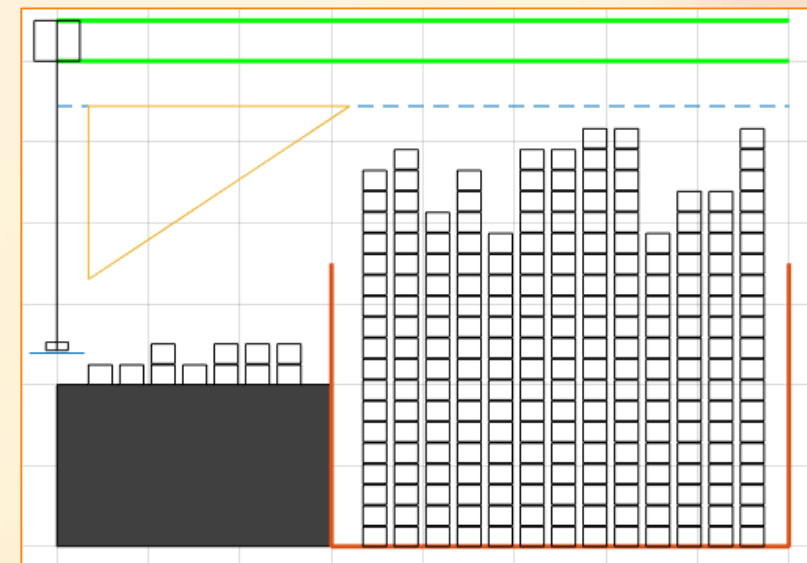
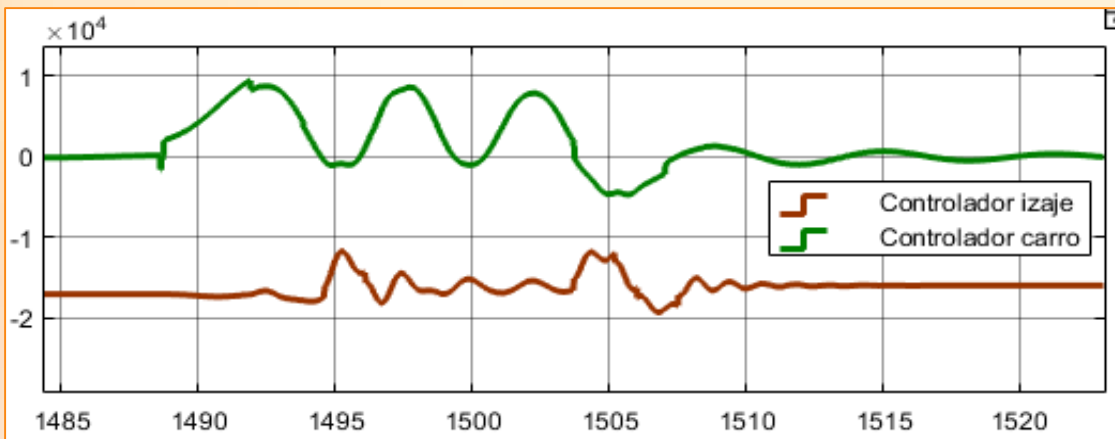


Resultados muelle 1 barco 10 sin carga

Torques

Izaje

Carro

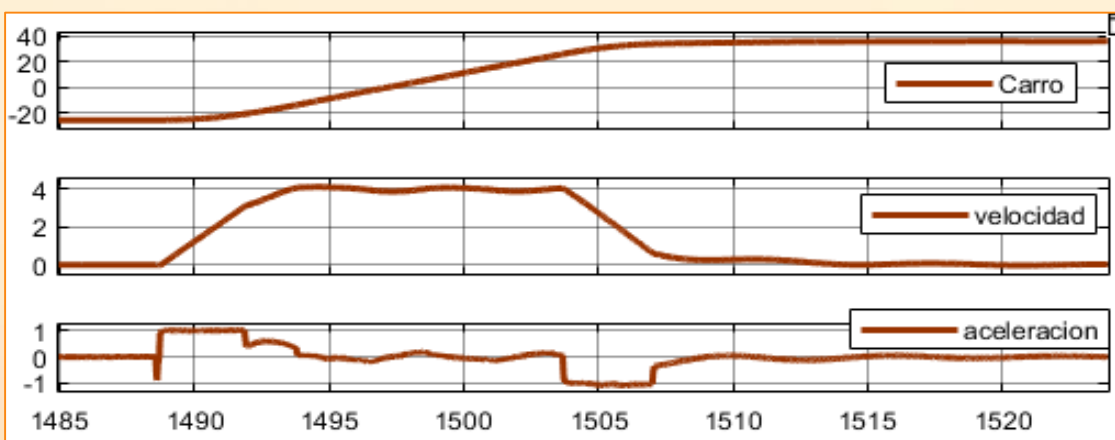
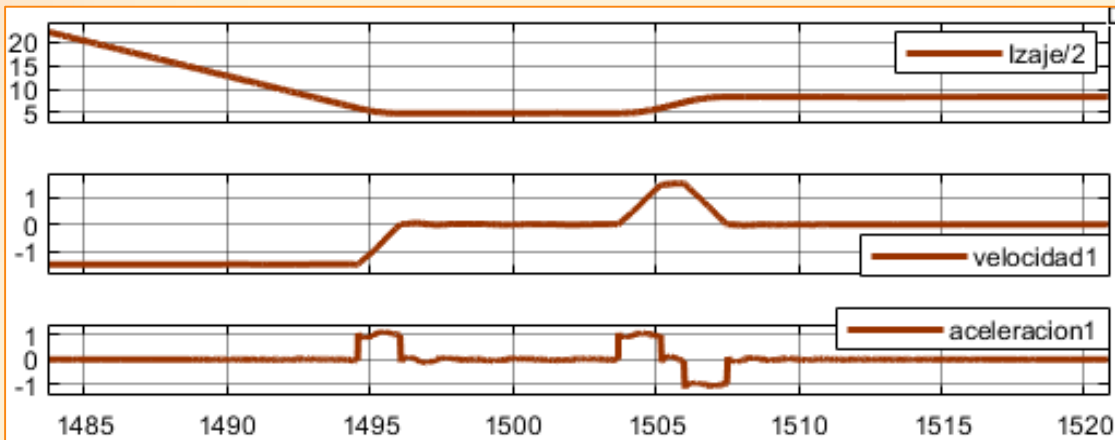


Resultados muelle 1 barco 10 carga 1 contendor

Torques

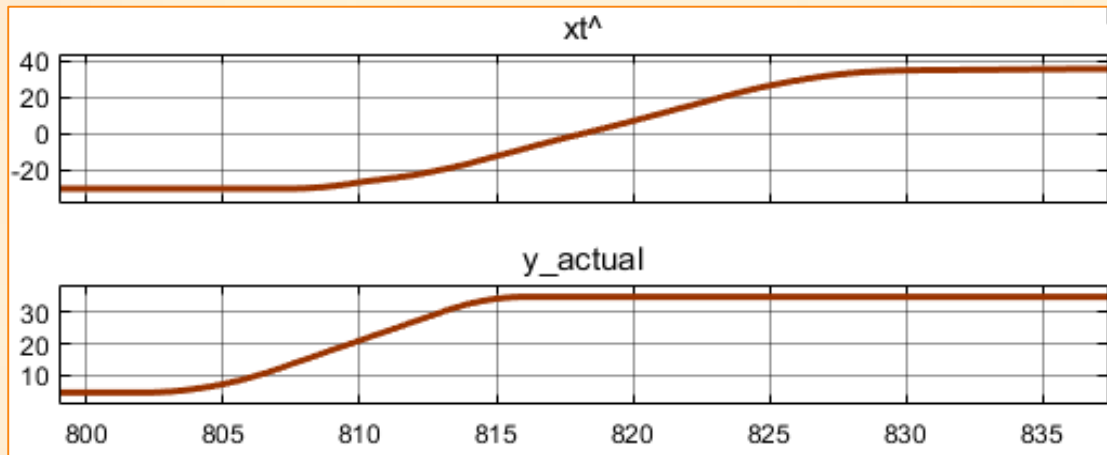
Izaje

Carro

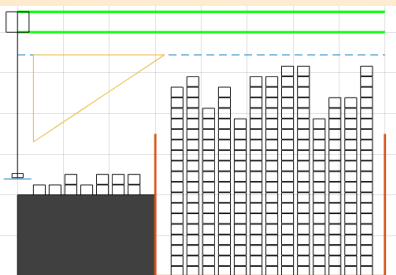
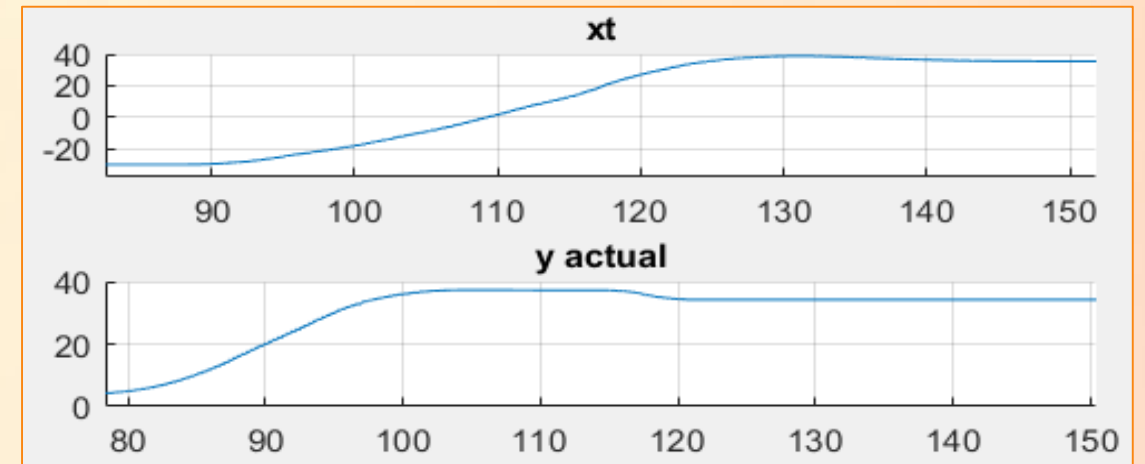


Resultados : muelle 1 barco 10 gancho vacío

Matlab

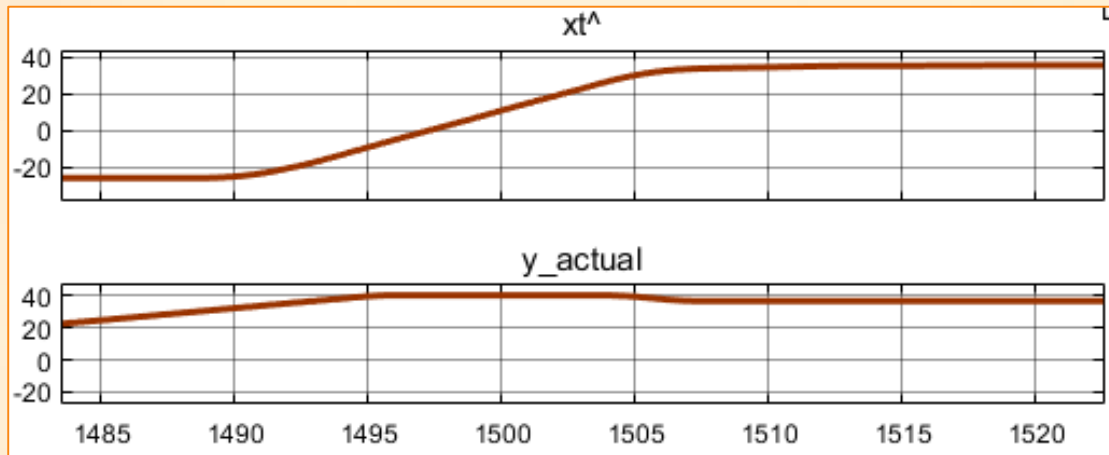


CODESYS

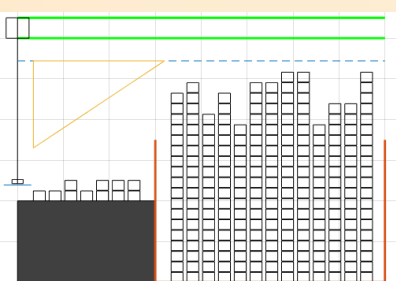
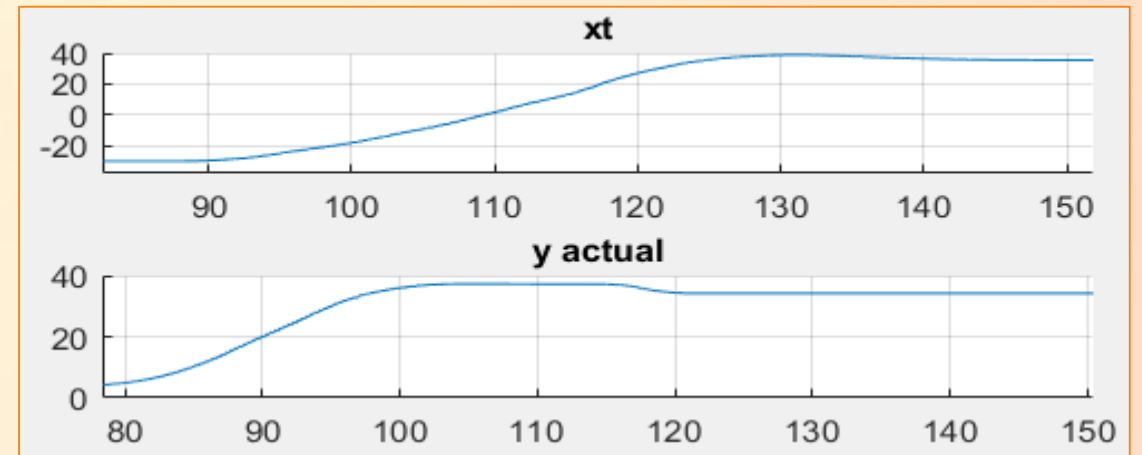


Resultados : muelle 1 barco 10 gancho con carga

Matlab



CODESYS



Muchas Gracias

