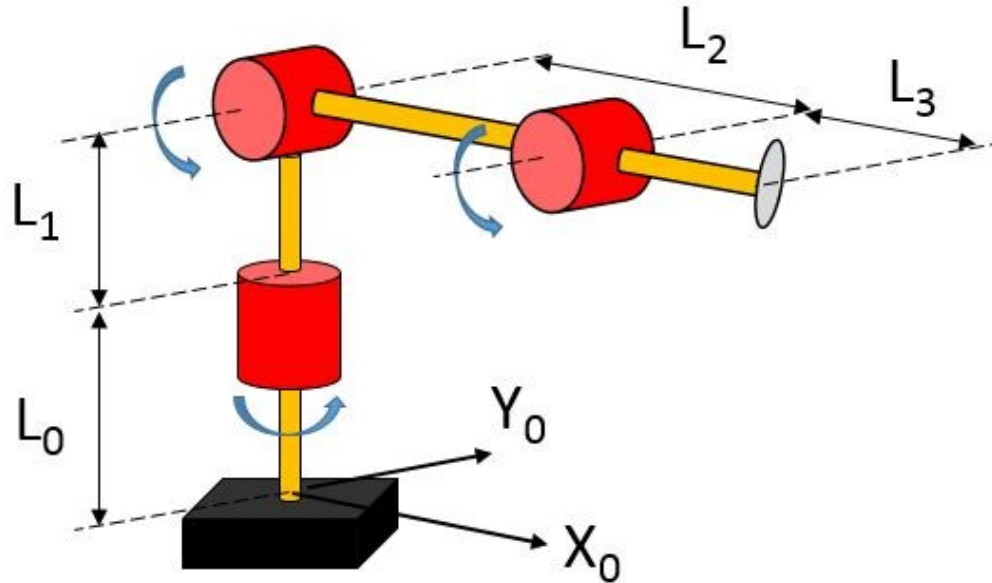


DEFENSA ROBOTICA MANIPULADORA



Autores: Lozano Romero, Daniel
Mérída Floriano, Javier
Montes Grova, Marco Antonio

INDICE DE LA PRESENTACION

1. Modelado Cinemático Robot RRR
2. Control Cinemático
3. Modelado dinámico
4. Control dinámico
5. Conclusiones generales

INDICE DE LA PRESENTACION

1. Modelado Cinemático Robot RRR
2. Control Cinemático
3. Modelado dinámico
4. Control dinámico
5. Conclusiones generales

MODELADO CINEMÁTICO ROBOT

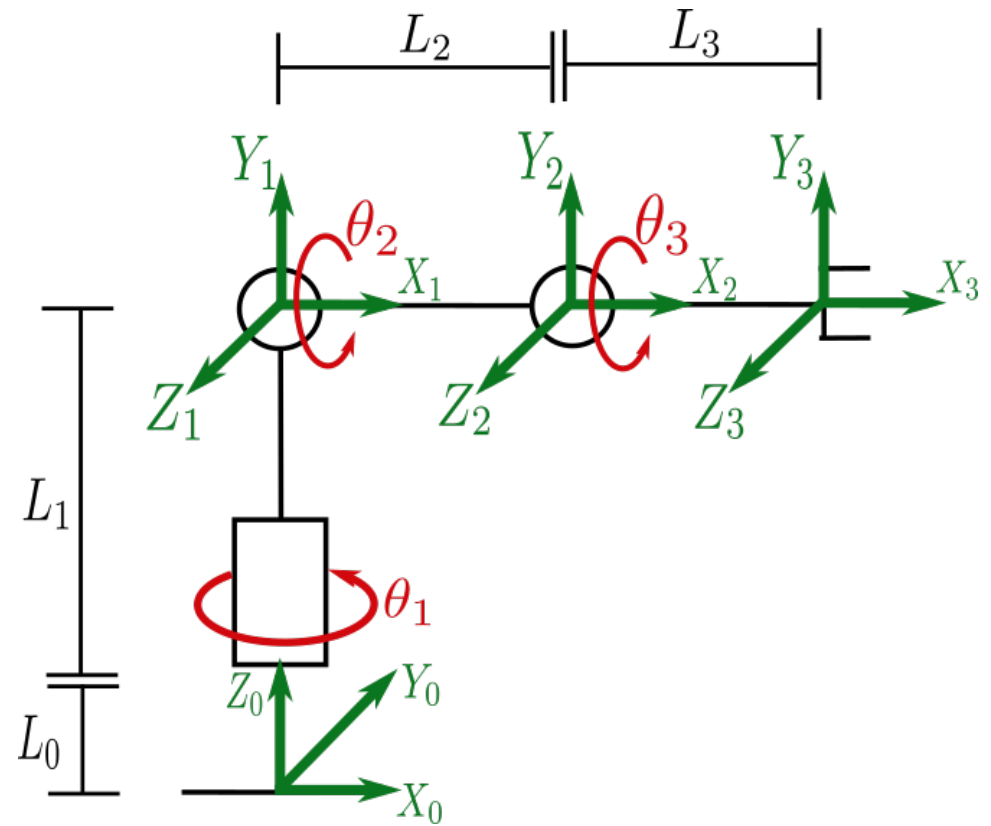
- Parámetros

Denavit-Hartenberg

Art.	θ_i	d_i	a_i	α_i
1	θ_1	L_0+L_1	0	$\frac{\pi}{2}$
2	θ_2	0	L_2	0
3	θ_3	L_3	L_2	0

$$L_0 = 0.6m \quad L_1 = 0.6m$$

$$L_2 = 1m \quad L_3 = 0.8m$$



MODELADO CINEMÁTICO ROBOT

- Cinemática Directa

$${}^0A_1 {}^1A_2 {}^2A_3 = {}^3T_0$$

$${}^3T_0 = \begin{pmatrix} \cos(\theta_2 + \theta_3)\cos(\theta_1) & -\sin(\theta_2 + \theta_3)\cos(\theta_1) & -\sin(\theta_1) & \cos(\theta_1)[L3\cos(\theta_2 + \theta_3) + L2\cos(\theta_2)] \\ \cos(\theta_2 + \theta_3)\sin(\theta_1) & -\sin(\theta_2 + \theta_3)\sin(\theta_1) & \cos(\theta_1) & \sin(\theta_1)[L3\cos(\theta_2 + \theta_3) + L2\cos(\theta_2)] \\ \sin(\theta_2 + \theta_3) & \cos(\theta_2 + \theta_3) & 0 & L0 + L1 + L3\sin(\theta_2 + \theta_3) + L2\sin(\theta_2) \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

- Cinemática Inversa

$$\theta_1 = \text{atan2}(\sin(\theta_1), \cos(\theta_1)) = \text{atan2}\left(\frac{py}{A}, \frac{px}{A}\right)$$

$$\theta_2 = \text{atan2}\left(\pm\sqrt{1 - \left(\frac{A}{\rho}\right)^2}, \frac{A}{\rho}\right) - \alpha$$

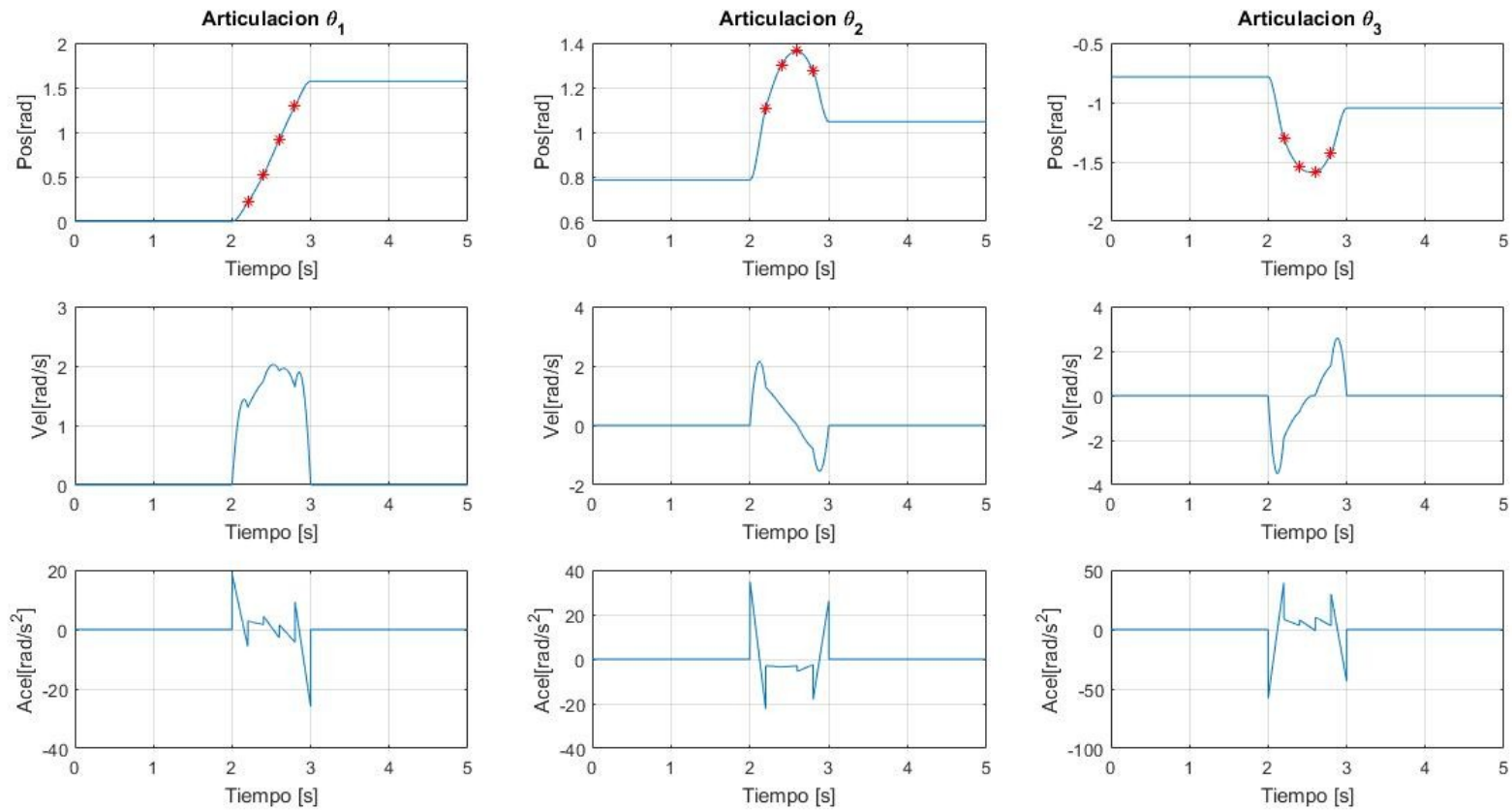
$$\theta_3 = \beta - \text{atan2}(\sin(\theta_3), \cos(\theta_3)) = \beta - \text{atan2}\left(\pm\sqrt{1 - \left(\frac{C - L2^2 - L3^2}{2L2L3}\right)^2}, \frac{C - L2^2 - L3^2}{2L2L3}\right)$$

INDICE DE LA PRESENTACION

1. Modelado Cinemático Robot RRR
- 2. Control Cinemático**
3. Modelado dinámico
4. Control dinámico
5. Conclusiones generales

CONTROL CINEMÁTICO ROBOT

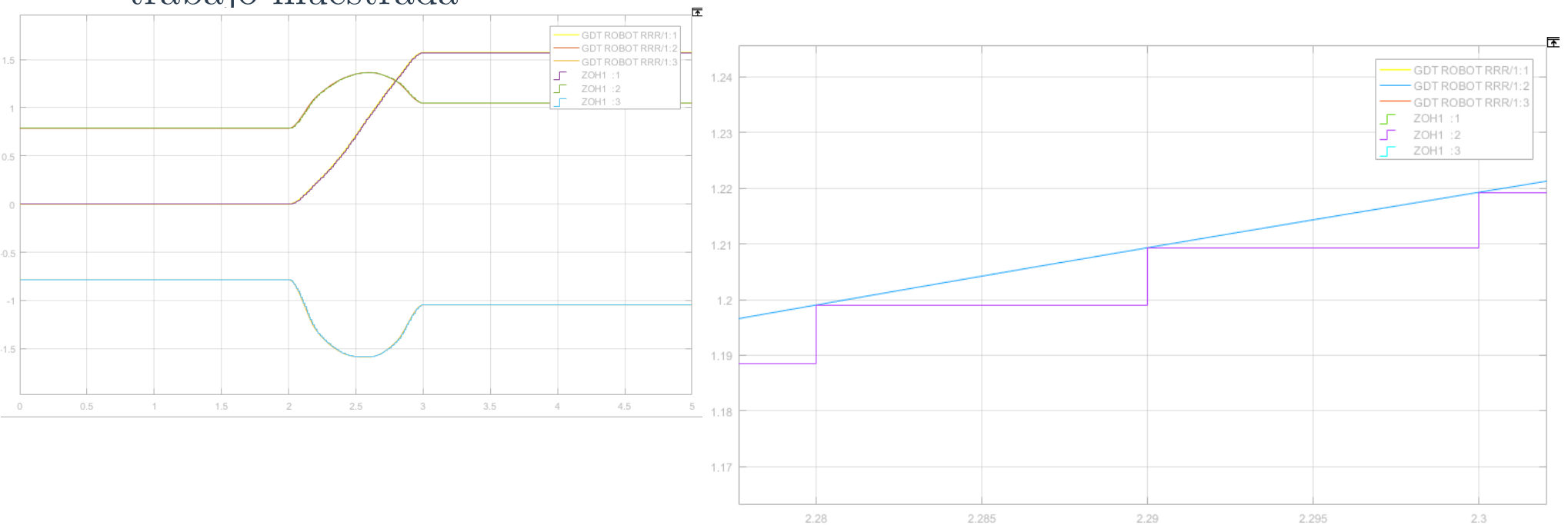
- Trayectoria pedida con GDT mediante splines



CONTROL CINEMÁTICO ROBOT

- Muestreo de la trayectoria implementada

Se muestra el detalle de la trayectoria obtenida del GDT y la dada al robot de trabajo muestrada



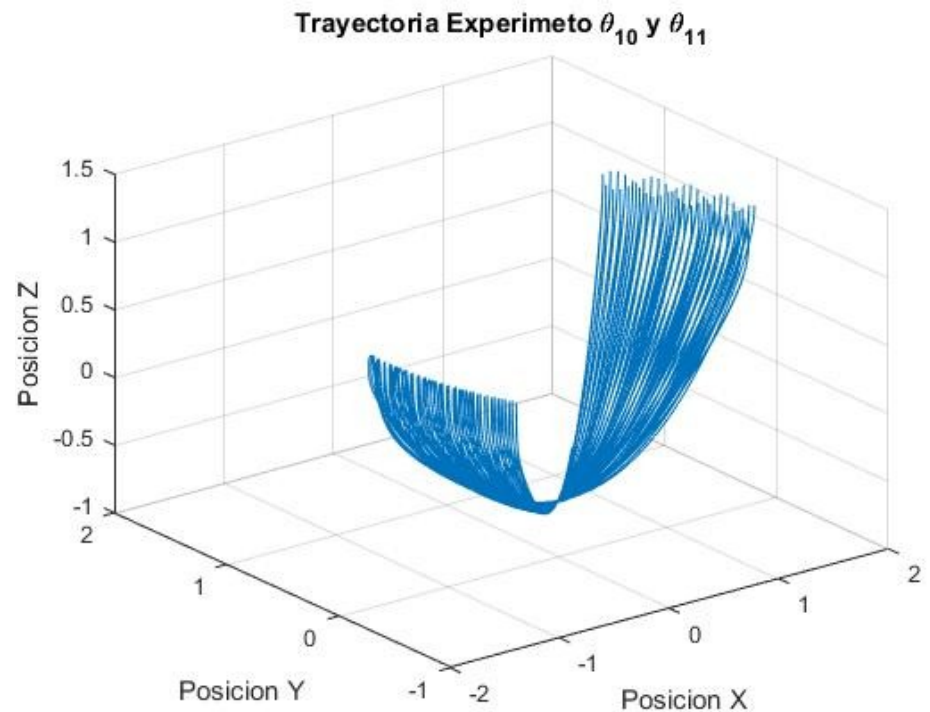
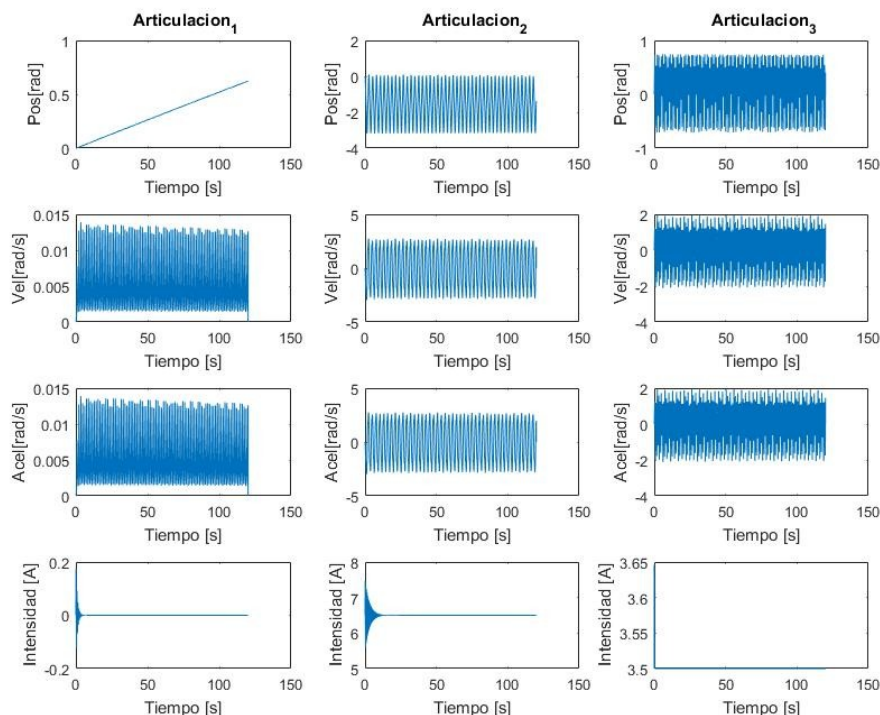
INDICE DE LA PRESENTACION

1. Modelado Cinemático Robot RRR
2. Control Cinemático
- 3. Modelado dinámico**
4. Control dinámico
5. Conclusiones generales

MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Tipos de experimentos implementados para estimar los terminos gravitatorios

→ Velocidades bajas y constantes



MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Combinación linealmente independiente de parámetros dinámicos a estimar

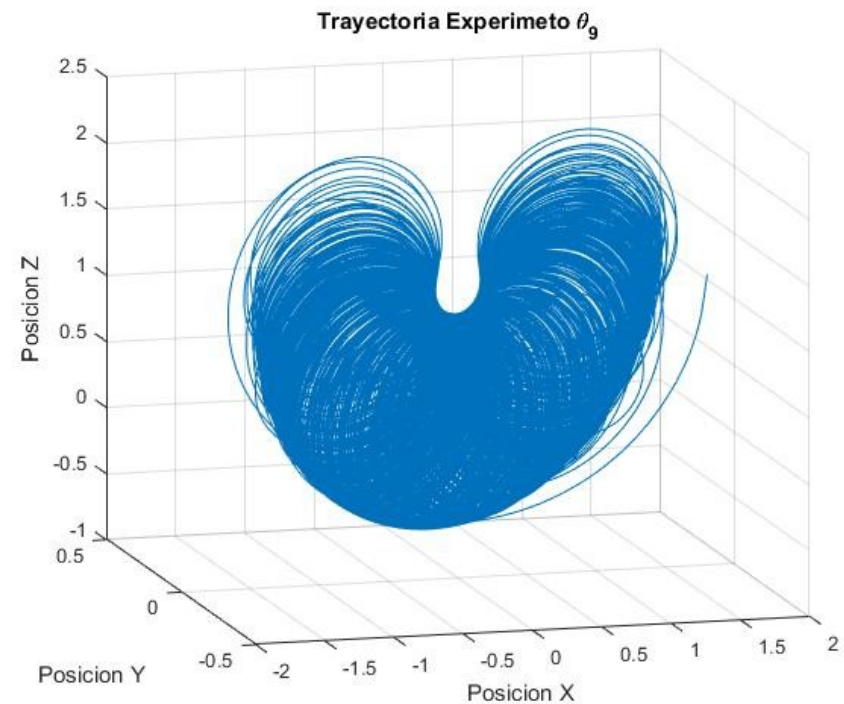
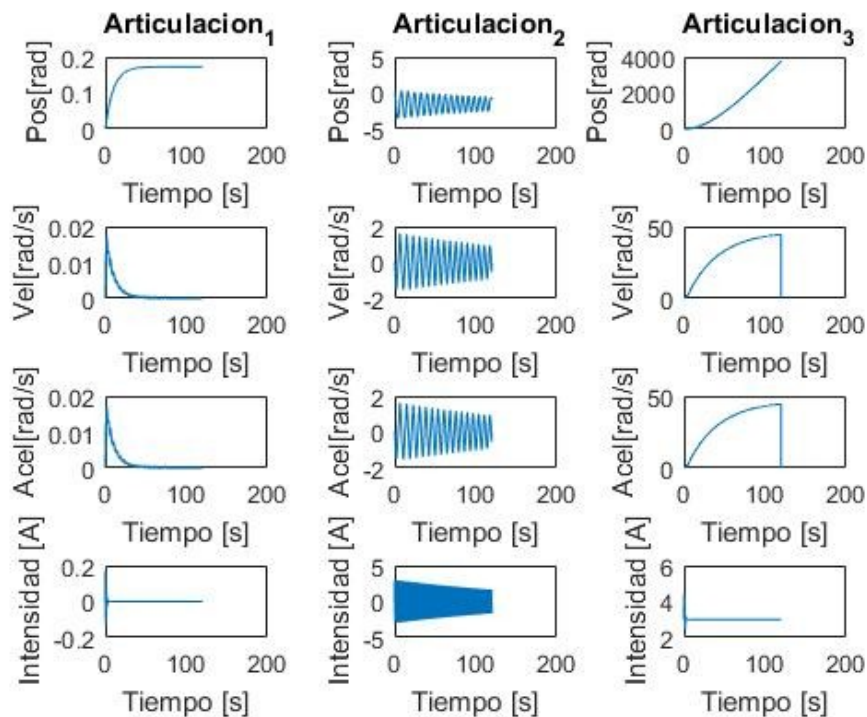
$$\tau = M(q)\ddot{q} + V(q, \dot{q}) + G(q) \quad \rightarrow \quad \tau = \phi(q) \quad \theta$$

$$\theta = \begin{pmatrix} m_1 s_{11z}^2 + m_2 s_{22x}^2 + m_3 s_{33x}^2 + I_{11yy} + I_{22yy} + I_{33yy} + R_1^2 J m_1 - m_2 - 1.64 m_3 \\ B m_1 \\ -m_2 s_{22x}^2 + I_{22xx} - I_{22yy} + m_2 + m_3 \\ m_2 s_{22x}^2 + I_{22zz} + R_2^2 J m_2 - m_2 - m_3 \\ B m_2 \\ -m_3 s_{33x}^2 + I_{33xx} - I_{33yy} + 0.64 m_3 \\ m_3 s_{33x}^2 + I_{33zz} - 0.64 m_3 \\ J m_3 \\ B m_3 \\ -m_2 - m_3 + m_2 s_{22x} \\ m_3 s_{33x} - 0.8 m_3 \end{pmatrix}$$

MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Tipos de experimentos implementados para estimar los terminos viscosos

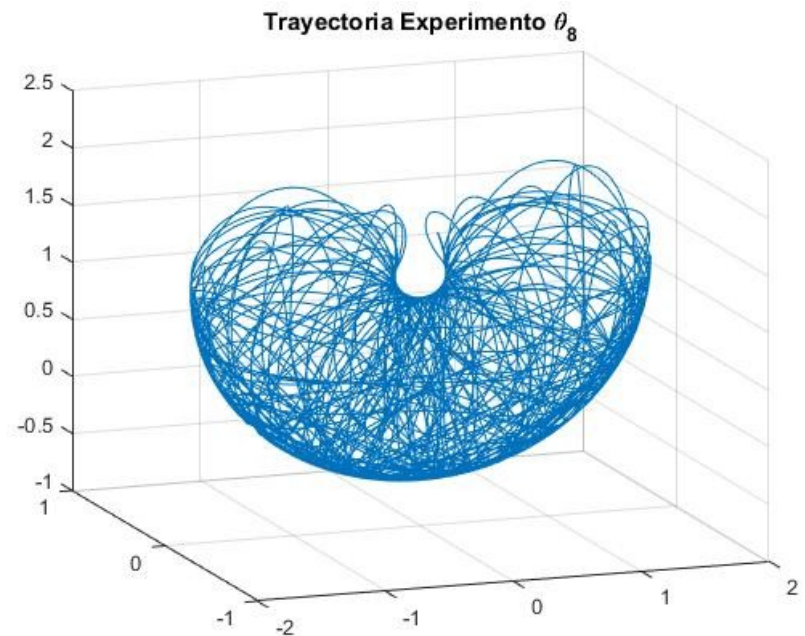
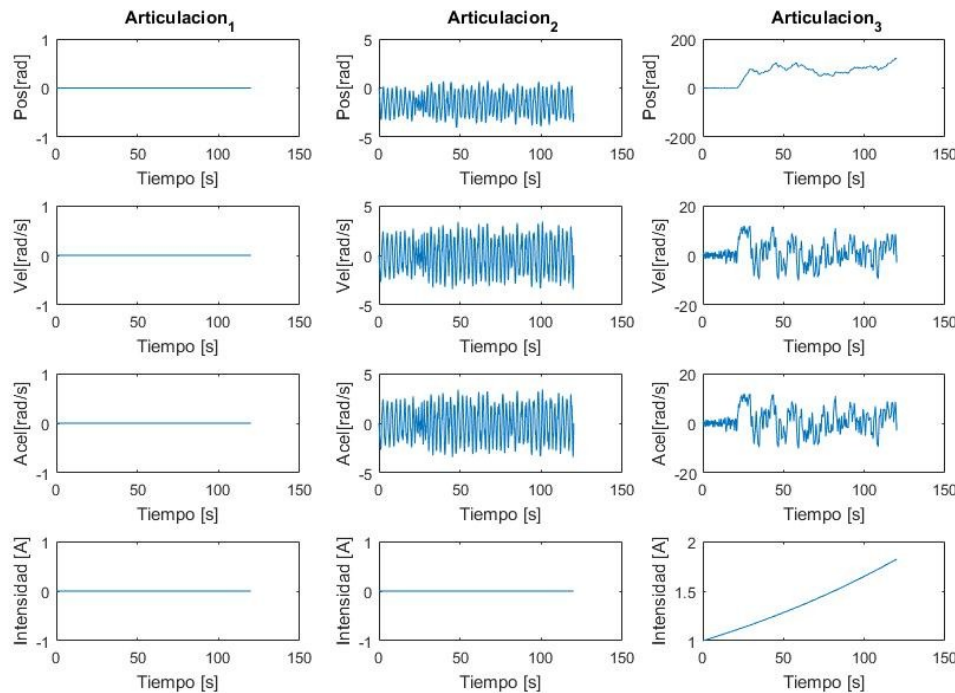
→ Valores de velocidades elevados. Acceleraciones constantes



MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Tipos de experimentos implementados para estimar los terminos inerciales

→ Aceleraciones elevadas. Movimientos cortos y rápidos



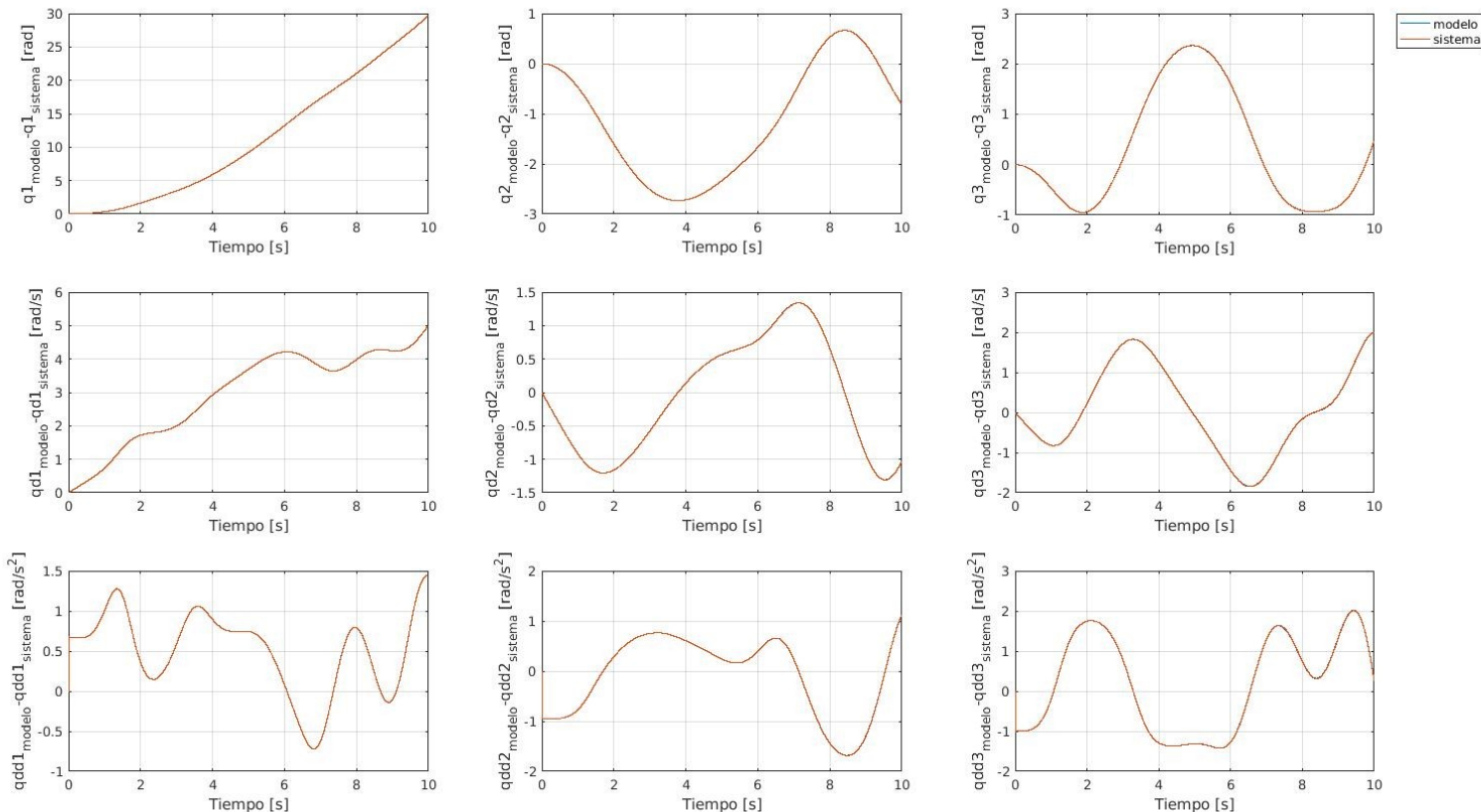
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Robot Ideal con reductoras

Parametro estimado	Valor obtenido	Covarianza obtenida
$\theta(1)$	15.6322	0.0338
$\theta(2)$	0.0012	0.0218
$\theta(3)$	7.389	0.0481
$\theta(4)$	55.1139	0.00081
$\theta(5)$	0.00085	0.02744
$\theta(6)$	2.0841	0.047868
$\theta(7)$	-2.0414	0.00623
$\theta(8)$	0.051	0.00113
$\theta(9)$	0.0015	0.033
$\theta(10)$	-6.665	0.00054
$\theta(11)$	-2.222	0.00113

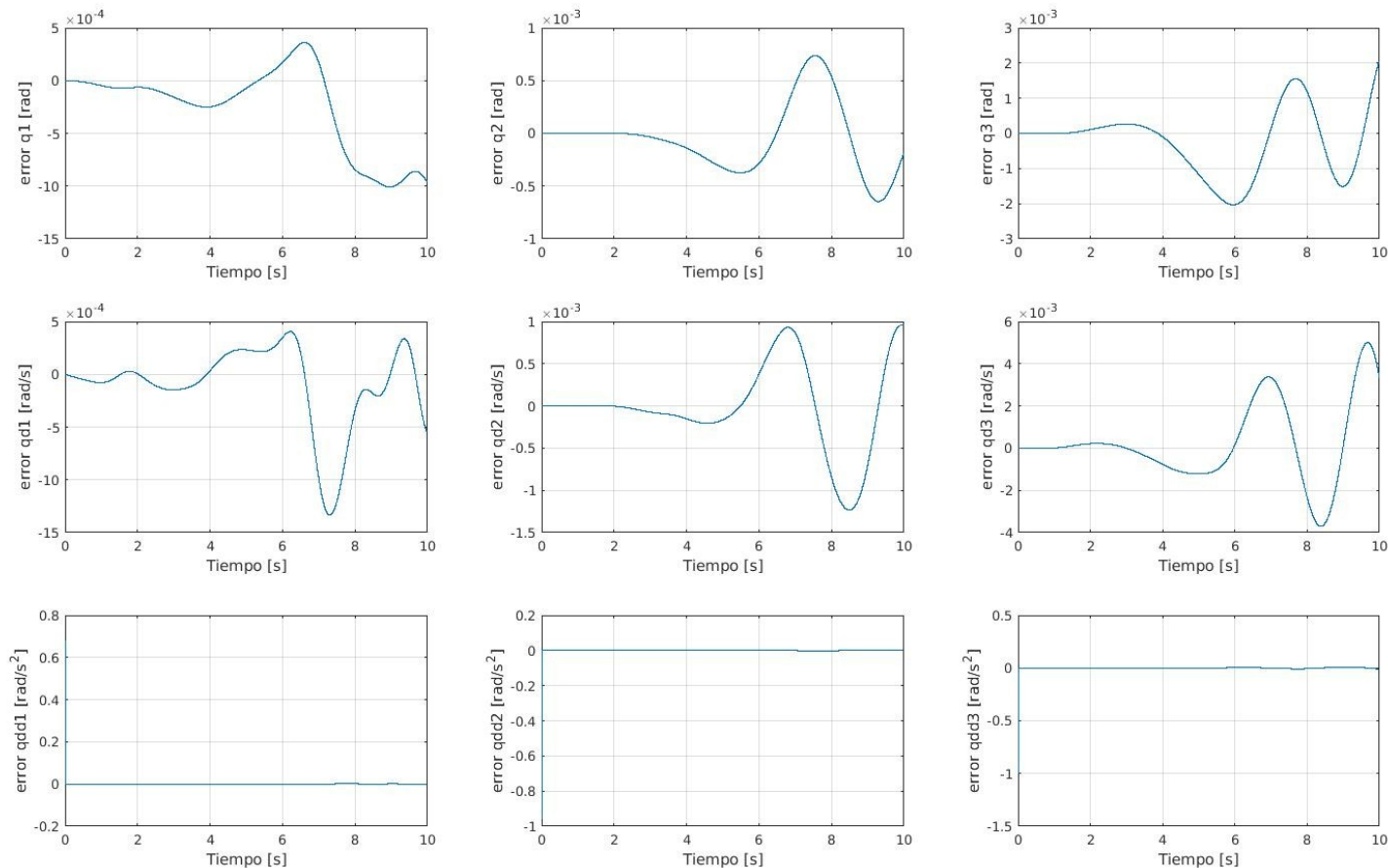
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Comparativa sistema y modelo ideal con reductoras ante entrada unitaria de intensidad



MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Error en la trayectoria del modelo ideal con reductoras



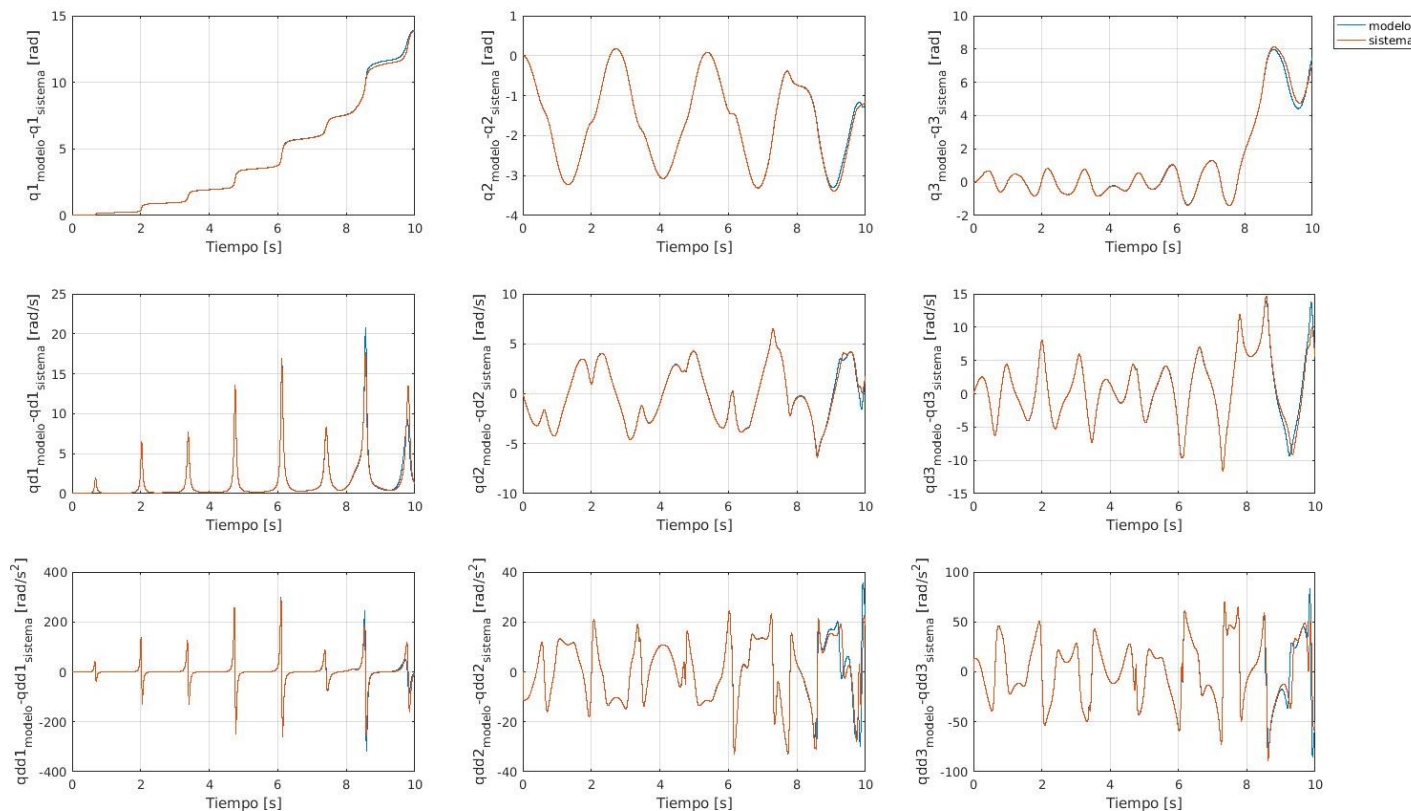
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Robot Ideal de accionamiento directo

Parametro estimado	Valor obtenido	Covarianza obtenida
$\theta(1)$	-9.31476	0.00364
$\theta(2)$	0.001193	2.868
$\theta(3)$	7.3803	0.00036
$\theta(4)$	-7.2341	0.00369
$\theta(5)$	0.00121	5.890
$\theta(6)$	2.078	0.00358
$\theta(7)$	-2.0335	0.00359
$\theta(8)$	0.051	0.0148
$\theta(9)$	0.00146	2.19
$\theta(10)$	-6.6585	0.003621
$\theta(11)$	-2.222	0.00356

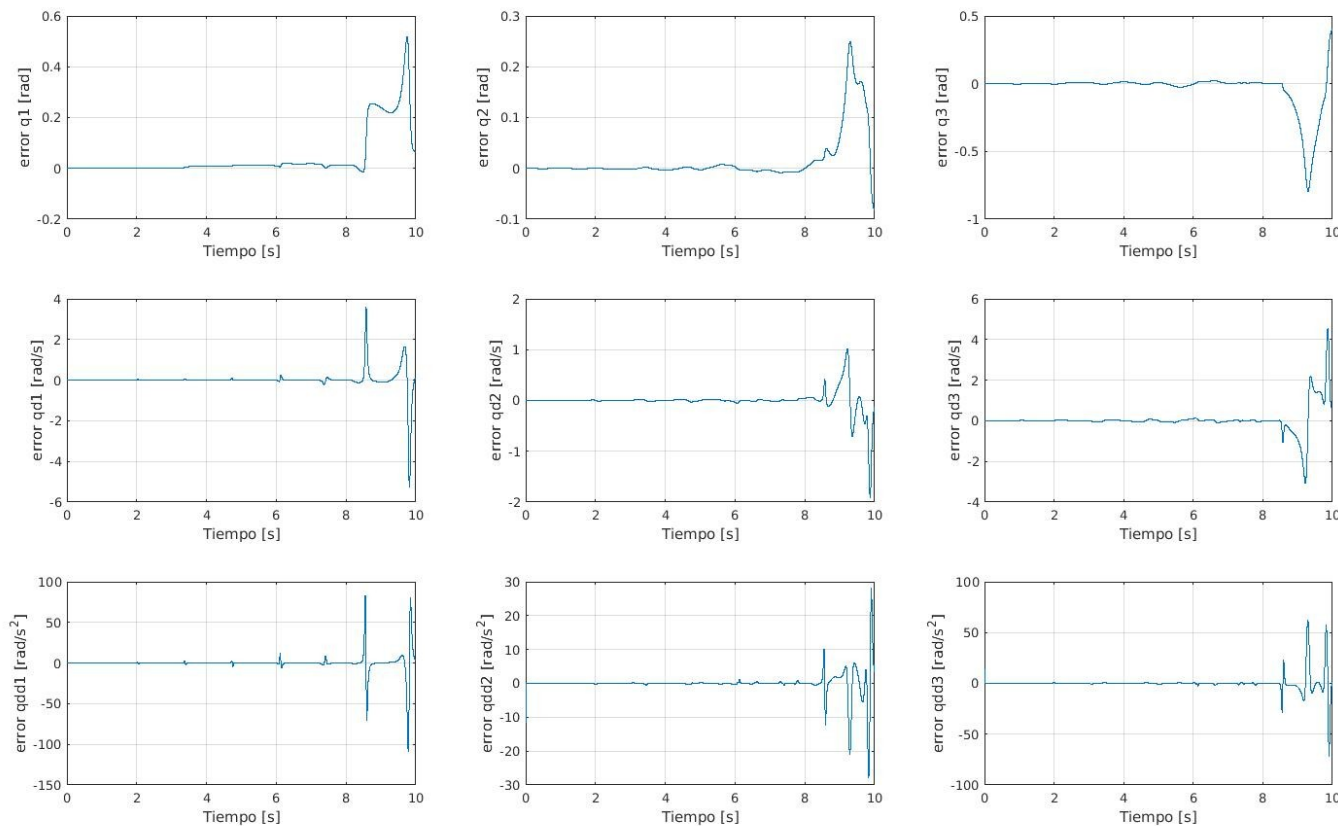
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Comparativa sistema y modelo ideal de accionamiento directo ante entrada unitaria de intensidad



MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Error en la trayectoria del modelo ideal de accionamiento directo



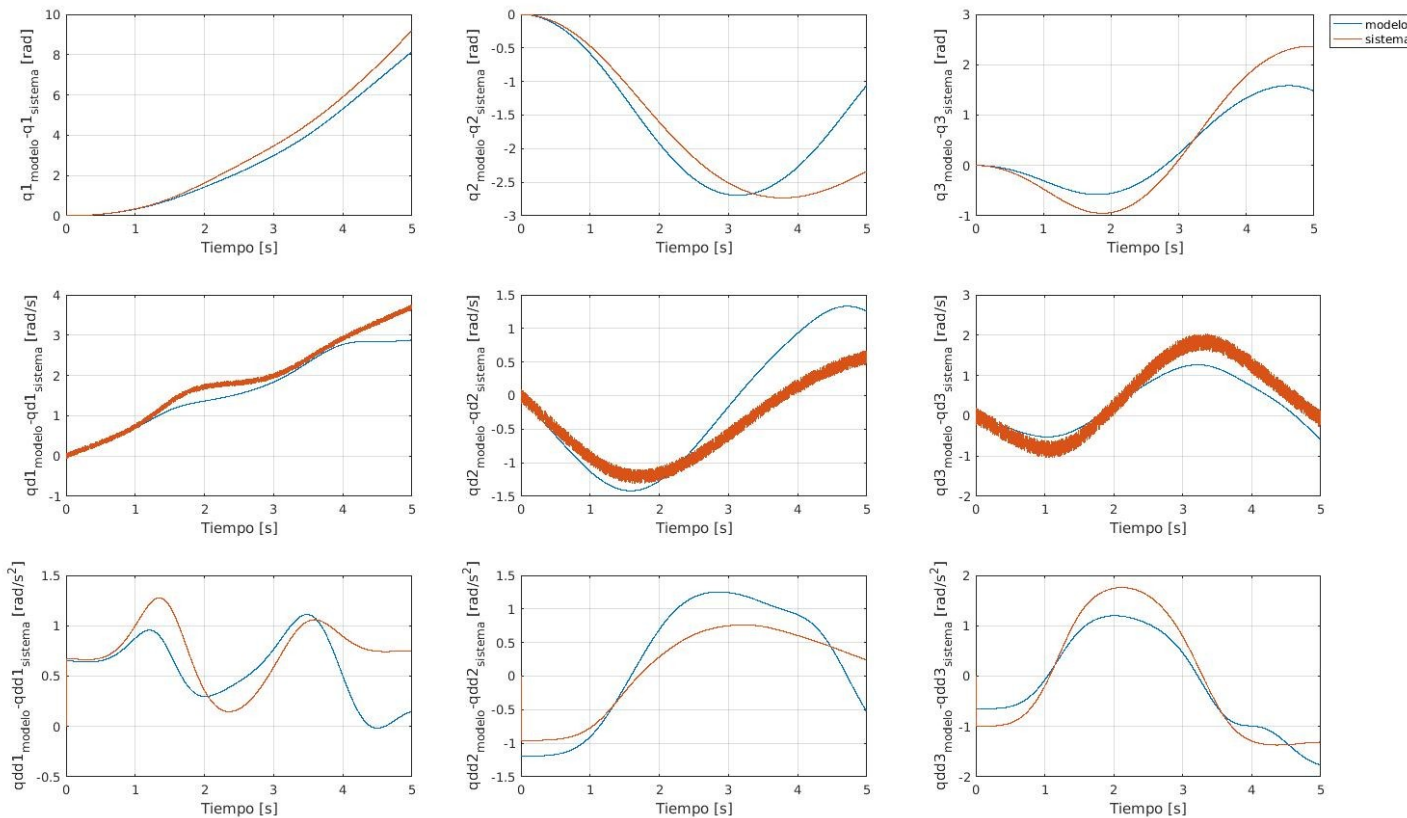
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Robot Real con reductoras

Parametro estimado	Valor obtenido	Covarianza obtenida
$\theta(1)$	16.995	4.0573
$\theta(2)$	0.00122	0.2538
$\theta(3)$	12.393	1.291
$\theta(4)$	38.28	1.9472
$\theta(5)$	0.00129	0.941
$\theta(6)$	1.434	0.917
$\theta(7)$	4.0372	4.545
$\theta(8)$	0.0491	1.234
$\theta(9)$	0.00151	1.468
$\theta(10)$	-6.6722	0.003858
$\theta(11)$	-2.199	0.008916

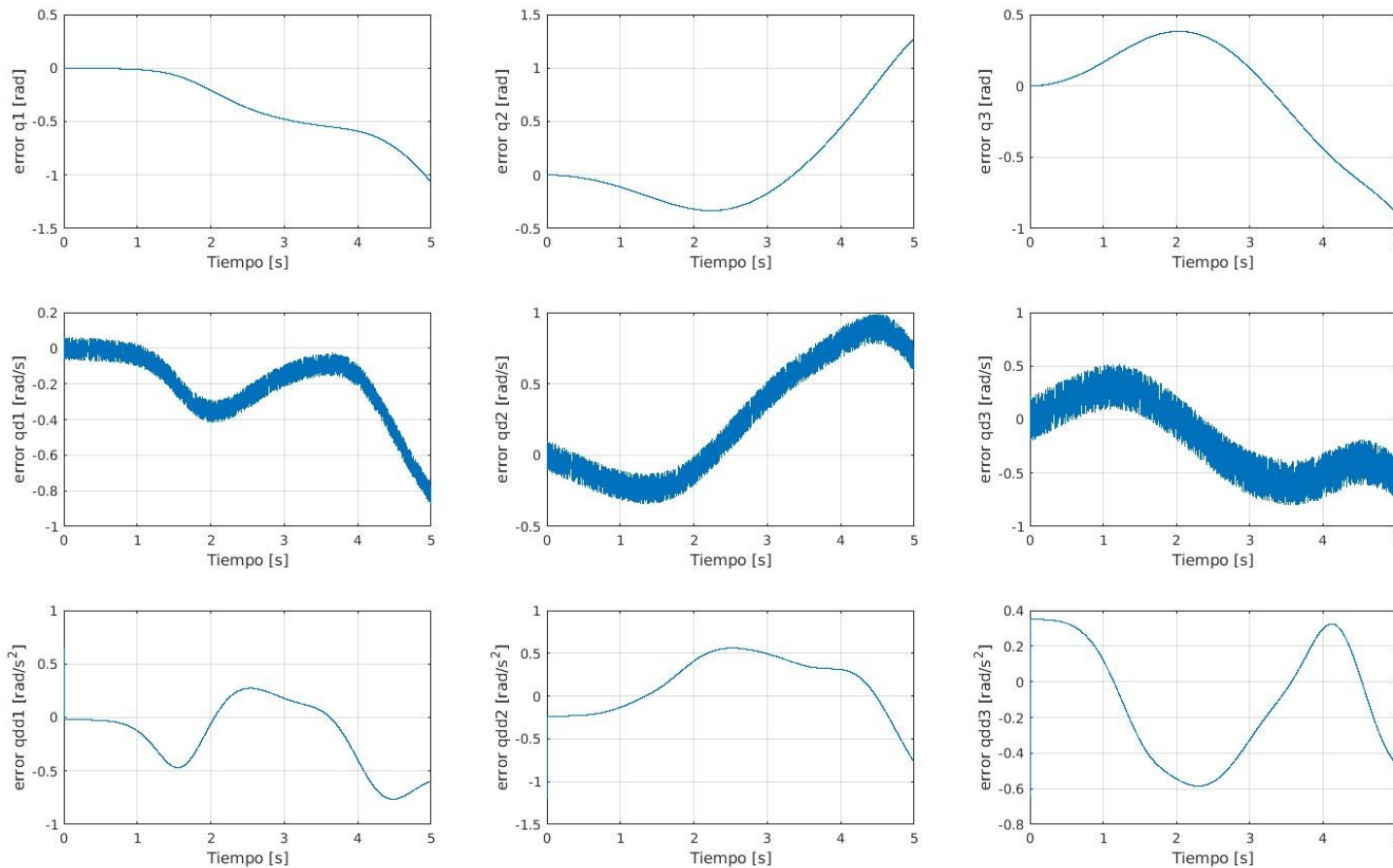
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Comparativa sistema y modelo real con reductoras ante entrada unitaria de intensidad



MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Error en la trayectoria del modelo real con reductoras



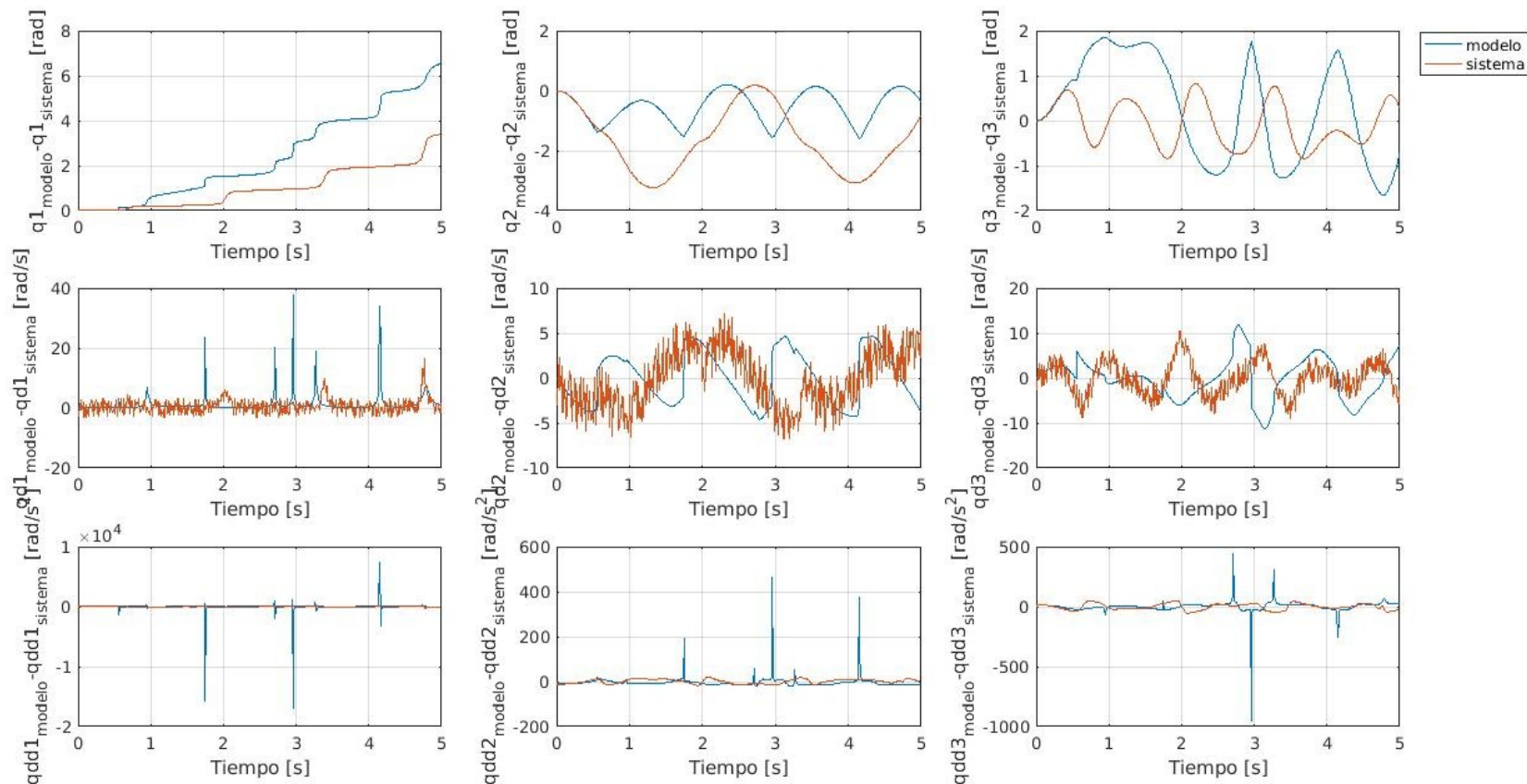
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Robot Real de accionamiento directo

Parametro estimado	Valor obtenido	Covarianza obtenida
$\theta(1)$	-1.107265	2.715
$\theta(2)$	0.018174	0.54845
$\theta(3)$	7.753	0.32937
$\theta(4)$	-7.3756	1.1879
$\theta(5)$	0.060807	3.259
$\theta(6)$	-2.19164	1.3296
$\theta(7)$	-1.0052	2.889
$\theta(8)$	0.10404	4.1499
$\theta(9)$	0.006486	4.0307
$\theta(10)$	-6.7508	1.2175
$\theta(11)$	0.00374	4.972

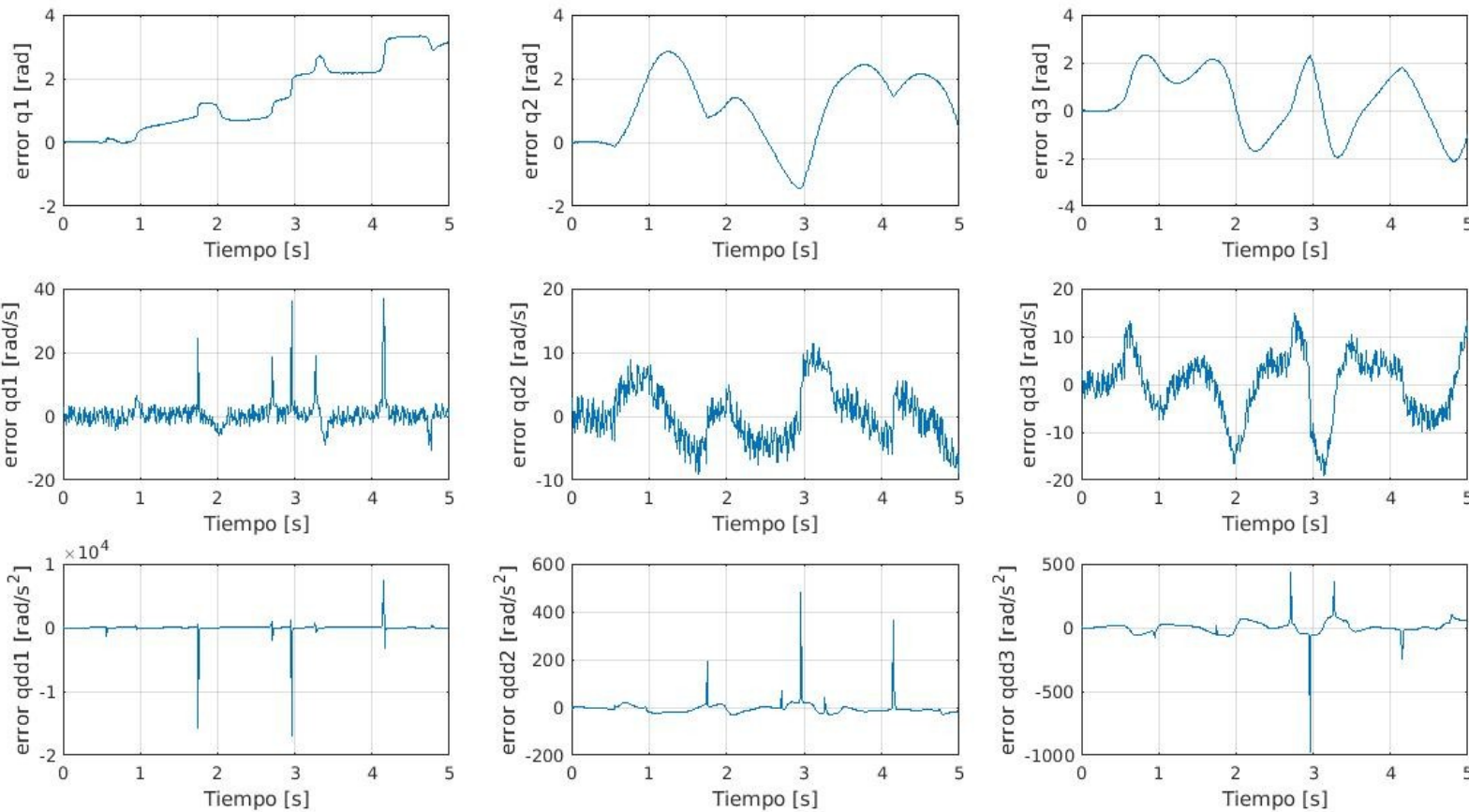
MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Comparativa sistema y modelo real de accionamiento directo ante entrada unitaria de intensidad



MODELADO DINÁMICO DEL ROBOT

- Error en la trayectoria del modelo real de accionamiento directo



INDICE DE LA PRESENTACION

1. Modelado Cinemático Robot RRR
2. Control Cinemático
3. Modelado dinámico
- 4. Control dinámico**
5. Conclusiones generales

CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

Controlador PID

- Se implementa un controlador PID en forma absoluta discreto diseñado, por el lugar de las raíces sin cancelación de dinámica, empleando el error en posición

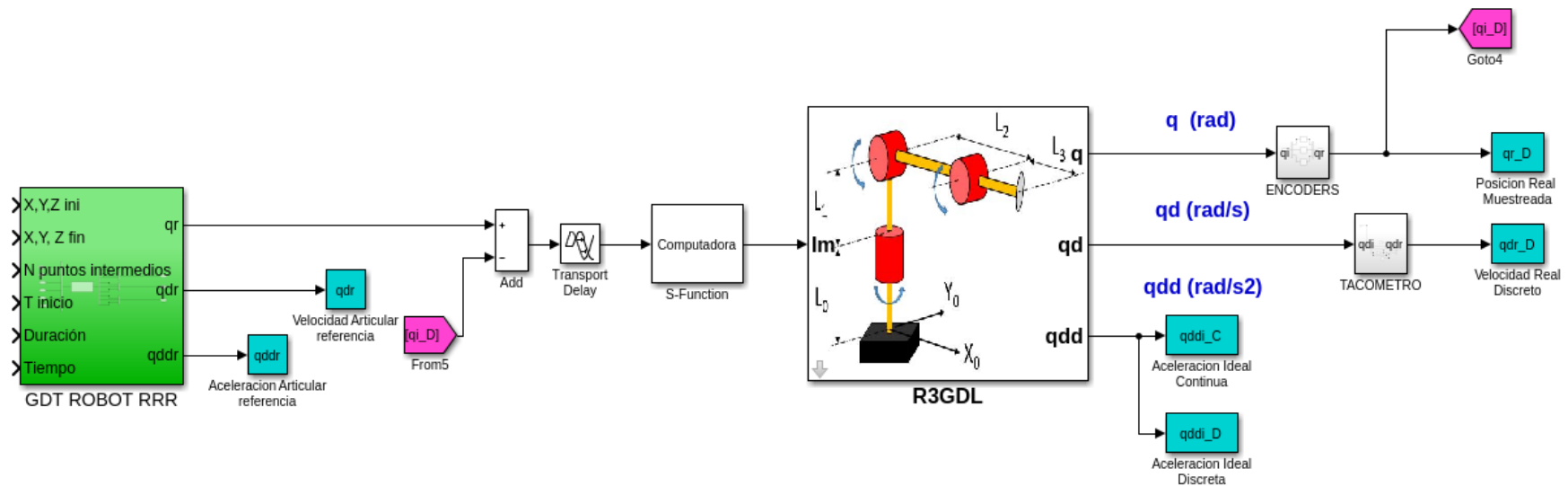
$$I_m = K_P(e(t) + \frac{1}{T_I} \int_0^t e(\tau) d\tau + T_D \frac{d(e)t}{dt})$$

- Controladores que cumplan un tiempo de subida de 0.05s obtenidos para los modelos linealizados resultantes de la implementación del algoritmo de N-E

$$G(s) = \frac{q(s)}{I_m(s)} = \frac{K}{s(\tau s + 1)} \quad C(s) = K_P \frac{T_D T_I s^2 + T_I s + 1}{T_I s}$$

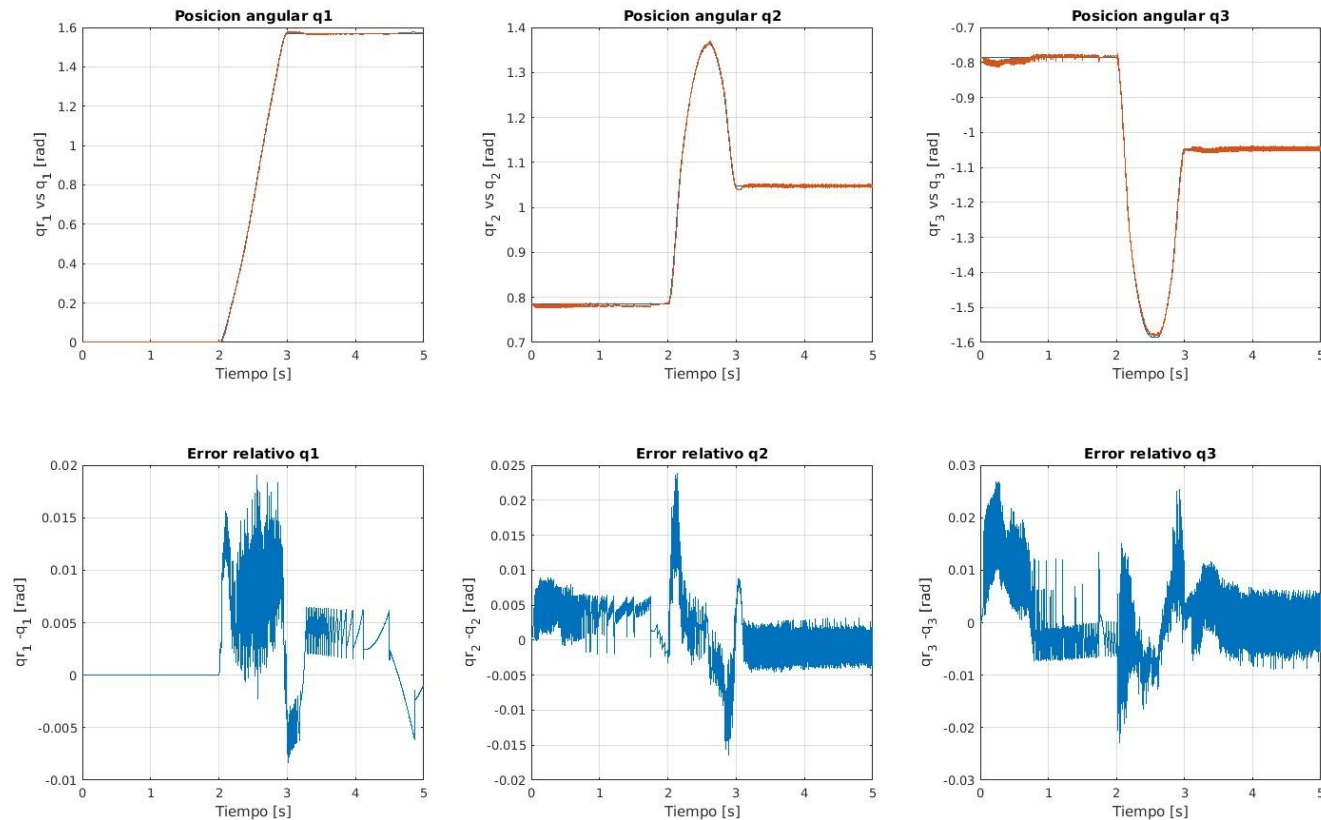
CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Implementación del PID



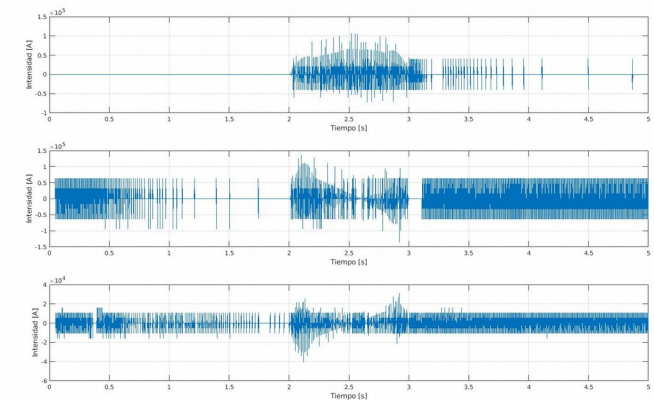
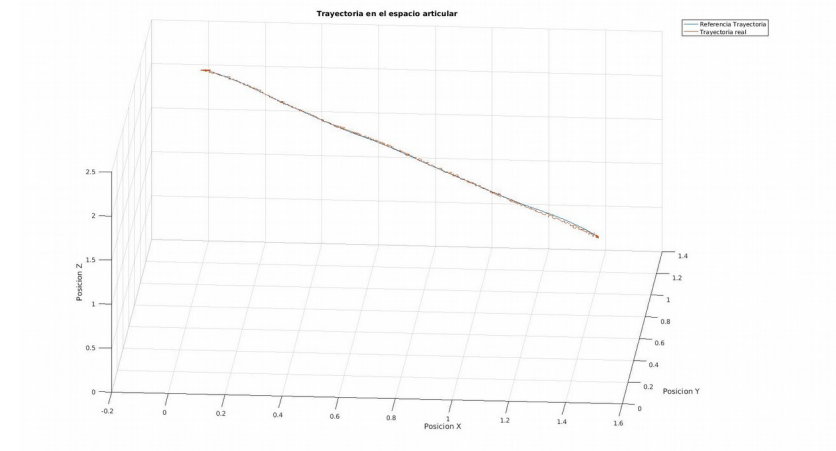
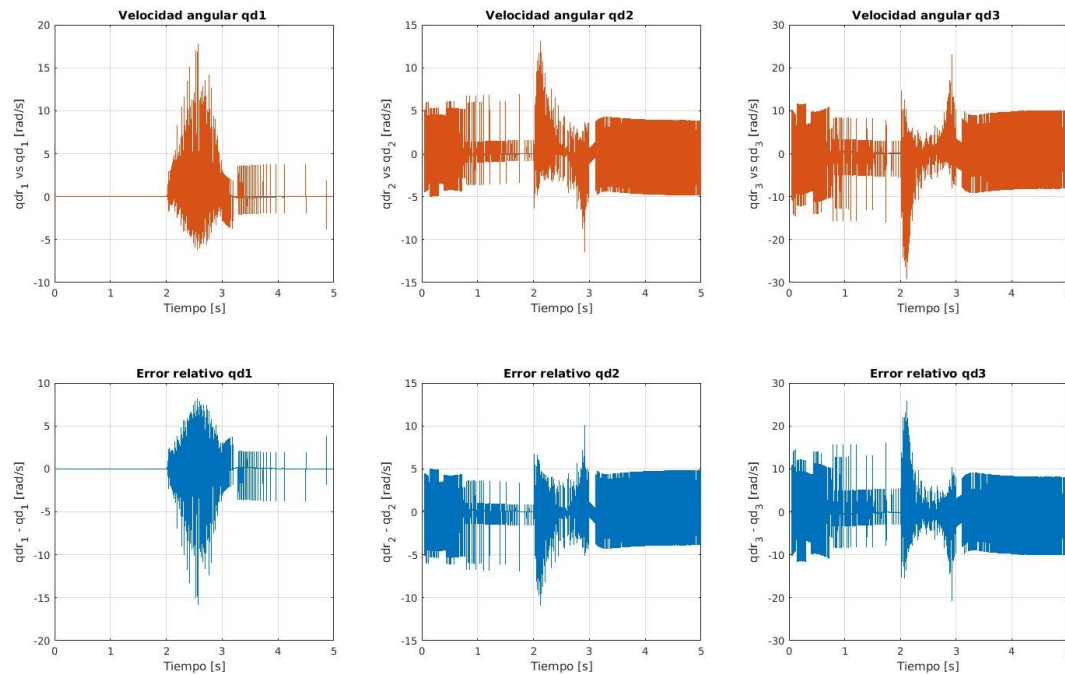
CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador PID empleando el modelo ideal de accionamiento directo



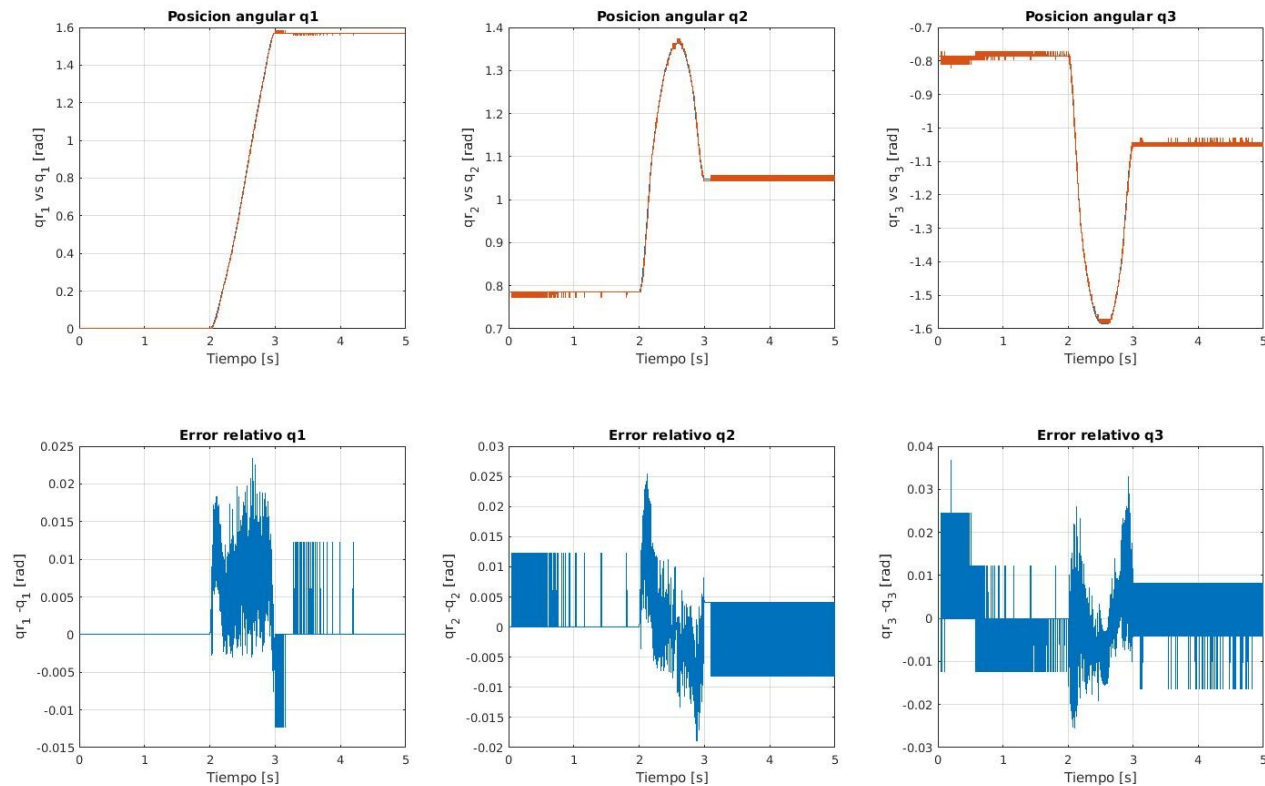
CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador PID empleando el modelo ideal de accionamiento directo



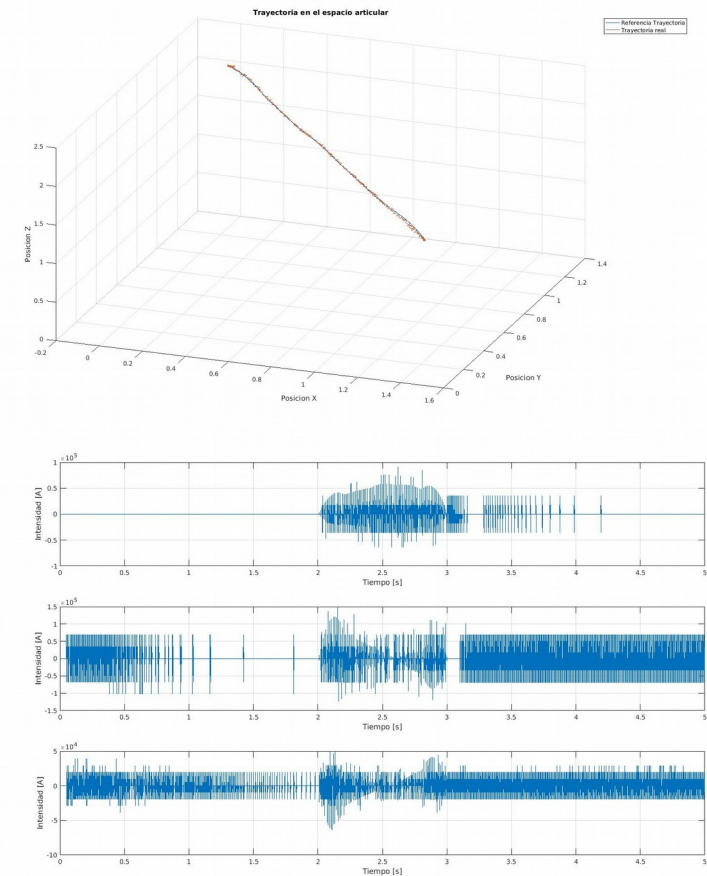
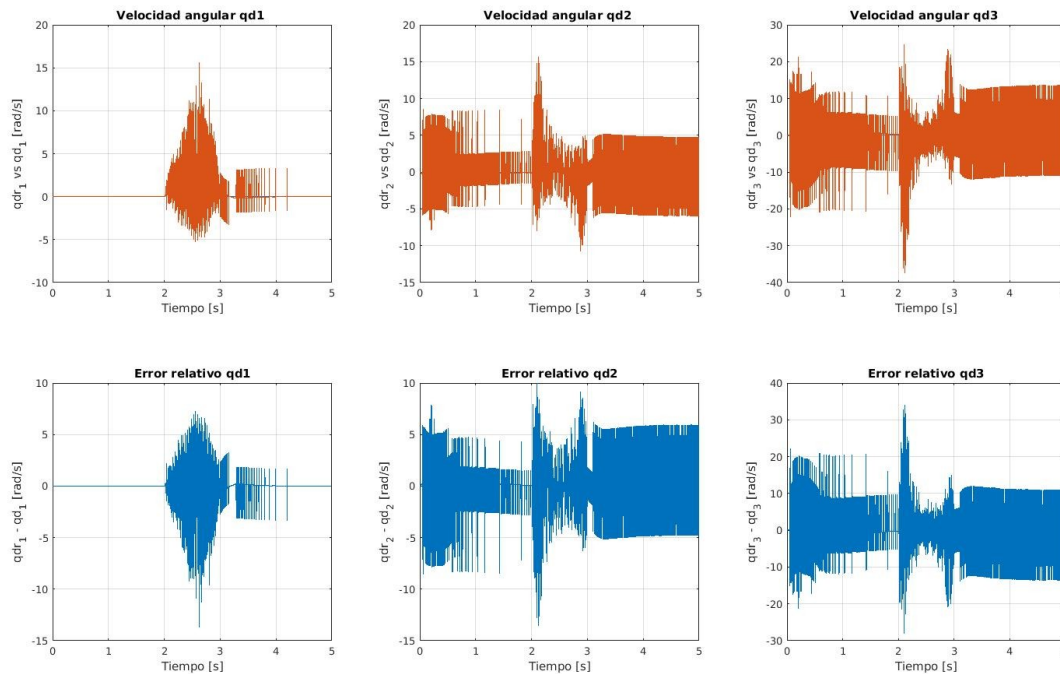
CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador PID empleando el modelo real de accionamiento directo



CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador PID empleando el modelo real de accionamiento directo



CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

Controlador Par Calculado

- Se busca desacoplar totalmente las interacciones del robot consigo mismo, por ello se busca la siguiente ley de control, resultando en un doble integrador

$$\begin{array}{l} Im = M_A(q)\ddot{q} + C_A(q, \dot{q})\dot{q} + G_A(q) \\ - \\ Im = M_A(q)(\ddot{q}_{ref} + u) + C_A(q, \dot{q})\dot{q} + G_A(q) \end{array} \quad \underline{\hspace{10em}} \quad \ddot{q} = u$$

- Se diseñará un controlador PID para la dinámica del error resultante

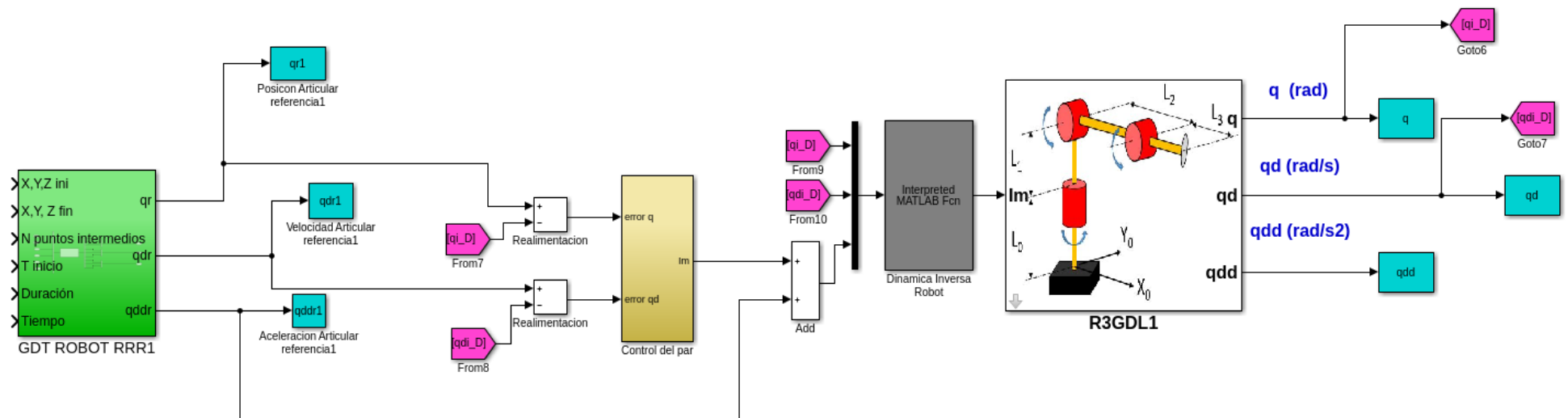
$$\ddot{\tilde{q}}(t) = u(t) \rightarrow \tilde{q}(s)s^2 = u(s) \rightarrow \frac{\tilde{q}(s)}{u(s)} = \frac{1}{s^2} \left[\frac{ud.error}{ud.sc} \right]$$

$$C(s) = K_p \frac{T_I T_D s^2 + T_I s + 1}{T_I s} \rightarrow 403.9 \frac{0.38 * 0.095 s^2 + 0.38 s + 1}{0.38 s}$$

CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

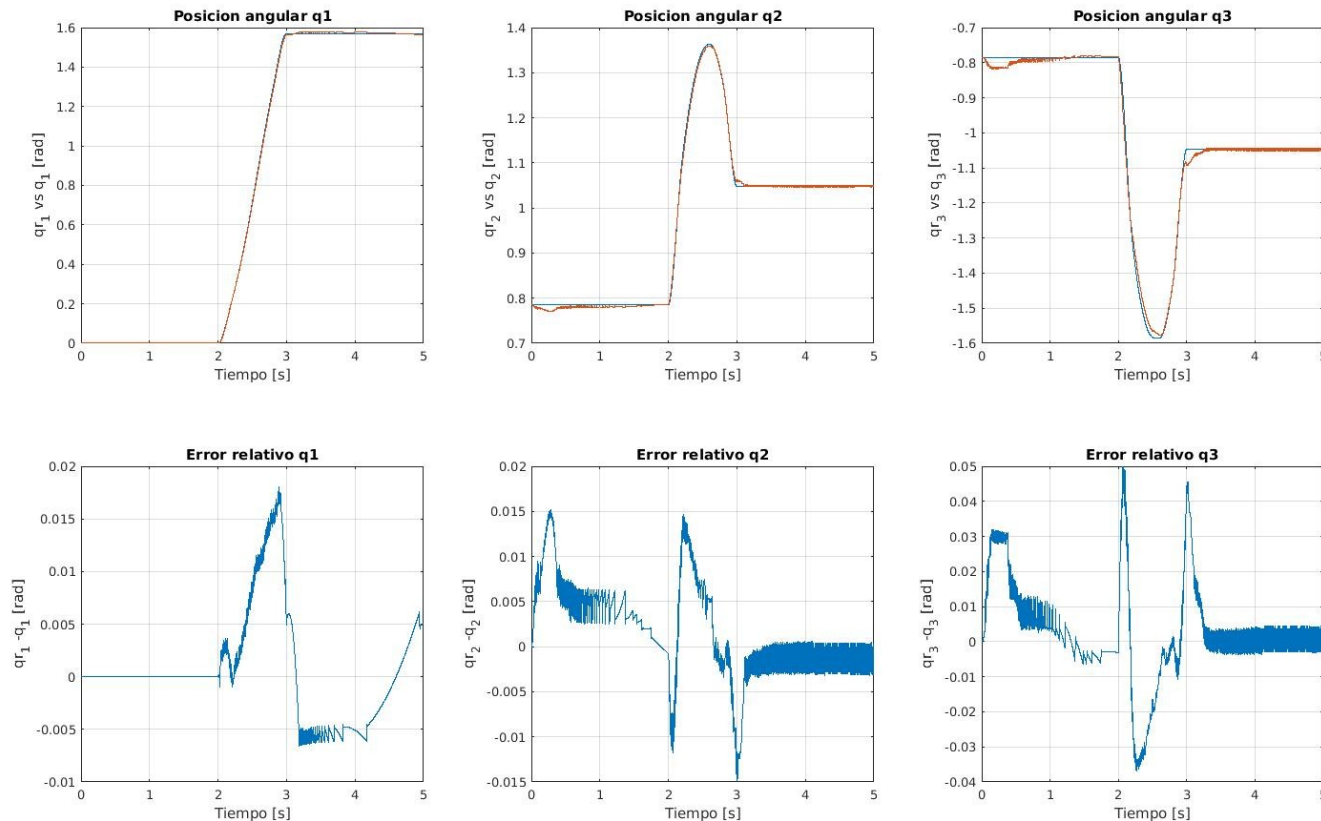
- Implementación del Par Calculado

Se empleará el modelo obtenido a partir del algoritmo de N-E con los parámetros del robot real/ideal de accionamiento directo



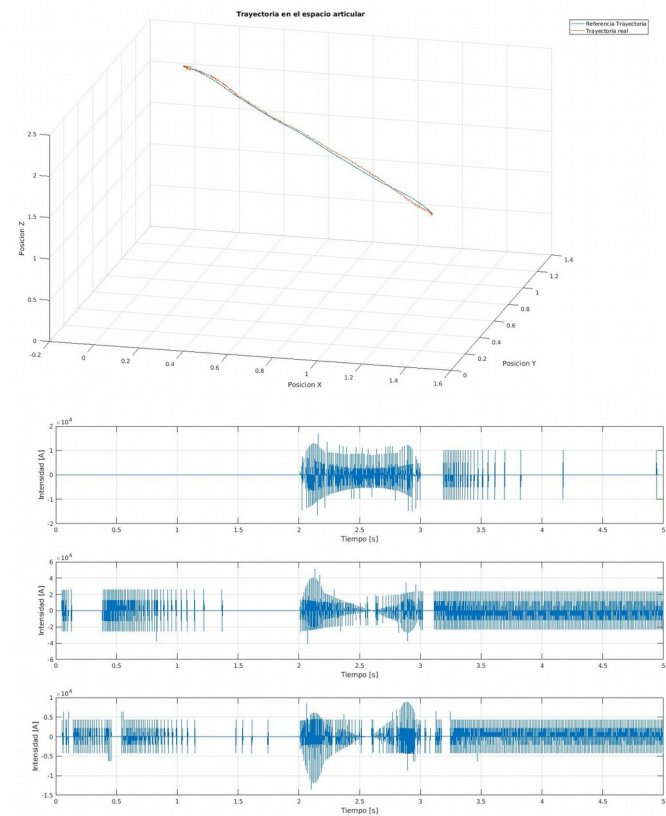
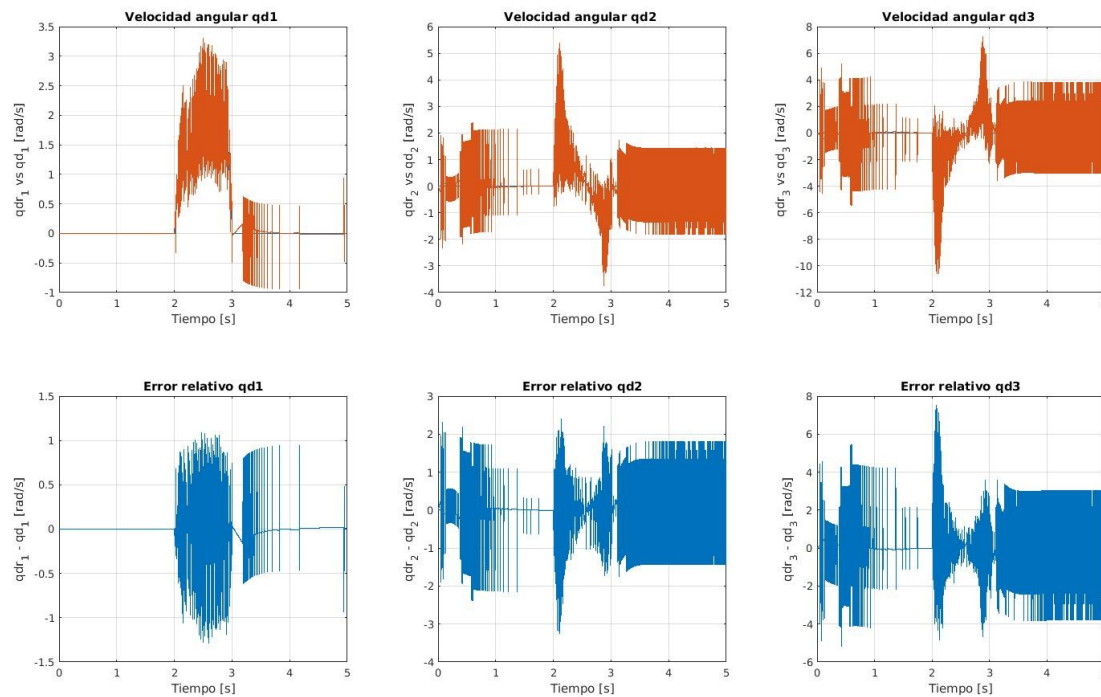
CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador Par Calculado empleando el modelo ideal de accionamiento directo



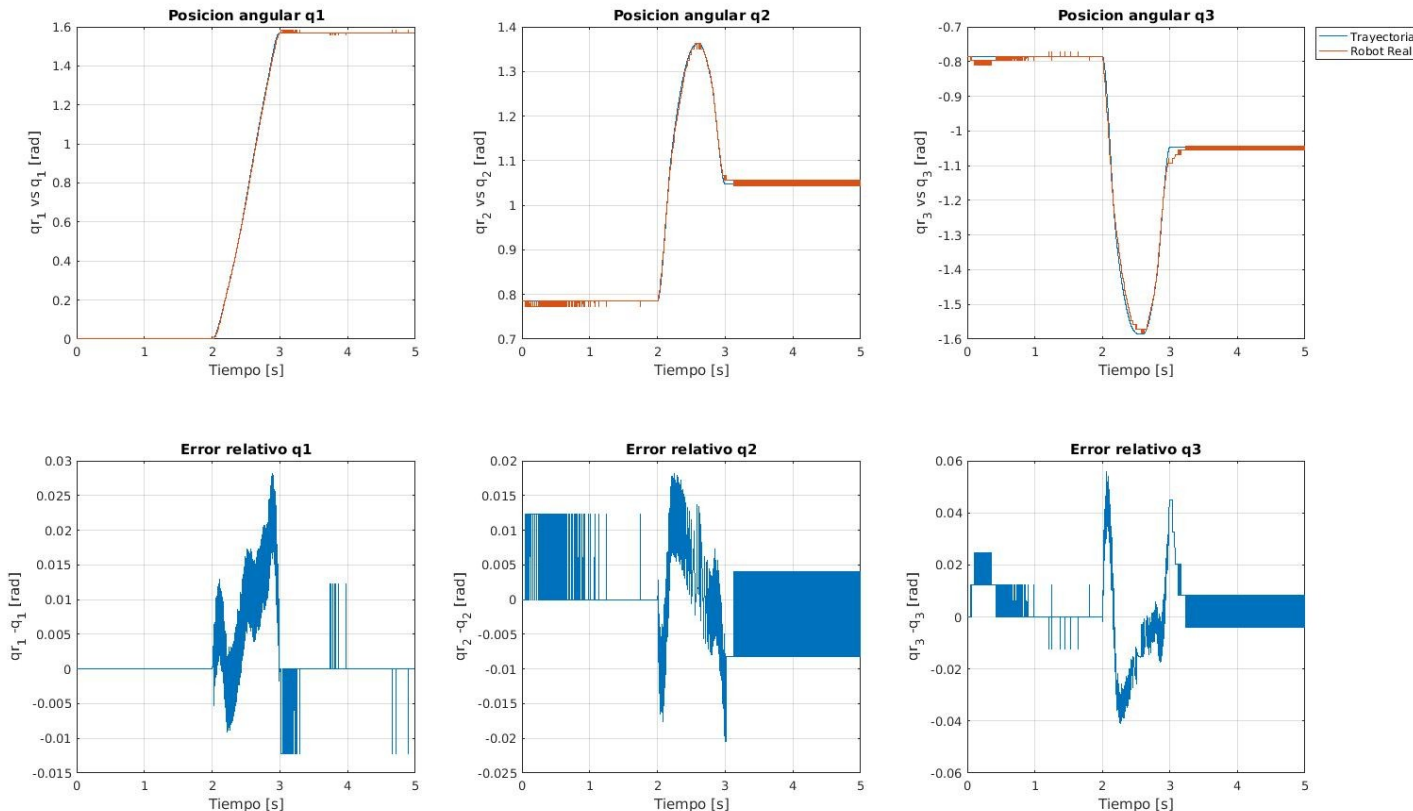
CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador Par Calculado empleando el modelo ideal de accionamiento directo



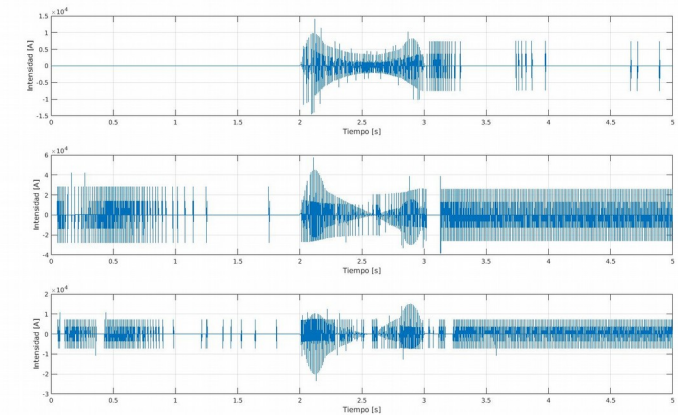
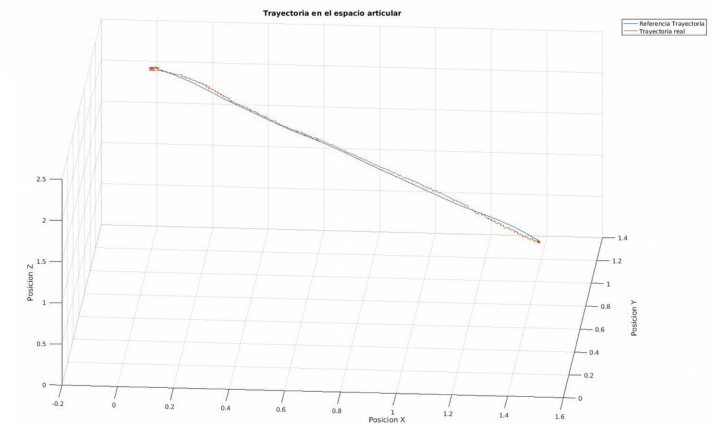
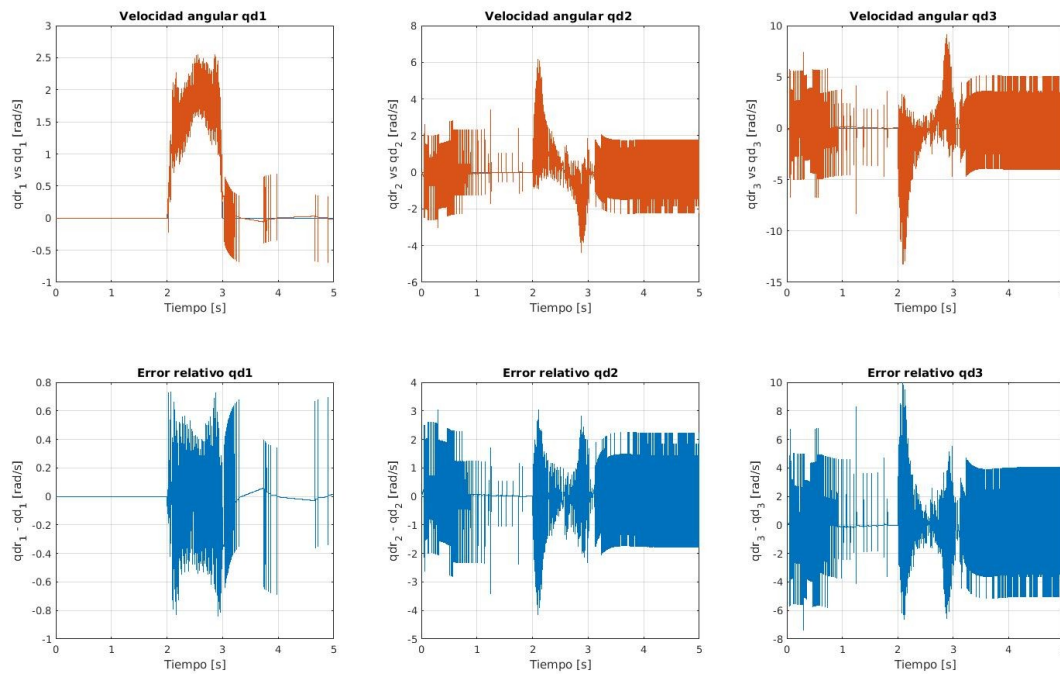
CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador Par Calculado empleando el modelo real de accionamiento directo



CONTROL DINÁMICO DEL ROBOT

- Resultados controlador Par Calculado empleando el modelo real de accionamiento directo



INDICE DE LA PRESENTACION

1. Modelado Cinemático Robot RRR
2. Control Cinemático
3. Modelado dinámico
4. Control dinámico
5. Conclusiones generales

CONCLUSIONES GENERALES

- Es posible llegar a obtener buenos modelos dinamicos de los robots, empleando las tecnicas que se han tratado, que permiten implementar tecnicas de control avanzadas basadas en modelo.
- En cuanto al control, aunque los errores en posicion sean similares, la implementacion del par calculado frente al PID mejorara el error en velocidad. Ademias, bajara un orden de magnitud las intensidades con las que hay que excitar los motores.