

Modulating the Dynamic Response of a Redundant Robot: a 3D Linear Displacement Study

PROBLEMA

Resulta desafiante controlar robots con múltiples grados de libertad redundantes, donde los motores se esfuerzan más para posicionar o imponer comportamientos. Es crucial analizar el espacio articular para seleccionar parámetros de rigidez y amortiguamiento, logrando niveles deseados de control y estabilidad.

OBJETIVO GENERAL

Arrojar luz sobre cómo lograr una respuesta dinámica estable y óptima alineada con los parámetros de control deseados, mejorando la interacción del robot en tareas como montaje, soldadura y movimiento.

PROPUESTA

- 1. Eliminación de movimientos "ZP" (Zero Potential):** aborda movimientos adicionales con matrices de restricción iterativamente para lograr estabilidad.
- 2. Vector nulo de K:** en un robot redundante, la matriz de rigidez implica el vector espacial nulo.
- 3. Eliminar redundancia:** el sistema se vuelve positivo, definitivo y solucionable.
- 4. Teoría de sistemas lineales:** $z(t)$ en representación del espacio de estados.
- 5. Valores propios:** solución dominada por $2(m)$ valores propios en la matriz de estado A , encapsulados en Λ .

$$M_C \ddot{x}(t) + C_C \dot{x}(t) + K_C x(t) = f \quad \Rightarrow \quad K = J^T K_C J + \left[\left(\frac{\partial J^T}{\partial q_1} f \right) \left(\frac{\partial J^T}{\partial q_2} f \right) \dots \left(\frac{\partial J^T}{\partial q_n} f \right) \right] + J^T C_C J$$

$$M(q) \ddot{q}(t) + C \dot{q}(t) + K q(t) = \tau_{ext} \quad \leftarrow \quad C = J^T C_C J$$

$$\begin{aligned} & \text{1 } q = S q''' \\ & \text{2 } E = \frac{1}{2} u_0^T K u_0 = 0 \\ & \text{3 } S^T M(q) S \ddot{q}''' + S^T C S \dot{q}''' + S^T K S q''' = S^T \tau_{ext} \\ & \quad M'''(q) \ddot{q}''' + C''' \dot{q}''' + K''' q''' = S^T \tau_{ext} \\ & \text{4 } \dot{z}(t) = A z(t) + B S^T \tau_{ext}(t) \\ & \quad A = \begin{bmatrix} 0 & I \\ -(M''')^{-1} K''' & -(M''')^{-1} C''' \end{bmatrix} \\ & \quad B = \begin{bmatrix} 0 \\ (M''')^{-1} \end{bmatrix} \\ & \text{5 } z(t) = \begin{bmatrix} q'(t) \\ \dot{q}(t) \end{bmatrix} = X e^{\Lambda t} Y^T z(0) + \int_0^t X e^{\Lambda \tau} Y^T B \tau_{ext}(t-\tau) d\tau \\ & \quad \lambda_i = a \pm ib; \quad \zeta_i = \cos(\gamma); \quad \gamma = \tan^{-1}(b/a) \end{aligned}$$

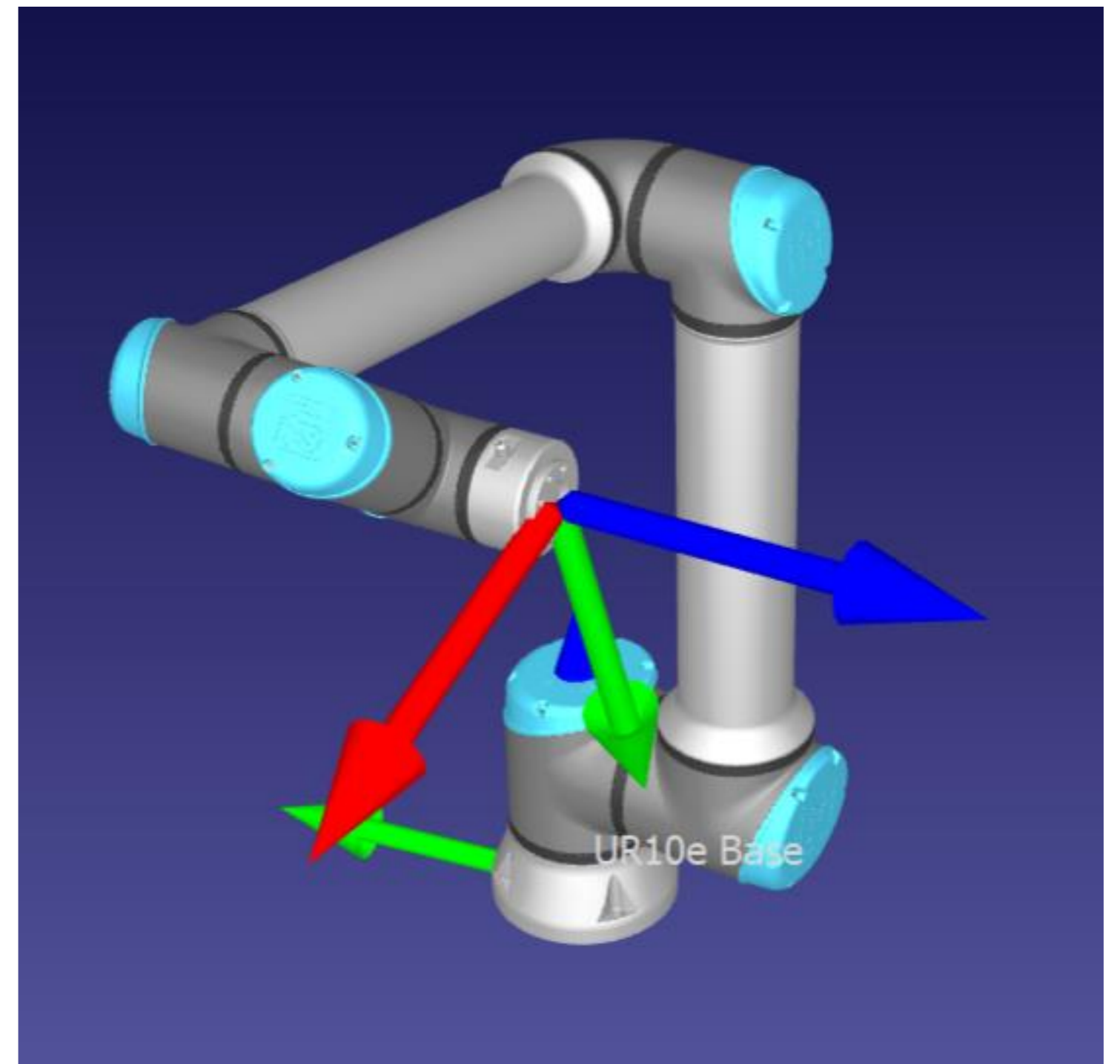


Fig. 1. UR10e en configuración inicial q_1

Fig. 2. Modelamiento de la respuesta dinámica del sistema

RESULTADOS

Realizando los cálculos en MATLAB se obtuvieron los siguientes resultados para los datos iniciales presentados:

$$q_1 = [0.1123 \ 0.0220 \ 0.8320 \ 0.2403 \ 0.6561 \ -0.0211]T \text{ rad}$$

$$q_3 = [-0.1558 \ 0.2246 \ 1.0595 \ 0.1766 \ 0.5768 \ -0.4674]T \text{ rad}$$

$$K_C = \text{diag}(1000, 1000, 1000) \quad q_1 = [0.1123 \ 0.0220 \ 0.8320 \ 0.2403 \ 0.6561 \ -0.0211]T$$

$$\text{null}(K) = \begin{bmatrix} -0.0590 & 0.0139 & 0 \\ 0.1487 & 0.1716 & 0.00 \\ -0.2116 & -0.3408 & 0.00 \\ 0.1319 & 0.8964 & 0.00 \\ -0.9551 & 0.2251 & 0.00 \\ 0.00 & 0.00 & 1.00 \end{bmatrix} \quad \text{null}(K') = \begin{bmatrix} 0.0624 & 0.00 \\ -0.1697 & 0.0001 \\ 0.6789 & -0.0007 \\ 0.7116 & -0.0011 \\ -0.0012 & -1.00 \end{bmatrix} \quad \text{null}(K'') = \begin{bmatrix} -0.0755 \\ 0.1914 \\ -0.7140 \\ -0.6692 \end{bmatrix}$$

$$S = S_1 \times S_2 \times S_3 \quad K''' \text{ stiffness matrix is positive-definite}$$

$$S_1 = \begin{bmatrix} 1.2808 & 0.1610 & -0.0016 & -0.0106 & 0.0001 \\ 1.00 & 0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.00 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.00 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.00 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 0 & 1.00 \end{bmatrix} \quad S_2 = \begin{bmatrix} 1.0 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1.0 \\ -1995.0 & 105.0 & -26.3 & -1.3 \end{bmatrix} \quad S_3 = \begin{bmatrix} 1.0 & 0 & 0 \\ 0 & 1.0 & 0 \\ 0 & 0 & 1.0 \\ -1597.2 & 84.7 & -20.4 \end{bmatrix}$$

$$S = \begin{bmatrix} 18.2 & -0.7 & 0.2 \\ 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 1 \\ -1597 & 84.70 & -20.4 \\ 9.1 & -1.2 & -0.7 \end{bmatrix} \quad C_{C1} = \begin{bmatrix} 27.73 & 0 & 0 \\ 0 & 39.79 & 0 \\ 0 & 0 & 66.34 \end{bmatrix} \quad C_{C2} = \begin{bmatrix} 47.08 & 0 & 0 \\ 0 & 50.32 & 0 \\ 0 & 0 & 49.96 \end{bmatrix} \quad C_{C3} = \begin{bmatrix} 38.8 & 0 & 0 \\ 0 & 102 & 0 \\ 0 & 0 & 0.1 \end{bmatrix}$$

Fig. 3. Resultados obtenidos en MATLAB

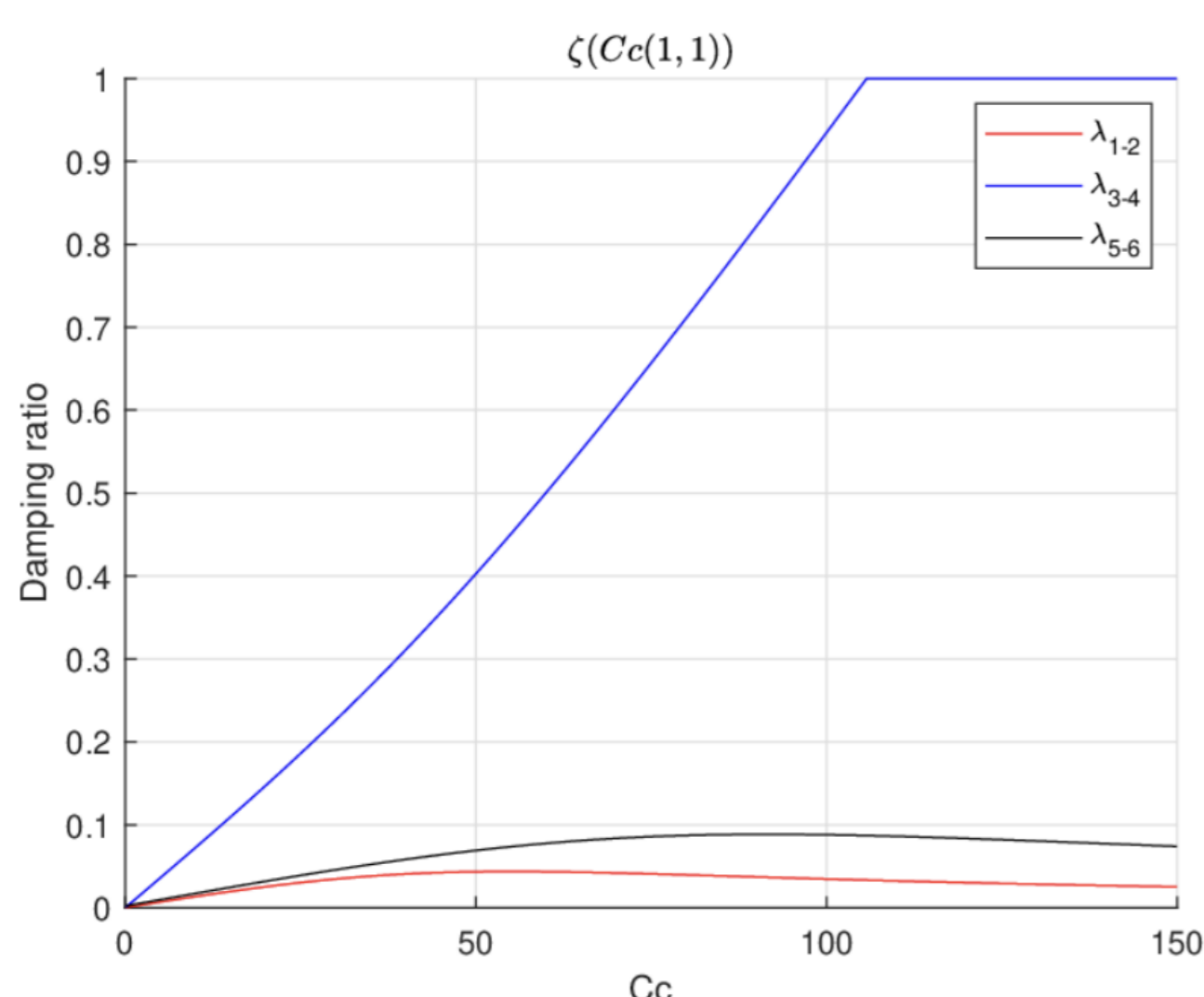


Fig. 4. Parámetros del elemento 1,1 en q_3

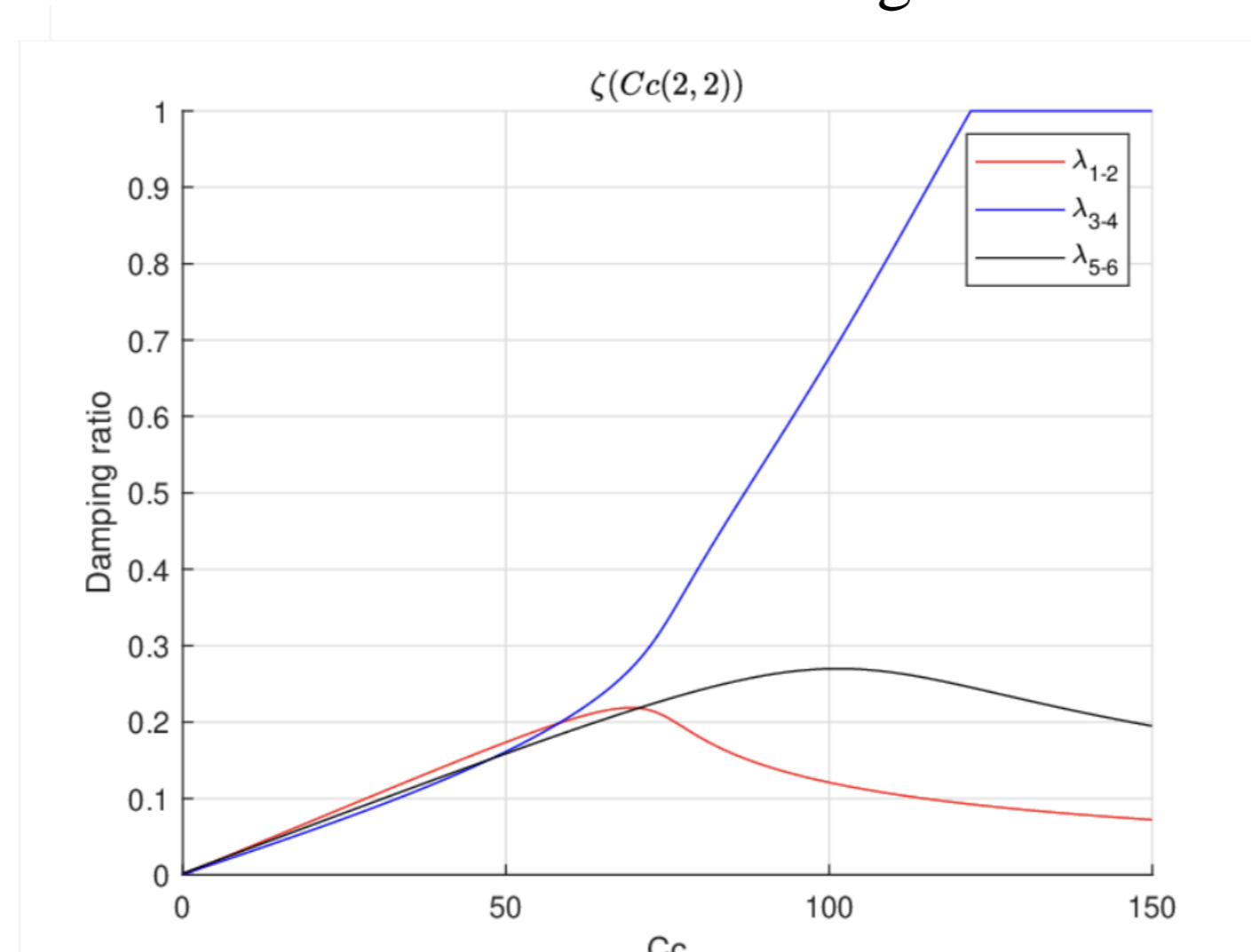


Fig. 5. Parámetros del elemento 2,2 en q_3

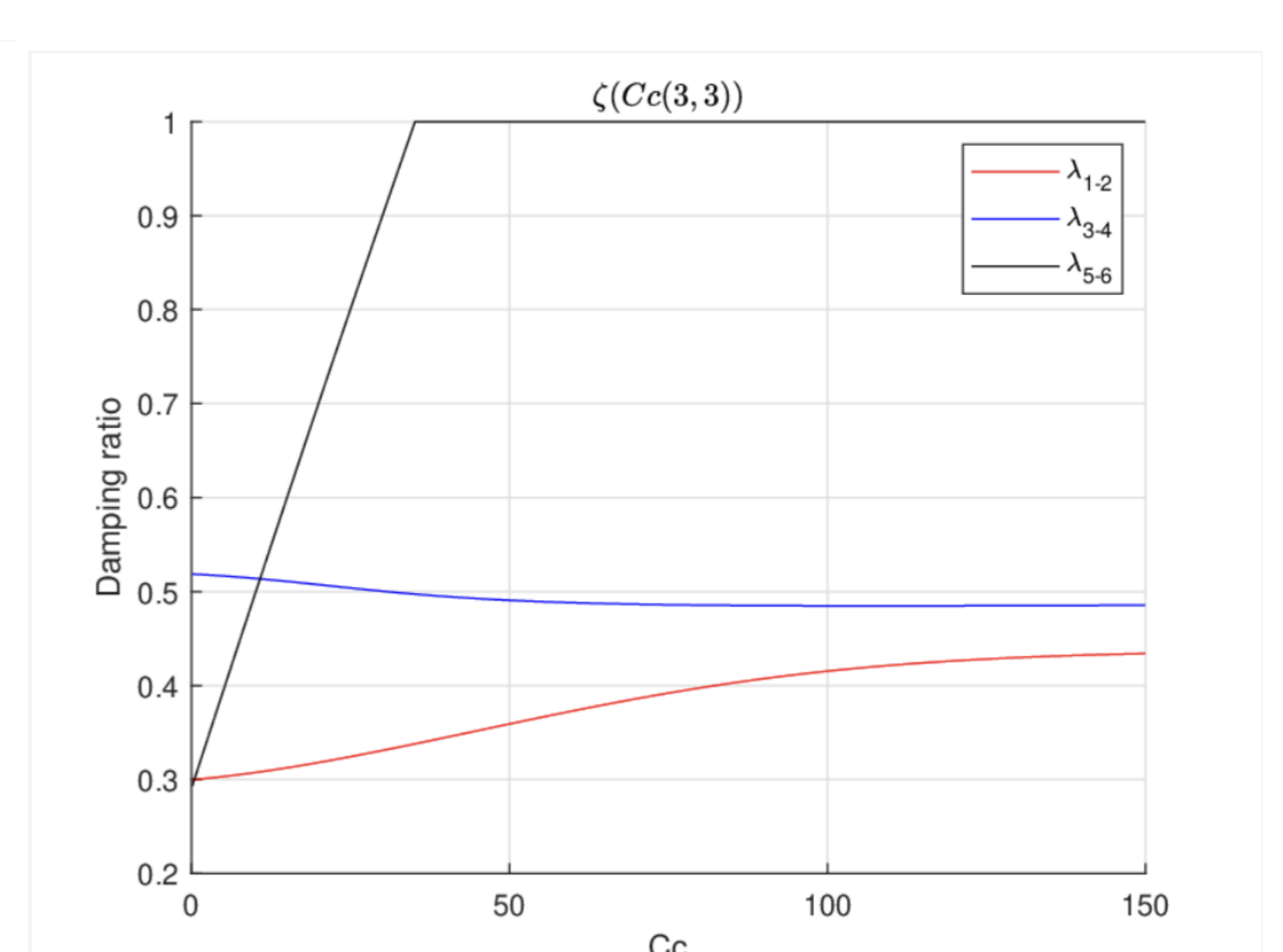


Fig. 6. Parámetros del elemento 3,3 en q_3

CONCLUSIONES

- Mediante simulaciones sobre un robot UR10e hemos ilustrado la aplicación de una metodología analítica para modular la respuesta dinámica de robots con 3 DOF redundantes. Prueba que la metodología puede aplicarse en todos los casos generales. El trabajo futuro incluye los procedimientos experimentales sobre el sistema físico, incluidas tareas con fuerzas externas.
- A través de este estudio se puede lograr una respuesta dinámica estable y óptima según los parámetros deseados y además mejorar significativamente la interacción del robot con el entorno al realizar una tarea asignada.