

## Configuraciones de Estado Estable de Robots Manipuladores Redundantes en Tareas de Control de Impedancia en Espacio Cartesiano

### PROBLEMA

En control de impedancia de robots redundantes, las configuraciones finales después de aplicarse una perturbación o fuerza externa, no son identificables a priori, lo que puede ocasionar acumulación de desviaciones o errores en las configuraciones articulares deseadas provocando fallas o el fracaso de la tarea.

### OBJETIVO GENERAL

Calcular analíticamente las configuraciones finales del robot usando una metodología basada en teoría de vibraciones y control lineal que separa y resuelve la ecuación dinámica del sistema multidimensional masa-amortiguación-rigidez en dos partes: rígida y oscilatoria.



### PROPUESTA

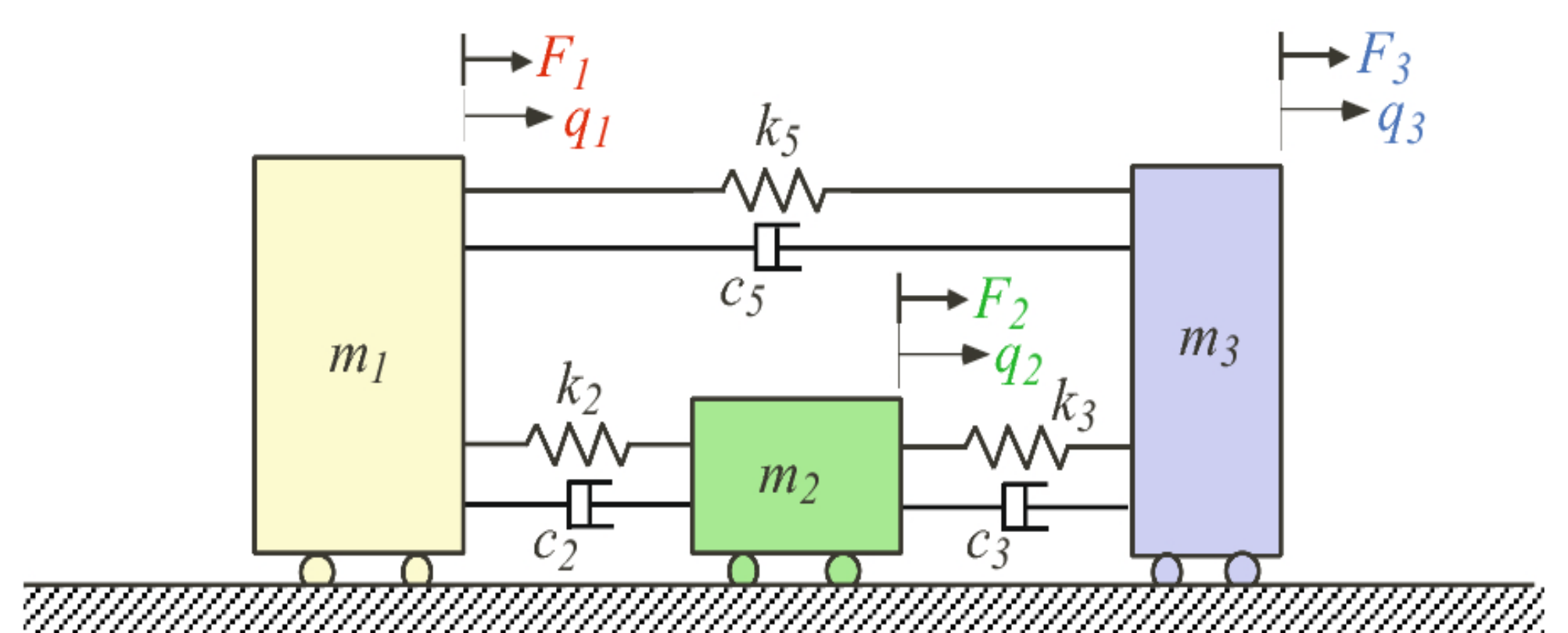
Los desplazamientos o desviaciones de la configuración original o deseada pertenecen al espacio nulo de la matriz de rigidez positiva semi-definida, característica de un sistema redundante, la cual es específica para la tarea del robot. Estos vectores pertenecientes a aquel espacio nulo nos permiten identificar y separar los movimientos rígidos o de cero potencial de aquellos oscilatorios o de no-cero potencial.

La primera consiste en el estado estable del problema que no generan cambio en la energía potencial elástica de rigidez y la segunda, la parte oscilatoria que decae asintóticamente hasta el reposo. Es decir, resolviendo la parte de desplazamientos rígidos se puede obtener la configuración o solución final de estado estable del robot.

Para poder separar las ecuaciones y obtener los respectivos resultados se utiliza una matriz de restricción que remueve los desplazamientos rígidos del sistema. Utilizando las condiciones iniciales del problema, previamente conocidos, se puede obtener la función o valores de la configuración final del robot.

$$M(q)\ddot{q}(t) + C\dot{q}(t) + Kq(t) = F$$

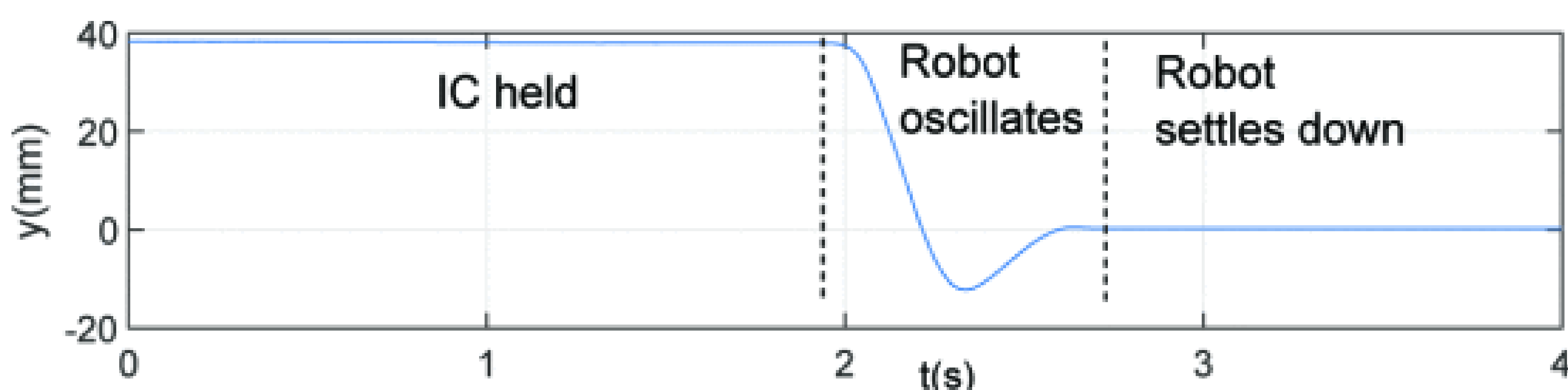
$$Ku = 0$$



Análogo al desplazamiento rígido de sistemas discretos

### RESULTADOS

Los resultados de los experimentos, que consistieron en implementar y obtener la respuesta dinámica del robot redundante en vibración libre después de imponer un desplazamiento manualmente, validaron a través de comparación los valores teóricos obtenidos analíticamente, con los valores finales obtenidos experimentalmente, en una y dos fases sucesivas.



C. Saldarriaga and I. Kao, "Zero-Potential-Energy Motions due to Stiffness in Impedance Control of Robotic Tasks: an Innovative Theory and Experimental Study," 2021 IEEE International Conference on Robotics and Automation (ICRA), 2021, pp. 2548-2554, doi: 10.1109/ICRA48506.2021.9560809.

### CONCLUSIONES

- Gracias a este estudio experimental y metodología analítica se puede establecer cuantitativamente los desplazamientos que ocurren en el espacio nulo de la matriz de rigidez del sistema robótico después de una perturbación.
- La metodología analítica obtiene los desplazamientos que no producen cambios en la energía potencial del sistema robótico después de desplazarse de su posición de equilibrio inicial.
- Estos desplazamientos nos permiten mejorar y prever el comportamiento del robot en tareas de control de impedancia, como en la interacción física hombre-robot.