

INSTITUTO TECNOLÓGICO DE BUENOS AIRES

AUTOMACIÓN INDUSTRIAL

TRABAJO PRÁCTICO

Control



Nicolas MESTANZA 57.521
Alexander MOLDOVAN LOAYZA 60.498
Victor OH 56.679

Profesores Responsable de Materia:

Rodolfo ARIAS
Federico Sofio AVOGADRO
Mariano Tomás SPINELLI

Entrega: 14-11-2023
Corrección:

Índice

1	Introducción	2
2	Control de posición no lineal de un manipulador robótico	3
2.1	Metodología	3
2.2	Resultados	4
2.2.1	Robot sin perturbar	4
2.2.2	Robot perturbado 80%	6
3	Control de fuerza no lineal de un manipulador robótico	8
3.1	Resultados	9
3.1.1	Robot sin perturbar	9
3.1.2	Robot perturbado 80%	12
4	Control híbrido no lineal de un manipulador robótico	15
4.1	Resultados	15
4.1.1	Robot sin perturbar	15
4.1.2	Robot perturbado 80%	17

1 Introducción

Se construyó un manipulador RR con links de 1m de largo y centro de masa al final del manipulador.

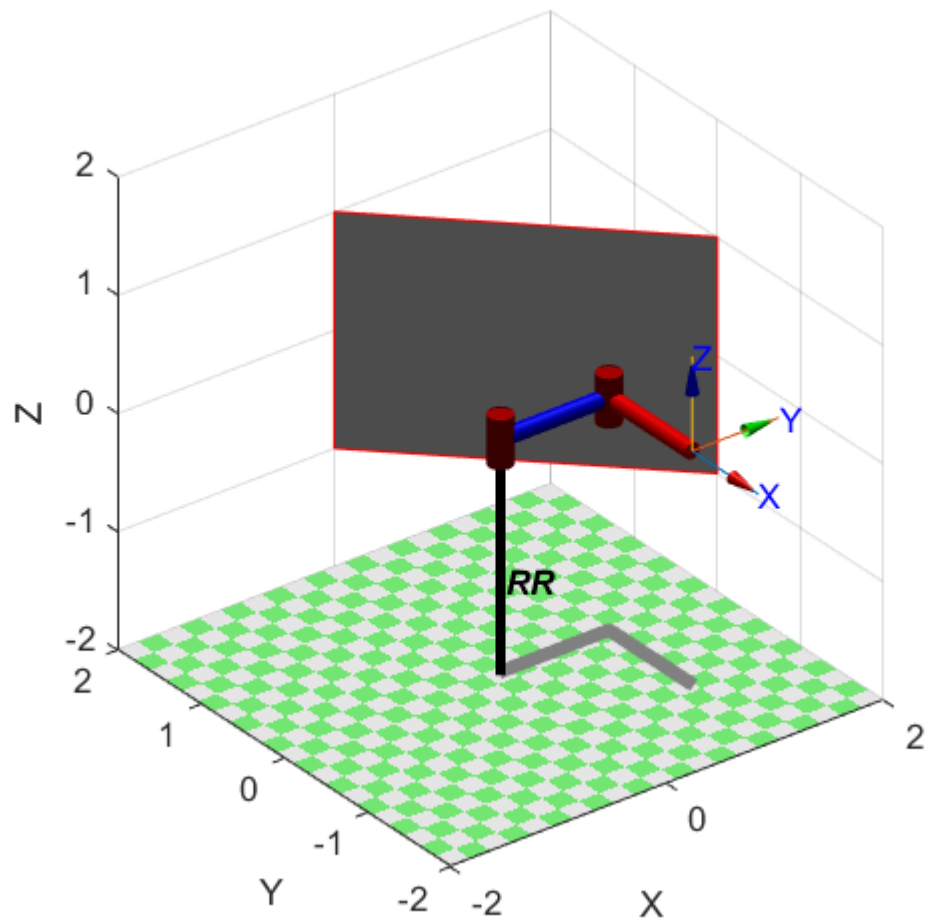


Figura 1: Manipulador RR y pared vertical

Para todos los casos analizados se adjuntaron también vídeos ilustrativos del robot en movimiento.

2 Control de posición no lineal de un manipulador robótico

Se desarrolló un controlador cartesiano de posición de forma que el efector final del manipulador se desplace entre los puntos $\{(1, -1); (1, 1)\}$.

El sistema se diseñó de forma que la respuesta al escalón de cada paso sea críticamente amortiguada con un tiempo de establecimiento igual al tiempo de paso de simulación:

$$\xi = 1 \quad (1)$$

$$T_{set} = T_{step} = 0.2s \quad (2)$$

Se obtuvieron con estos parámetros

$$K_p = 0.0004 \quad (3)$$

$$K_v = 0.04 \quad (4)$$

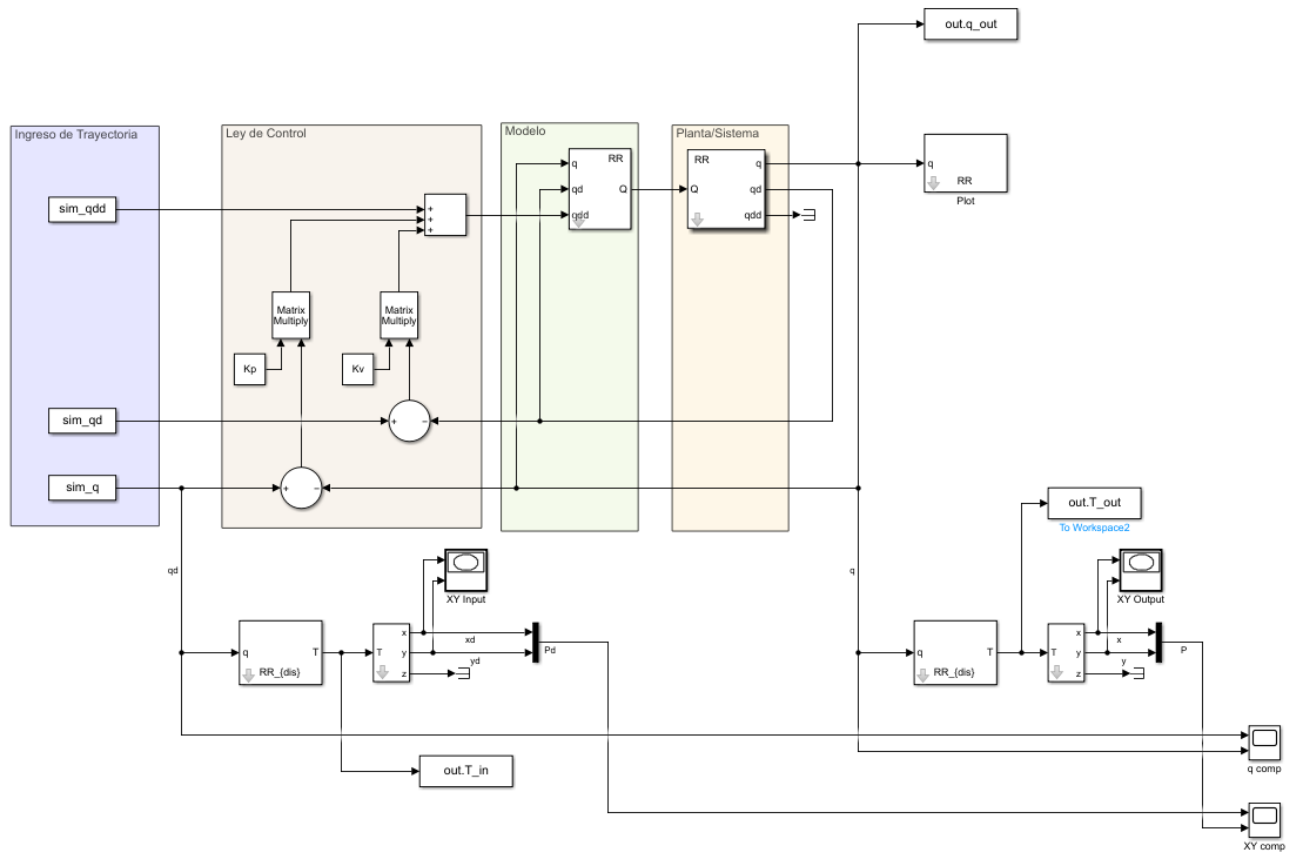


Figura 2: Esquema de control en Simulink

2.1 Metodología

Se construyó el robot *RR* y su versión perturbada al 80% con los parámetros indicados por la consigna.

Luego se generó la trayectoria cartesiana de forma que el efector final se mueva en una línea recta entre ambos puntos. A partir de las matrices de transformación obtenidas, se convirtieron a ángulos de joint utilizando cinemática inversa. Con sus diferencias, se calculó luego las velocidades y aceleraciones de los joints.

Una vez obtenidos estos datos, se ingresó estos valores como trayectoria para el modelo de control en *Simulink* del manipulador.

2.2 Resultados

Se corrió el archivo "Ej1/main.m" para obtener las simulaciones y sus resultados.

2.2.1 Robot sin perturbar

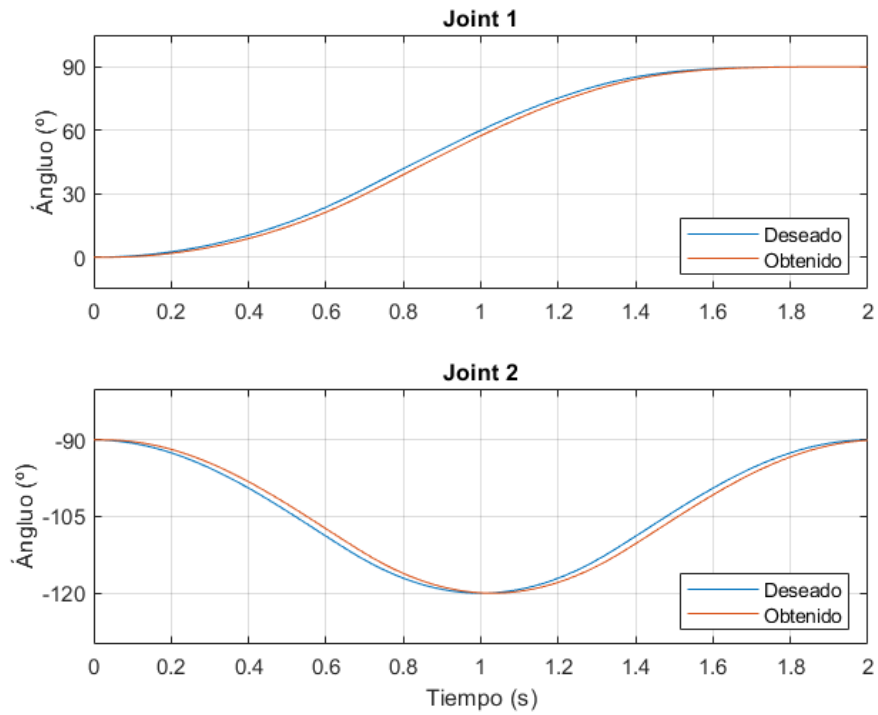


Figura 3: Ángulos de joints en el tiempo

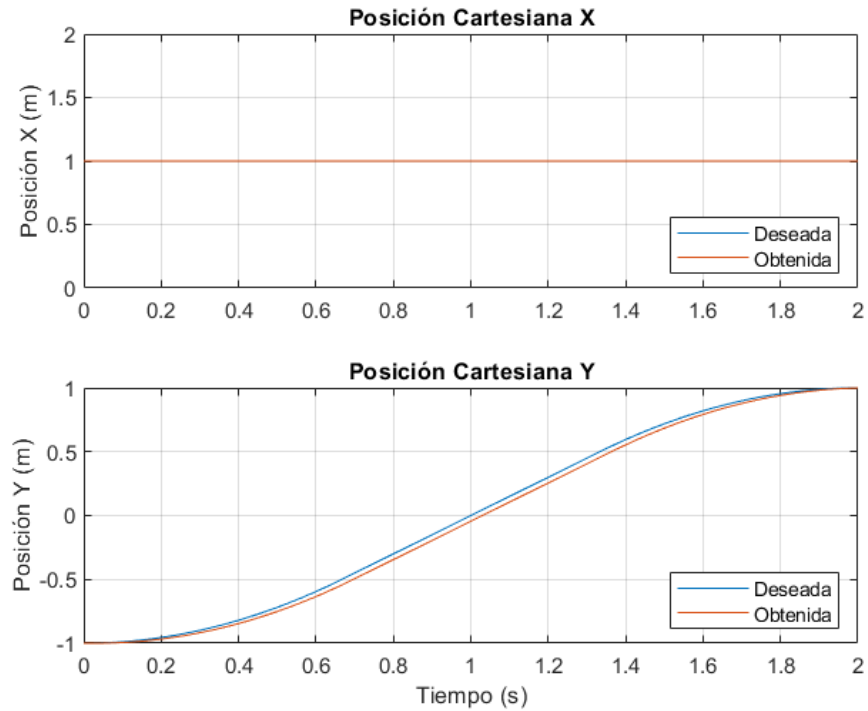


Figura 4: Posiciones en X e Y en el tiempo

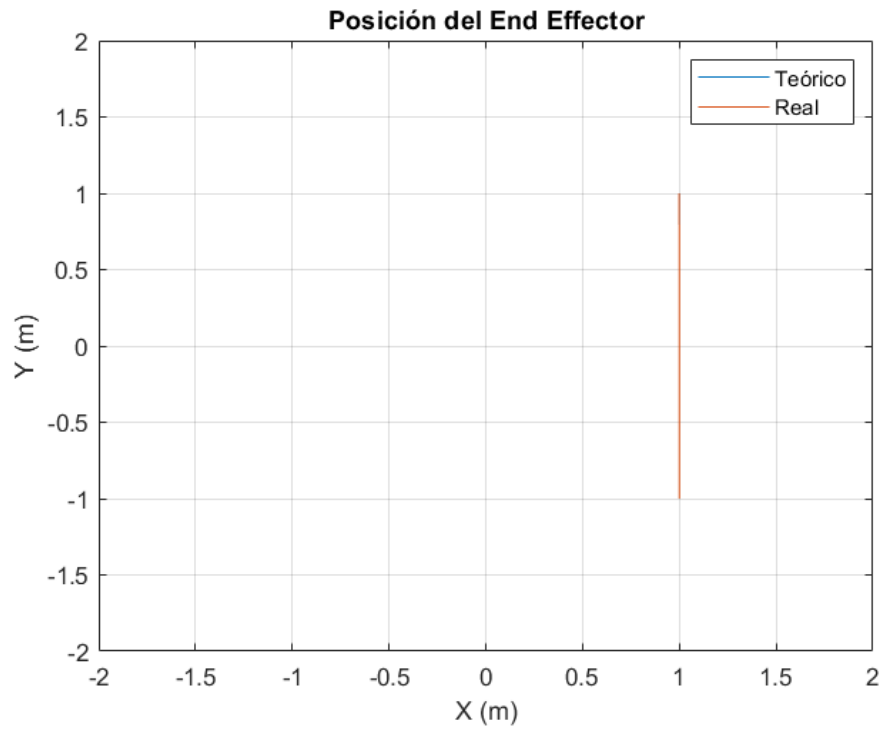


Figura 5: Vista Overhead

Se puede observar en las figuras 3 y 4 el funcionamiento correcto del seguimiento de posición. Aunque ligeramente atrasadas la posición final angular y cartesiana en y , en relación a las posiciones deseadas, el valor final de este movimiento no tiene error final.

Se puede observar en la figura 5 cómo este atraso no es observable en la trayectoria final recorrida por el efector final.

2.2.2 Robot perturbado 80%

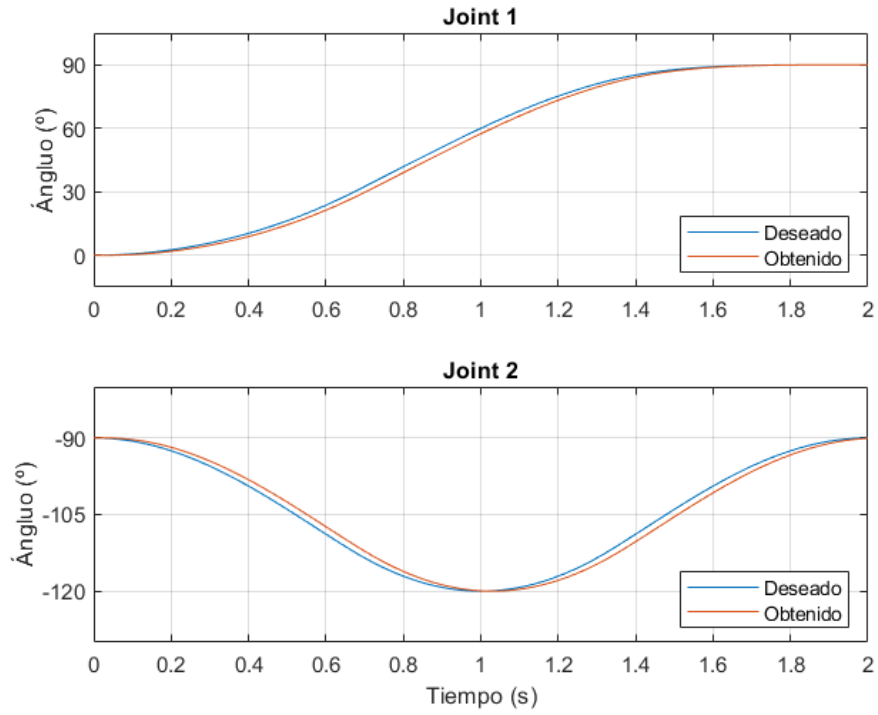


Figura 6: Ángulos de joints en el tiempo

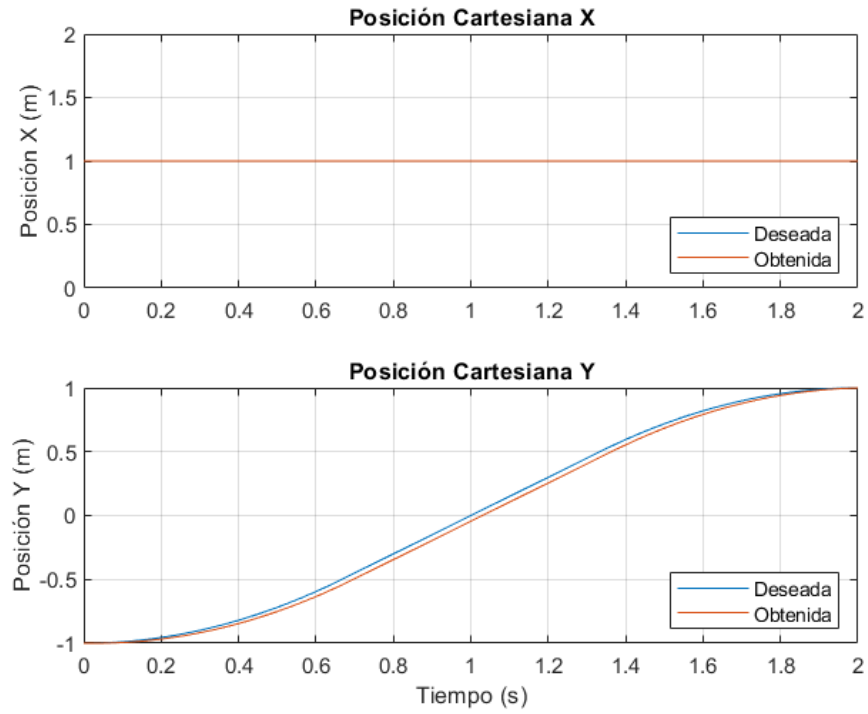


Figura 7: Posiciones en X e Y en el tiempo

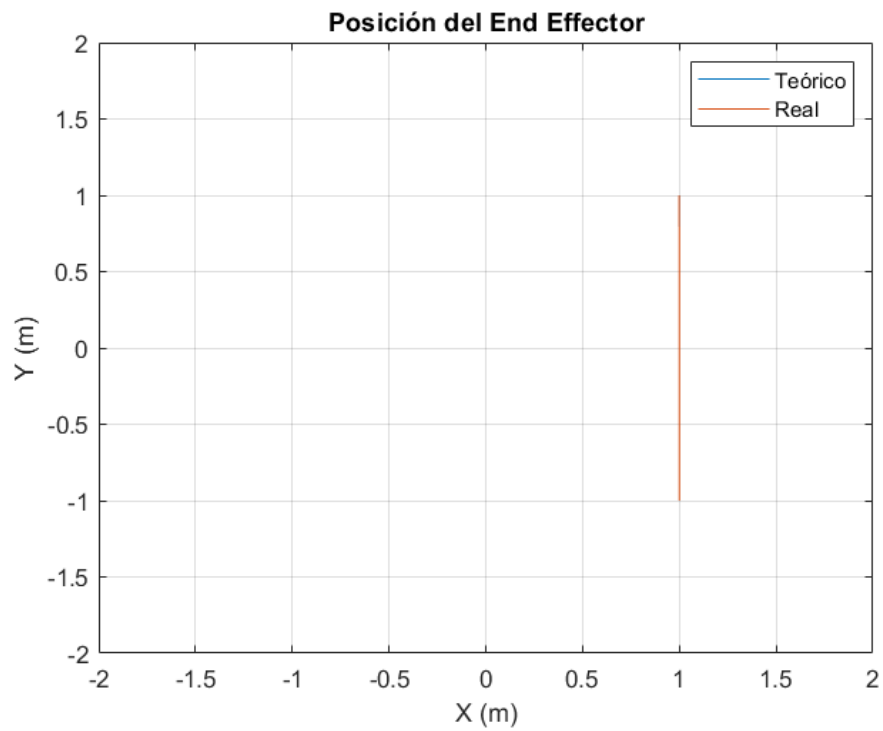
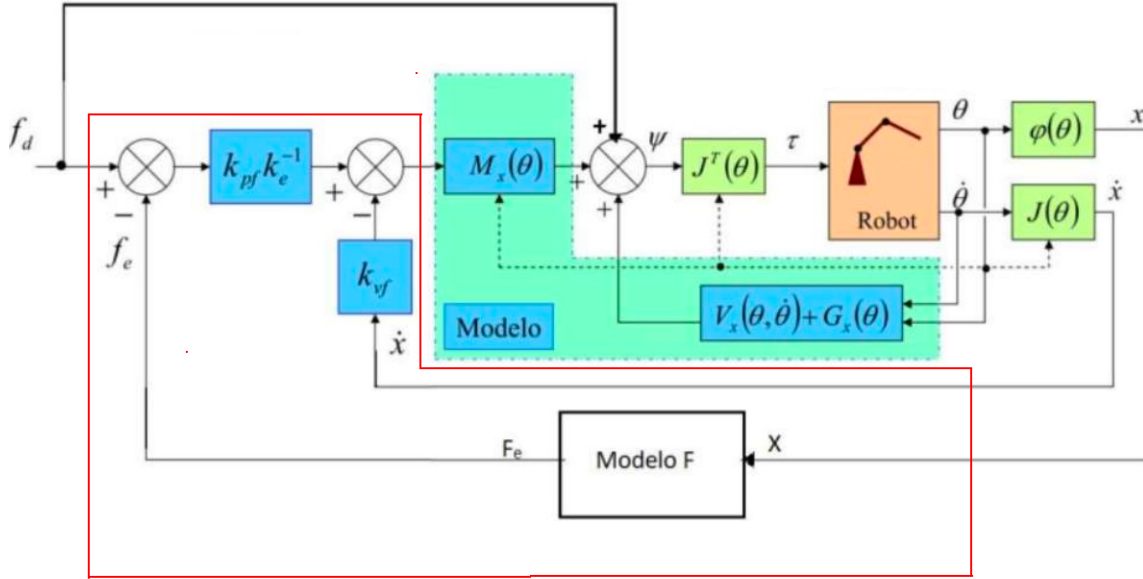


Figura 8: Vista Overhead

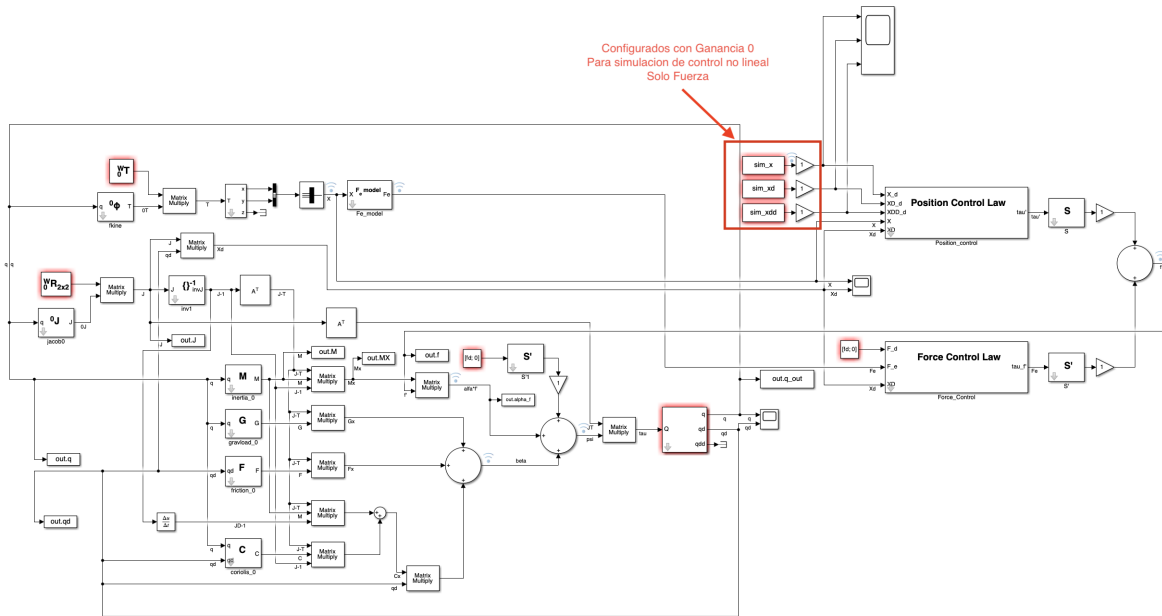
En el caso del modelo del manipulador perturbado, se puede observar cómo aún con las perturbaciones, dado el sistema de control continua siguiendo la trayectoria correctamente.

3 Control de fuerza no lineal de un manipulador robótico

Para esta instancia del trabajo práctico se asume una pared vertical que interseca el plano XY en una línea que contiene los puntos (2; 0) y (0; 2) equivalente a la instancia previa. Se desarrolla un controlador de fuerza que haga que el manipulador mantenga una fuerza contra la pared de $f_d = 10\text{N}$, con una rigidez de la pared $K_{env} = 1000\text{ N/mm}$. Se usa la siguiente arquitectura del libro de Craig (figura 11.12) sin control de posición y donde la fuerza se ejerce perpendicular a la pared:



Lo resaltado en rojo (Servo) es lo que se desarrollará para este control. Por una cuestión de simplicidad se optó por desarrollar en paralelo el control de fuerza y la integración para un control híbrido. En esta instancia se anularán factores que controlan la posición, dando solo efecto a la parte de fuerza del control desarrollado. Ello se puede ver a continuación sobre el modelo de simulación adjunto:



Basándonos en las ganancias críticas y el periodo crítico, se determinan los parámetros del controlador K_{vf} y K_{pf} con las siguientes consideraciones para obtener un controlador acorde:

- $X_i = 1$ para el caso críticamente amortiguado.
- $T_s = 0.01$ equivalente al settling time.
- $W_n = \frac{4}{X_i T_s}$
- $K_{pf} = W_n^2$
- $K_{vf} = 2X_i W_n$

Por lo tanto:

- $K_{pf} = 400^2 = 160000$
- $K_{vf} = 2 * 1 * 400 = 800$

La relación entre ambos es:

$$K_{vf} = 2 * \sqrt{K_{pf}} \text{ verificándose que } 800 = 2 * \sqrt{160000}.$$

Es importante notar que K_{env} está en $\frac{N}{mm}$ por lo que en las simulaciones se realizaron los ajustes correspondientes sobre K_{vf} y K_{pf}

3.1 Resultados

3.1.1 Robot sin perturbar

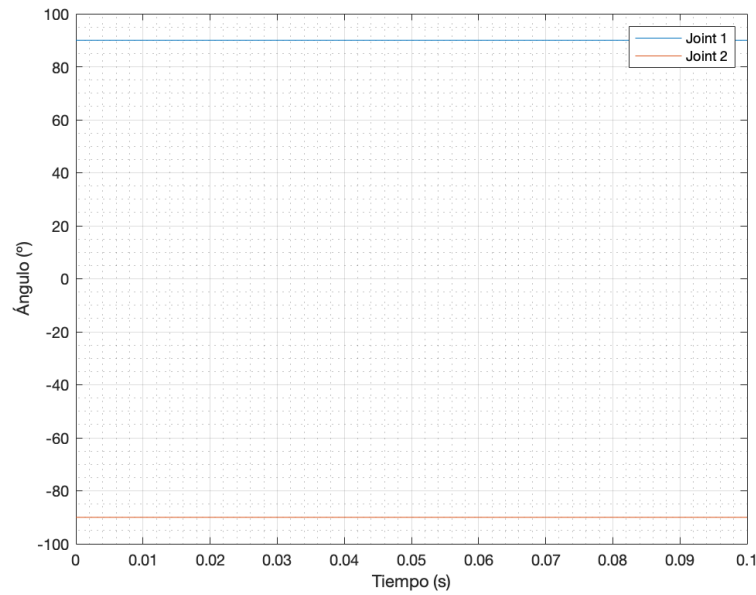


Figura 9: Ángulos de joints en el tiempo

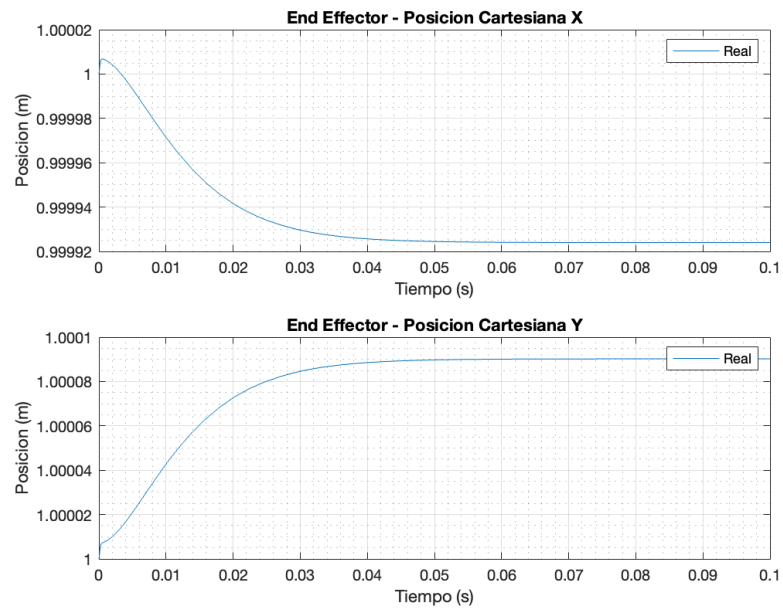


Figura 10: Posiciones en X e Y en el tiempo

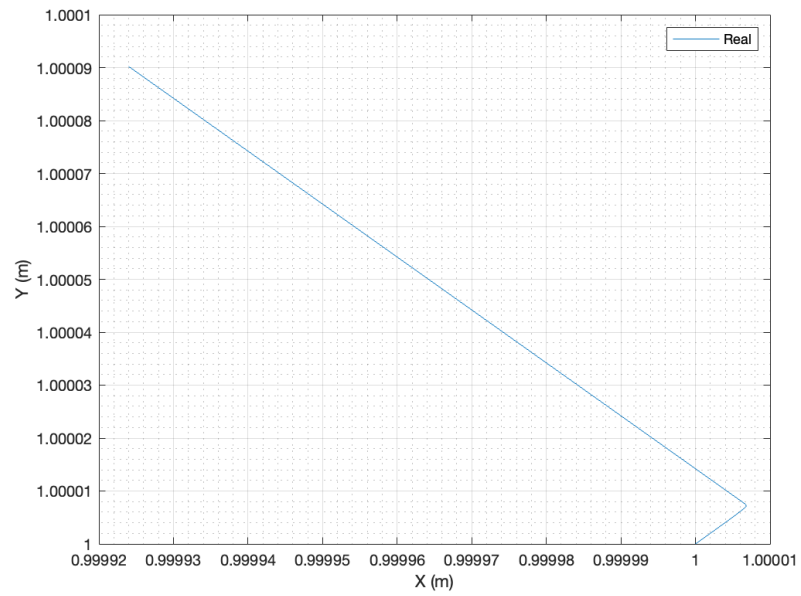


Figura 11: Vista Overhead

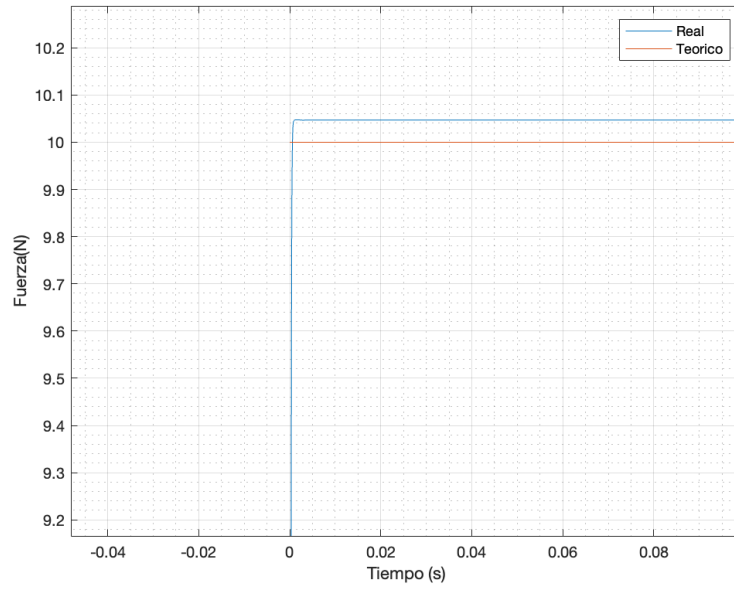


Figura 12: Fuerza en el tiempo

En las posiciones del End Effector tanto para el Eje X como para el Eje Y se puede observar que hay una estabilización alrededor del 1.

Luego en la Vista XY se puede observar que hay una especie de perforación hacia la pared (muy insignificativa), parte de las simulaciones con una consiguiente estabilización nuevamente sobre el 1 como se esperaba.

Al obtener los ángulos de Joint estos están por debajo de los 90 grados como también se esperaba.

Por último, se observa una leve diferencia entre la fuerza buscada (10N) y la real obtenida. Esto se debe a las aproximaciones utilizadas pero dada su magnitud no tiene efecto sobre el control y tiene el comportamiento esperado.

3.1.2 Robot perturbado 80%

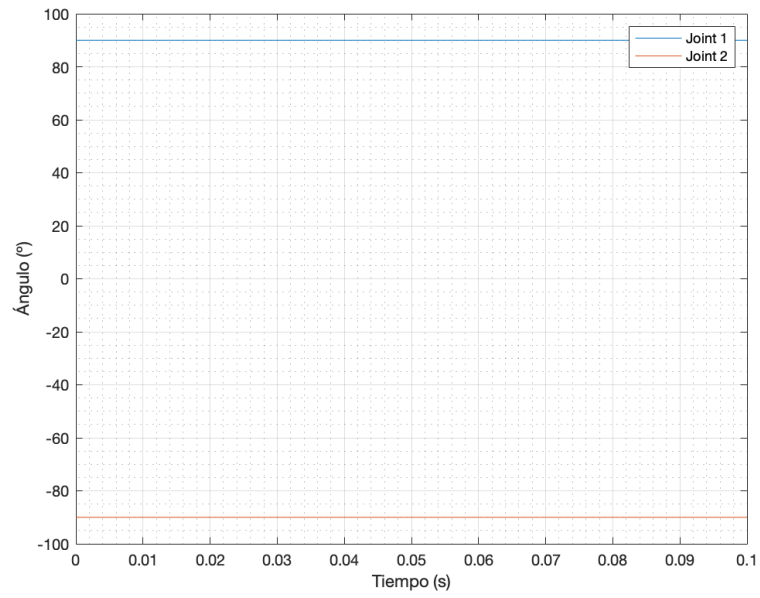


Figura 13: Ángulos de joints en el tiempo

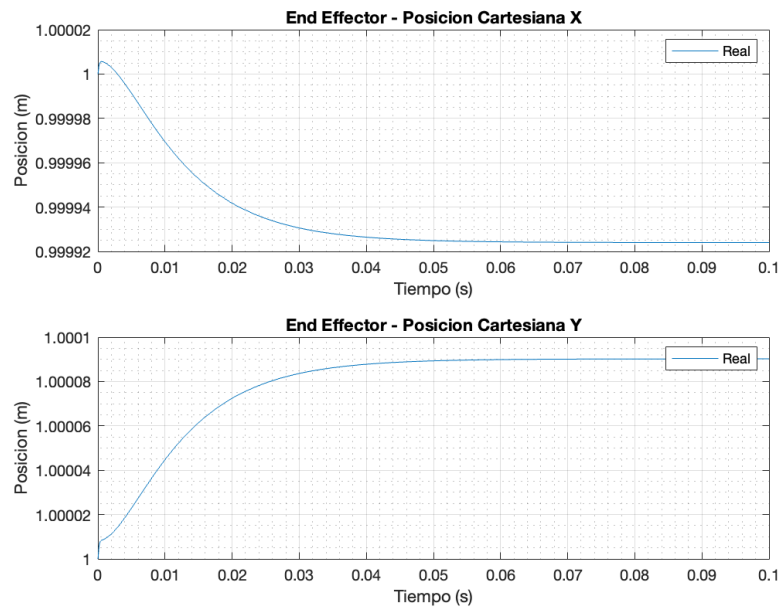


Figura 14: Posiciones en X e Y en el tiempo

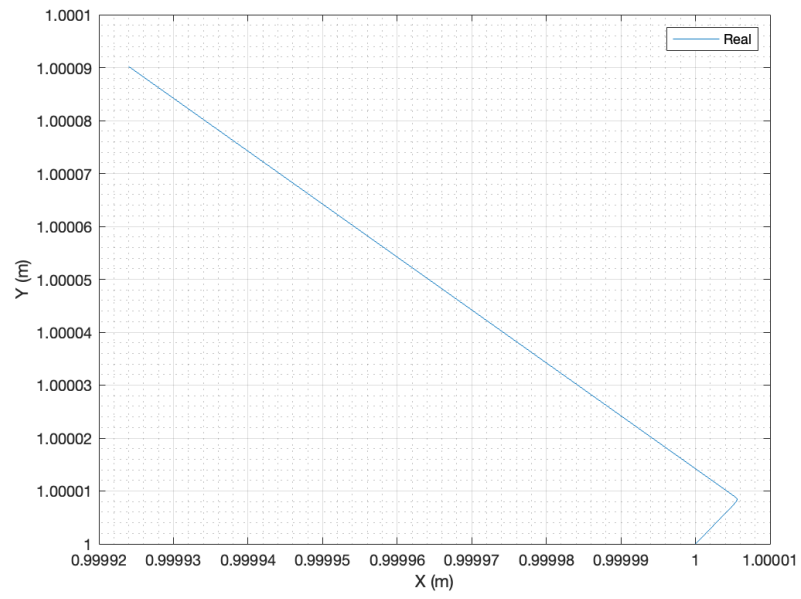


Figura 15: Vista Overhead

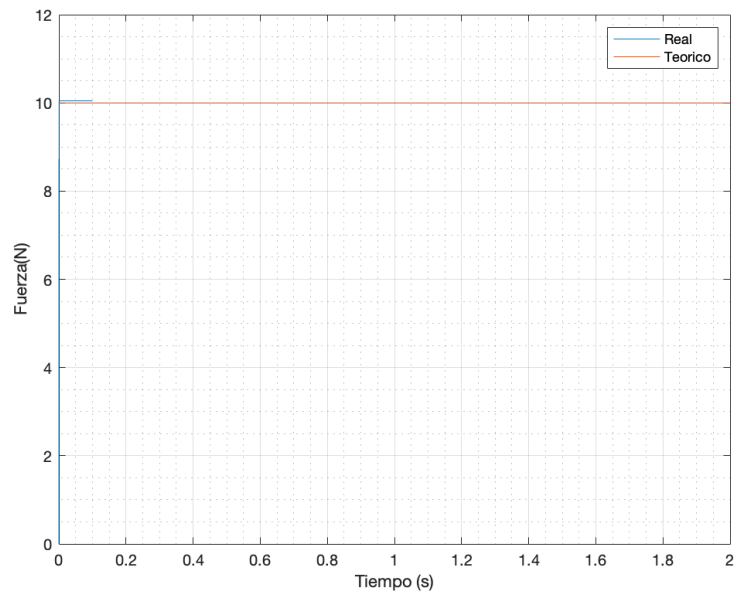


Figura 16: Fuerza en el tiempo

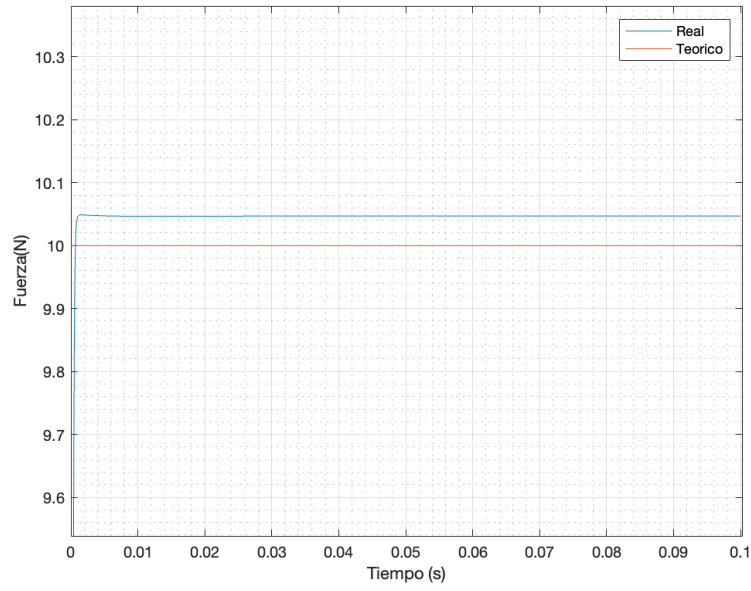


Figura 17: Fuerza en el tiempo - Zoom

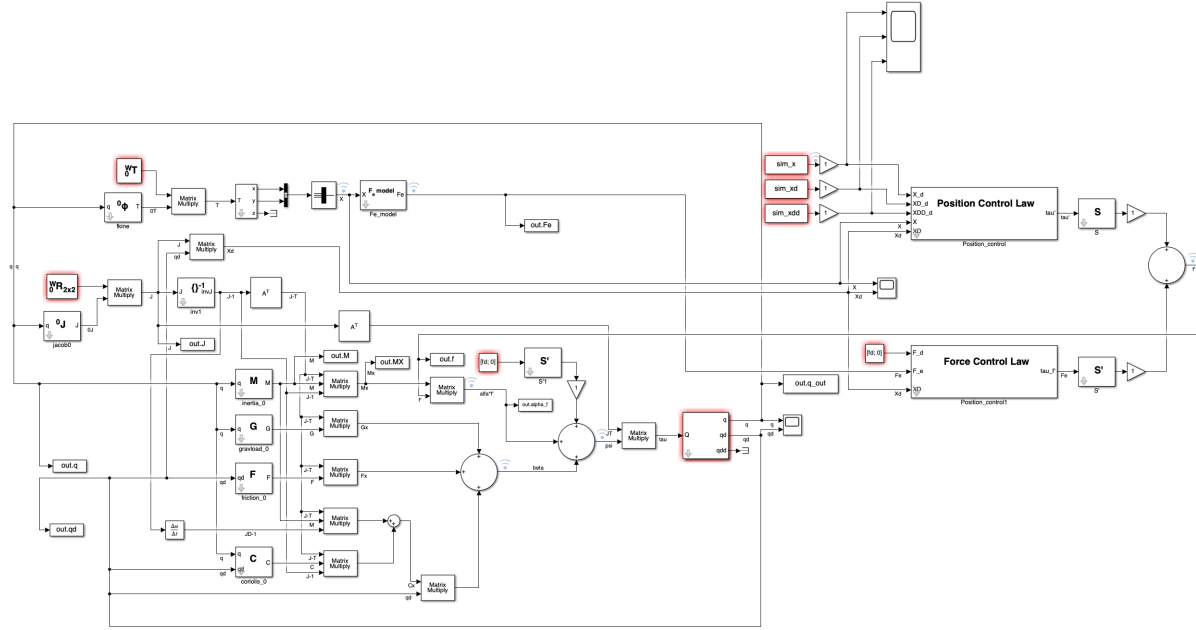
En el caso del modelo del manipulador perturbado, se puede observar cómo aún con las perturbaciones, dado el sistema de control continua realizando el control de manera correcta con las diferencias de magnitud mencionadas anteriormente.

Notar que se observa un pico en la Figura 17 propio de la perturbación añadida.

4 Control híbrido no lineal de un manipulador robótico

Como se mencionó precedentemente, ahora se utiliza el mismo controlador pero incluyendo su parte de control de posición. El objetivo es mantener la fuerza perpendicular a la pared y usar un generador de trayectoria para mover el robot de un punto a otro de la pared (al menos una unidad de distancia).

El simulador utilizado es el siguiente:



4.1 Resultados

4.1.1 Robot sin perturbar

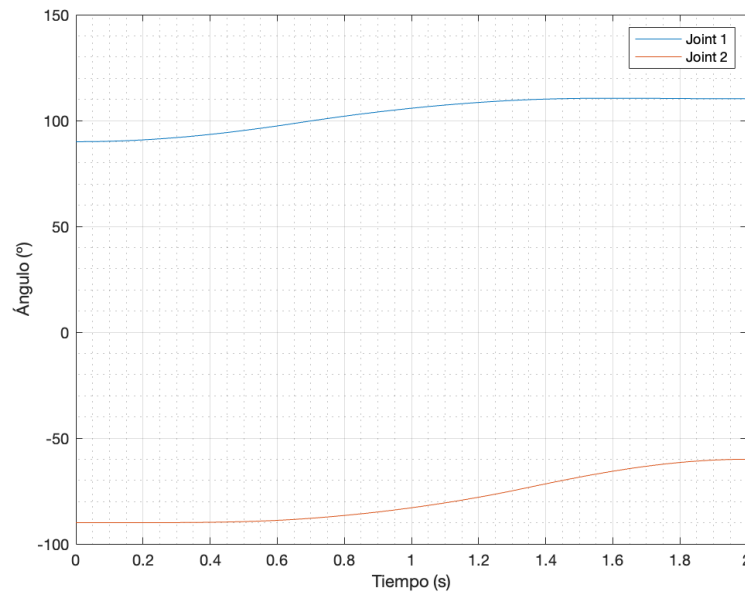


Figura 18: Ángulos de joints en el tiempo

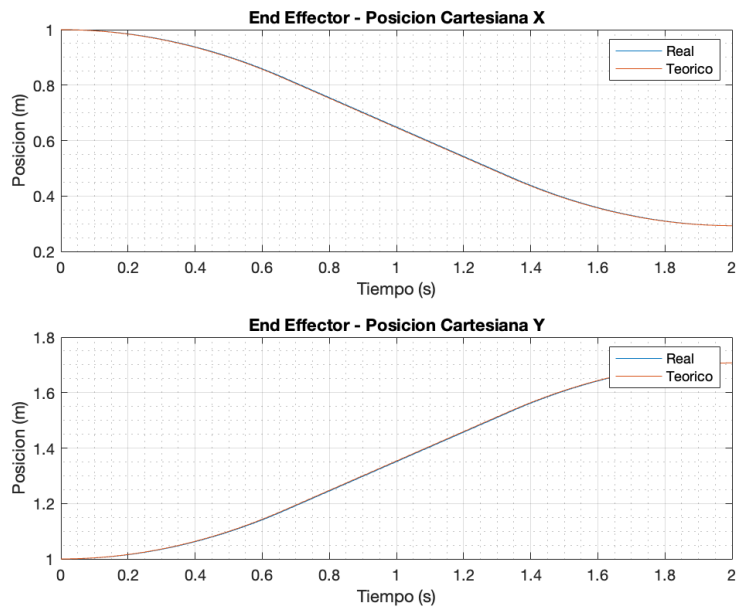


Figura 19: Posiciones en X e Y en el tiempo

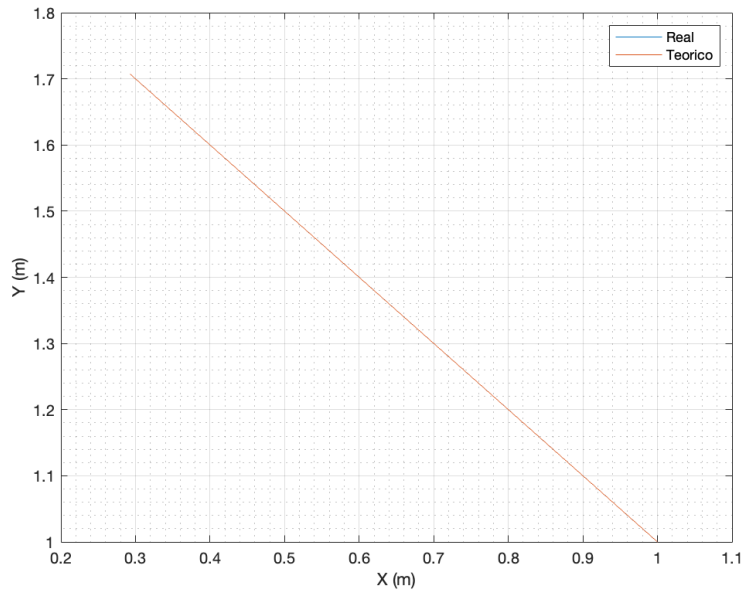


Figura 20: Vista Overhead

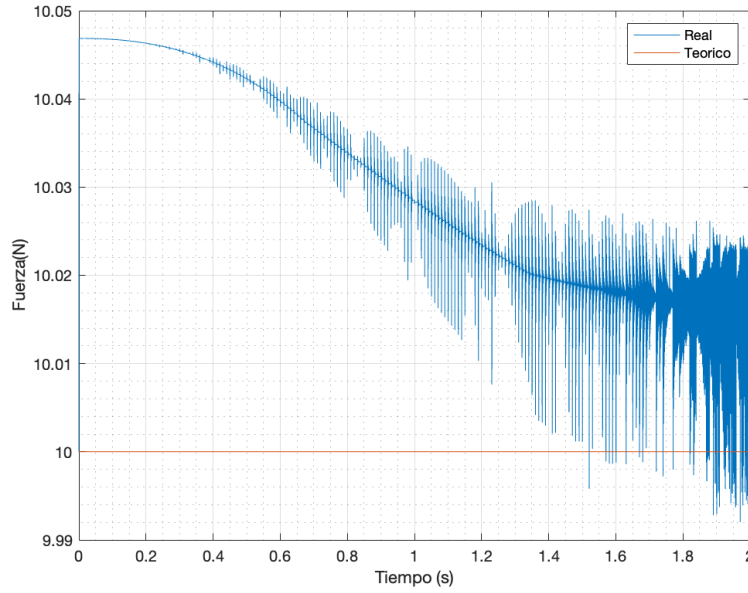


Figura 21: Fuerza en el tiempo

Se puede observar que para todas las figuras excepto la de Fuerza en el tiempo, tanto los valores teóricos como los simulados (reales) se condicen. Al utilizar las simulaciones, y ver los gráficos con un gran nivel de detalle se verán diferencias muy insignificativas.

Como el valor de K_e es muy elevado (de 1 millón de N por mm), para que la ganancia del lazo sea suficiente, se eligió un valor de K_{vf} alto (y para tener un sistema con amortiguamiento crítico, K_{pf} también es de un valor apreciable). Debido a esto, la frecuencia natural del sistema es muy pequeña, provocando las rápidas oscilaciones que se ven en la Figura 21.

4.1.2 Robot perturbado 80%

El control robusto permitió que el modelo perturbado siga el ideal de forma semejante al robot sin perturbación. Nuevamente, se observan oscilaciones en el valor de la fuerza aplicada a la pared en la Figura 25.

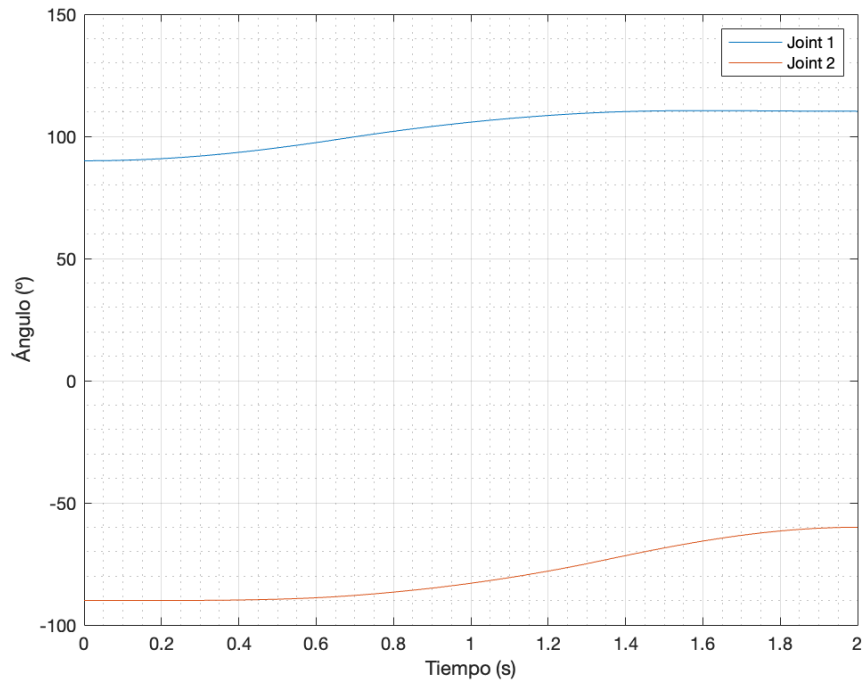


Figura 22: Ángulos de joints en el tiempo

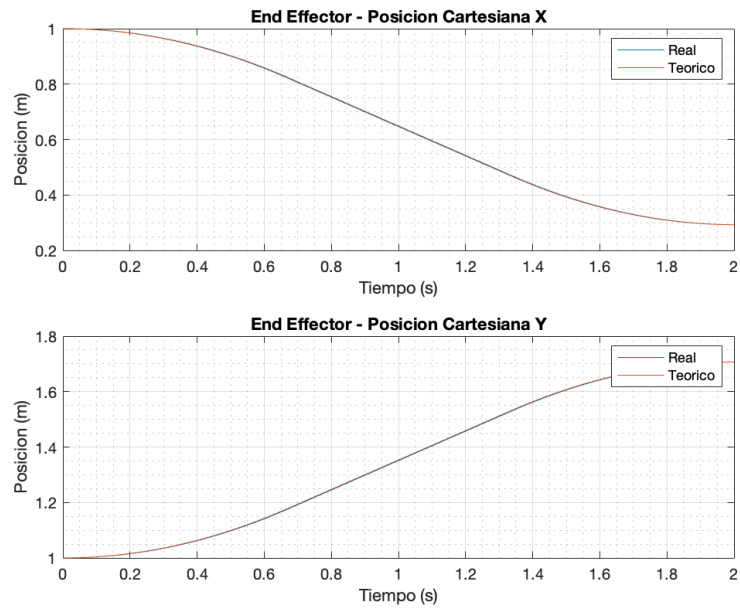


Figura 23: Posiciones en X e Y en el tiempo

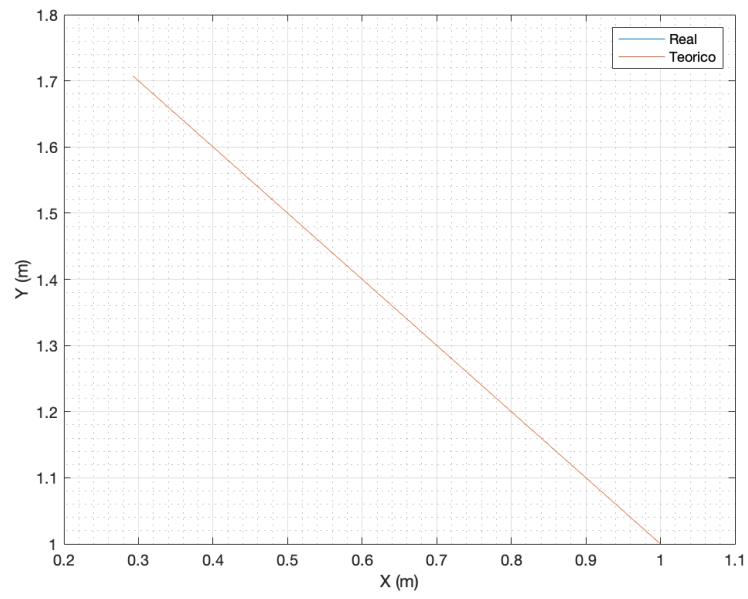


Figura 24: Vista Overhead

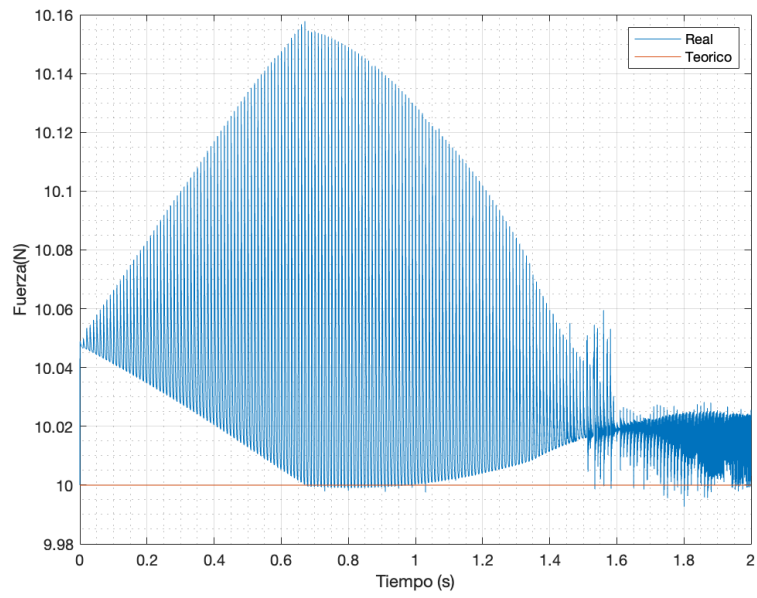


Figura 25: Fuerza en el tiempo