



Trabajo práctico final de Automación Industrial

Control de manipulador RR

Autores: Scala, Tobias Emmanuel (55391)
Trillo, Martín Blas (55014)
Laguinge, Juan Martín (57430)

Tutores: Arias, Rodolfo Enrique
Sofio Avogadro, Federico
Spinelli, Mariano Tomás

Fecha: 11/11/21

Índice general	1
1 Introducción	2
1.1 Datos proporcionados	2
1.2 Suposiciones realizadas	3
1.3 Notas	3
2 Control de posición	4
2.1 Implementación del Control	4
2.2 Resultados y Análisis	5
3 Control de fuerzas	9
3.1 Implementación del Control	9
3.2 Resultados y Análisis	10
4 Control Híbrido	14
4.1 Implementación del Control	14
4.2 Resultados y Análisis	15

Capítulo 1

Introducción

En el siguiente trabajo desarrollaremos como diseñar un sistema de control no lineal PD para controlar la posición y fuerza generadas por un manipulador RR. Cabe mencionar que durante la realización del diseño se tuvieron en cuenta una serie de suposiciones las cuales se procederán a mencionar más adelante y en las mismas vamos a explicar la razón por las cuales se realizaron. Los capítulos se encuentran divididos en el desarrollo del control de posición, el control de fuerza y finalmente, en el control híbrido que consiste en la correcta combinación de los controles anteriores. El controlador fue desarrollado en el programa **MATLAB** y **Simulink**, del cual se utilizó el Robotics Toolbox de Peter Corke para realizar el modelo del brazo mecánico mencionado y probar el correcto funcionamiento del brazo robótico.

1.1. Datos proporcionados

A continuación se mencionan todos los datos proporcionados por el enunciado sobre el brazo RR.

Dato	Valor
Masa del link 1	1 Kg concentrada al final del link
Masa del link 2	1 Kg concentrada al final del link
Largo del link 1	1 m
Largo del link 1	1 m
Coefficiente de fricción	1
Perturbación	80 %
Fuerza de control (f_d)	10 N
Coefficiente de rigidez (K_{env})	1000 $\frac{N}{mm}$

1.2. Suposiciones realizadas

Se realizaron las siguientes suposiciones:

1. Gear ratio de cada link tiene valor unitario, se asumió que la conexión entre los engranajes del motor y del brazo a mover tienen la misma cantidad de dientes porque el motor utilizado es suficiente para generar la cupla y velocidad necesarias.

1.3. Notas

Cabe mencionarse que todas las simulaciones realizadas en **Simulink** requieren que se corra el código adjunto al mismo archivo y que solo aquellas simulaciones donde se tiene escrito [OK] son las que se deben correr. Aquellas que tengan el modelo perturbado tendrán un modelo de nombre **RRbotD** mientras que las que tienen el modelo no perturbado son **RRbot**.

Las ganancias de realimentación del control se elijaron utilizando la relación brindada por el libro de Craig. La cual es $K_v = 2\sqrt{K_p}$ y el valor de la ganancia K_p se obtuvo a base de prueba y error.

Control de posición

En esta sección del trabajo práctico se plantea el control de posición del brazo mecánico en un entorno que, visto desde arriba, posee una pared que se representa con un plano vertical que contiene los puntos (2;0) y (0;2). El objetivo del controlador es mover el brazo desde el punto (1;-1) al punto (1;1). Como no fue especificado el tiempo de trabajo en el cual el brazo debía realizar el movimiento, se decidió como un tiempo razonable de trabajo 2 segundos

2.1. Implementación del Control

Para lograr lo que fue descripto anteriormente, se utilizo el siguiente sistema de control:

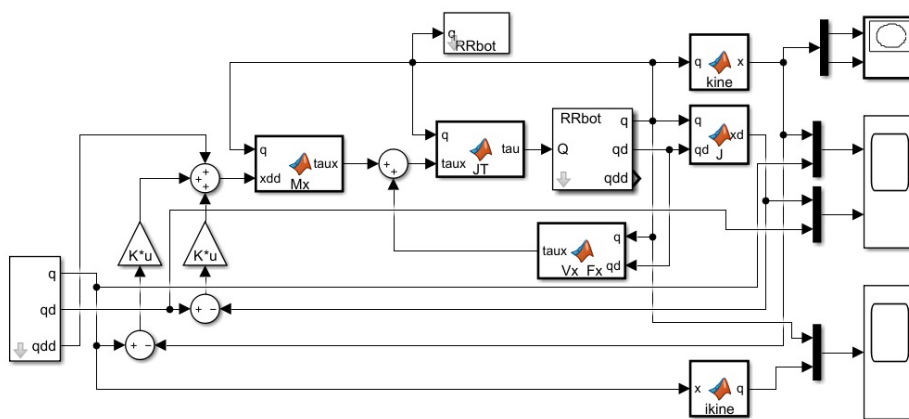


Figura 2.1: Esquema de control de posición implementado en **Simulink**

2.2. Resultados y Análisis

En el siguiente gráfico se muestra el desplazamiento en un plano cartesiano del end effector. Se puede ver que este siguió una línea recta entre el punto inicial y final.

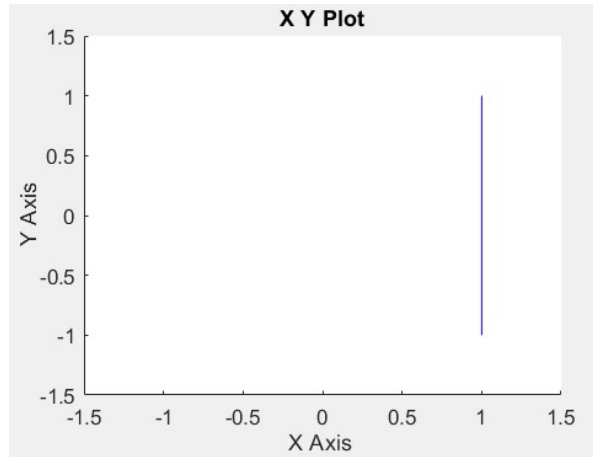


Figura 2.2: Desplazamiento del end effector

En los siguientes gráficos, se muestran tanto los desplazamientos en coordenadas en X e Y y las velocidades en ambas. En este caso podemos ver que, como la coordenada X no cambia, la velocidad en X es 0, mientras que en Y esta aumenta y vuelve a descender a 0, ya que el end effector se mueve para llegar a la posición deseada.

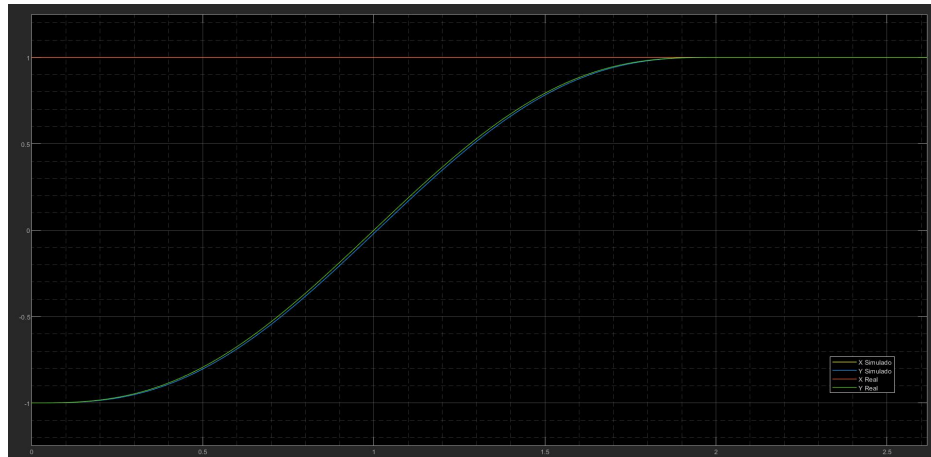


Figura 2.3: Desplazamiento del end effector en X e Y

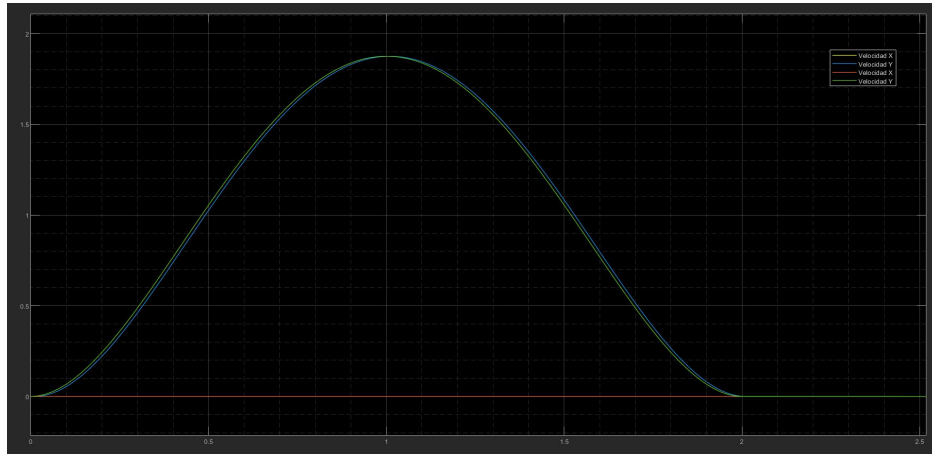


Figura 2.4: Velocidad del end effector en X e Y

En este gráfico vemos como el comportamiento de los joints para que este movimiento sea posible

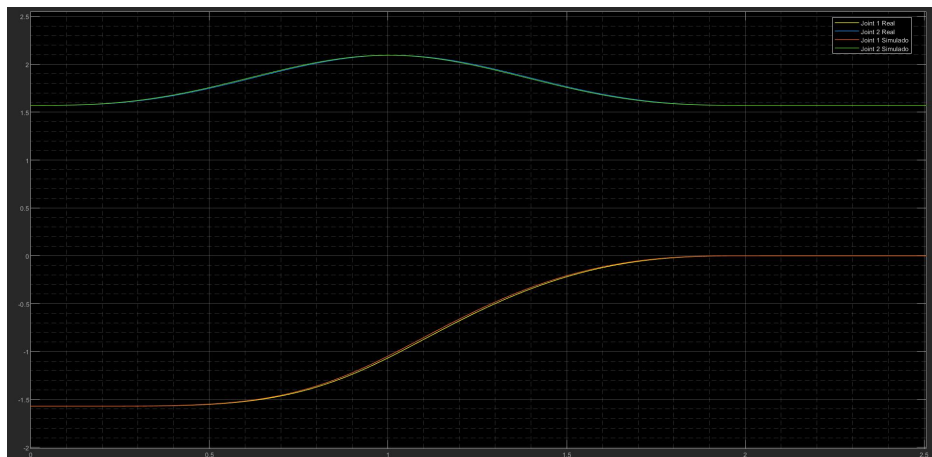


Figura 2.5: Ángulo de los joints a lo largo del movimiento

Los próximos gráficos muestran el comportamiento del brazo mientras realiza esta tarea con una perturbación del 80 %.

Podemos observar como por culpa de la perturbación del 80 % el sistema no logra seguir el camino ideal buscado pero gracias al controlador, logra ir acercándose a el camino que queremos realizar y finalmente se termina desplazando correctamente del punto inicial al punto final querido.

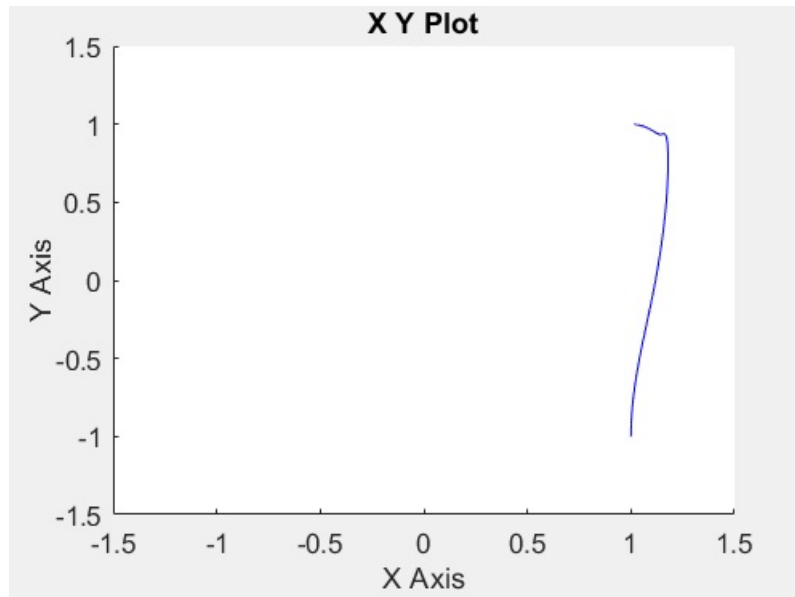


Figura 2.6: Desplazamiento del end effector perturbado

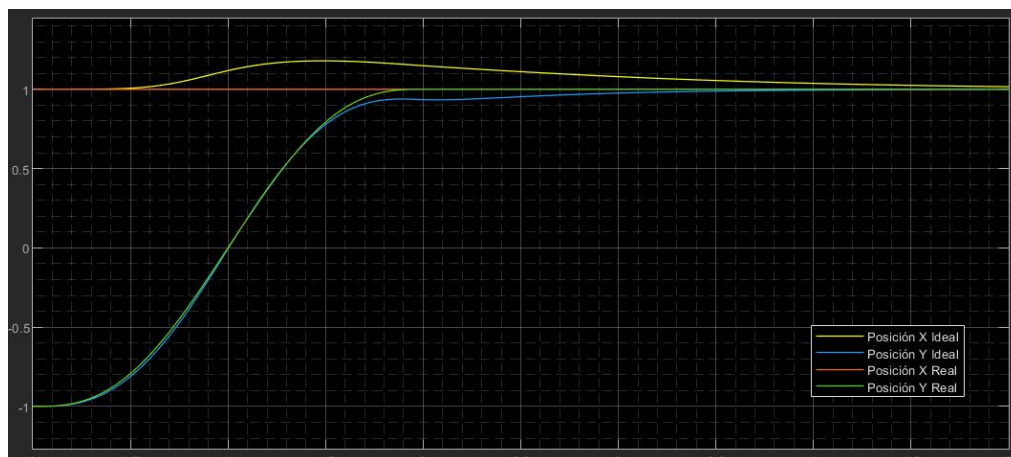


Figura 2.7: Desplazamiento del end effector en X e Y con una perturbación del 80 por ciento

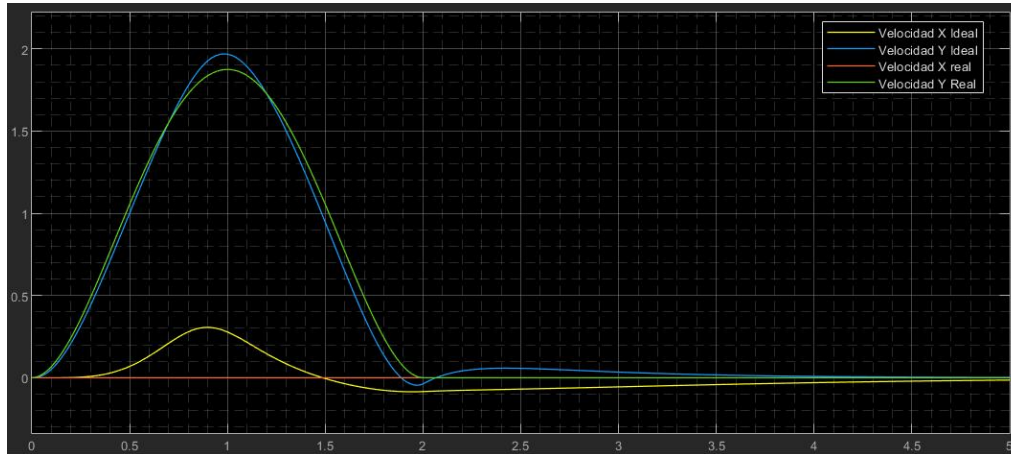


Figura 2.8: Velocidad del end effector en X e Y con una perturbación del 80 por ciento

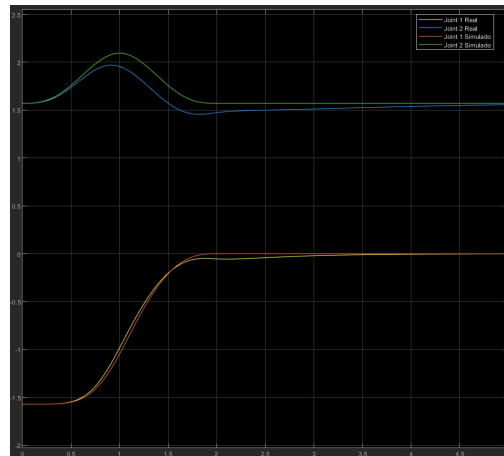


Figura 2.9: Ángulo de los joints a lo largo del movimiento con una perturbación del 80 por ciento.

En los 3 gráficos anteriores, se ve al principio del movimiento como difiere la posición y la velocidad deseada de la real por la perturbación, pero a medida que pasa el tiempo, estas terminan tendiendo a ser similares.

Capítulo 3

Control de fuerzas

En esta sección del trabajo práctico se plantea el control de fuerza del brazo mecánico en un entorno igual al del control de posición. El objetivo del controlador es mantener una fuerza de 10N presionando contra la pared, suponiendo que esta tiene una rigidez de 1000 N/mm.

3.1. Implementación del Control

Para lograr lo que fue descrito anteriormente, se utilizó el siguiente sistema de control:

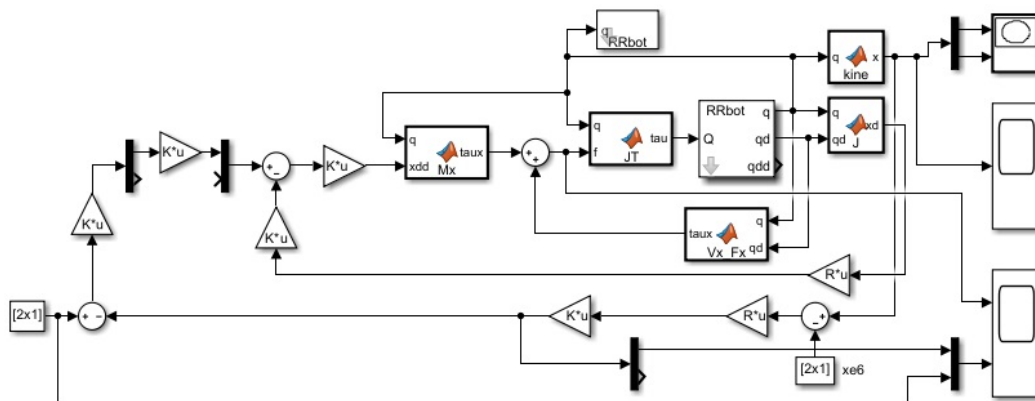


Figura 3.1: Esquema de control de fuerza implementado en **Simulink**

3.2. Resultados y Análisis

En el siguiente gráfico se muestra el desplazamiento en el plano cartesiano del end effector. Dicho gráfico se encuentra en blanco, ya que el end effector en esta operación no se desplaza.

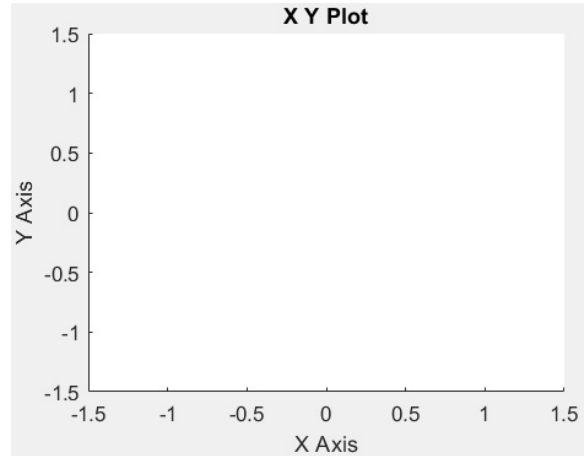


Figura 3.2: Desplazamiento del end effector

En los siguientes gráficos, se muestran tanto los desplazamientos en coordenadas en X e Y y la fuerza que realiza el end effector. En este caso podemos ver que, como se mencionó en el anterior gráfico, el end effector no se desplaza y que realiza una fuerza de 10N. Sin embargo, se ve que al comienzo de la simulación ocurre un pico de fuerza de alrededor de 160N, lo cual se corresponde a un torque de los joints que llega a una magnitud de alrededor de 120Nm.

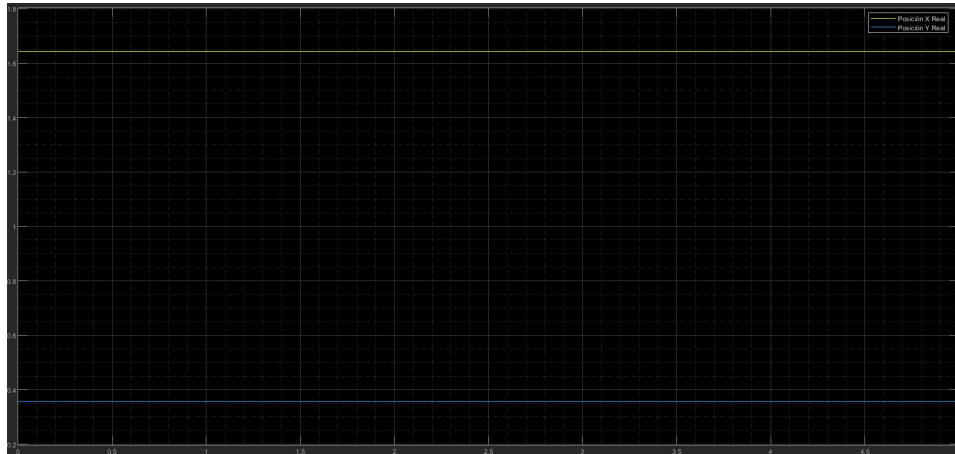


Figura 3.3: Desplazamiento del end effector en X e Y



Figura 3.4: Fuerza realizada por el end effector

En este gráfico vemos el esfuerzo que realizan los joints

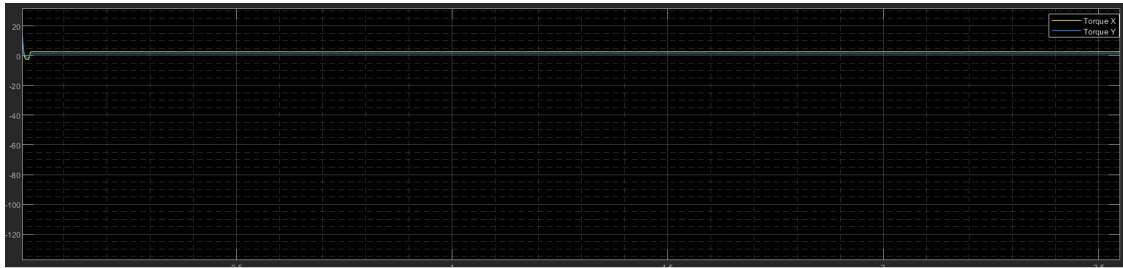


Figura 3.5: Esfuerzo de torque de los joints

Los próximos gráficos muestran el comportamiento del brazo mientras realiza esta tarea con una perturbación del 80



Figura 3.6: Desplazamiento del end effector en X e Y con una perturbación del 80 por ciento

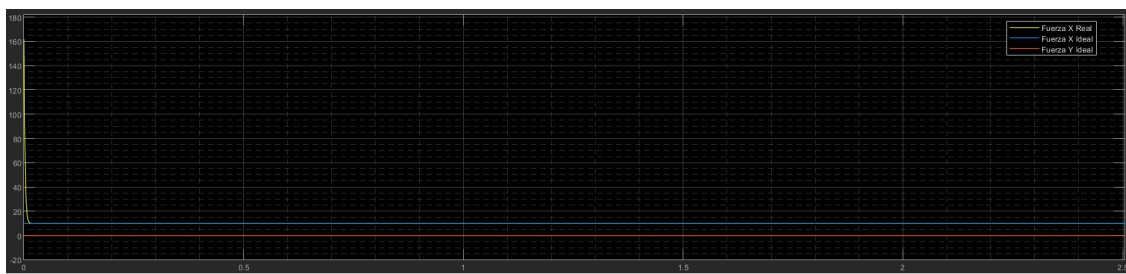


Figura 3.7: Fuerza del end effector con una perturbación del 80 por ciento

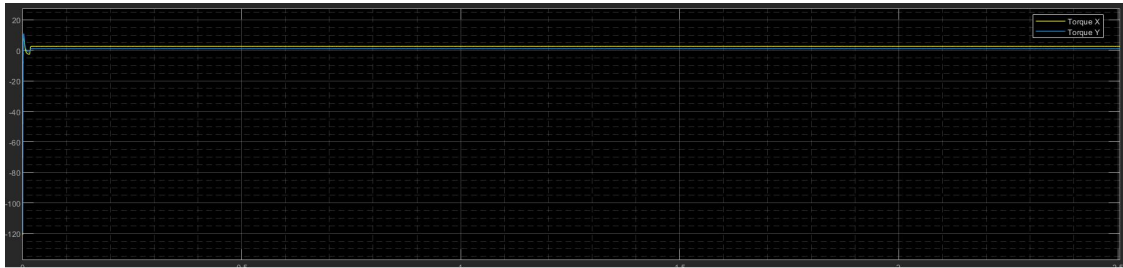


Figura 3.8: Esfuerzo de los joints con una perturbación del 80 por ciento

En los gráficos de torque de los joints y de fuerza del end effector en coordenadas cartesianas se ve el efecto de la perturbación del principio, pero tendiendo al resultado deseado a medida que pasa el tiempo.

Capítulo 4

Control Híbrido

En esta sección del trabajo práctico se plantea el control de posición y fuerza del brazo mecánico en el mismo entorno que se utilizó para los controles anteriores. El objetivo del controlador es realizar el mismo movimiento descrito entre un punto de la pared hacia otro con una distancia mayor a 1 unidad, pero manteniendo la fuerza perpendicular hacia la pared que se describe en el control de fuerzas. Se volvió a decidir como tiempo de trabajo razonable para esta implementación 2 segundos. Cabe mencionar que si se tuviera realizando el movimiento en 5 segundos (con un $t_s = 0.05$ segundos) en vez de 2 segundos, el control funcionaría mejor teniendo una pendiente de desviación más chicas y más suaves.

4.1. Implementación del Control

Para lograr lo que fue descrito anteriormente, se utilizó el siguiente sistema de control:

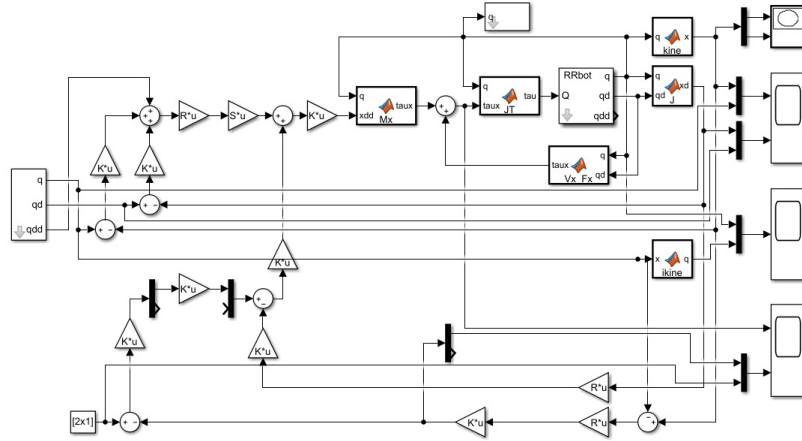


Figura 4.1: Esquema de control híbrido implementado en **Simulink**

4.2. Resultados y Análisis

En el siguiente gráfico se muestra el desplazamiento en el plano cartesiano del end effector. En este gráfico se puede ver como este se mueve a lo largo de la pared.

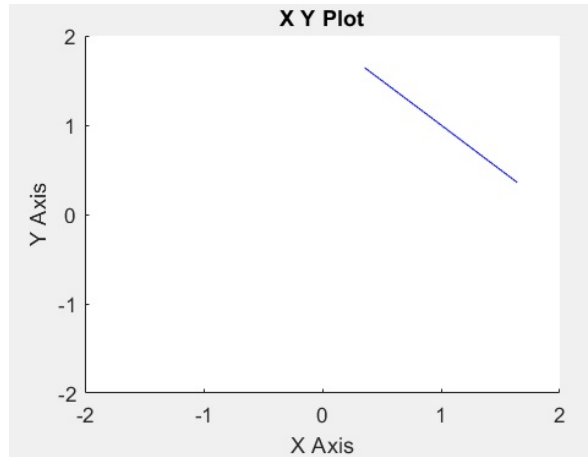


Figura 4.2: Desplazamiento del end effector

En los siguientes gráficos, se muestran tanto los desplazamientos y velocidades en X e Y y la fuerza que realiza el end effector. El movimiento realizado empieza y termina en los puntos que se plantean, sin embargo, la fuerza tiene un pico similar al caso del control de fuerza, que también es de 160N.

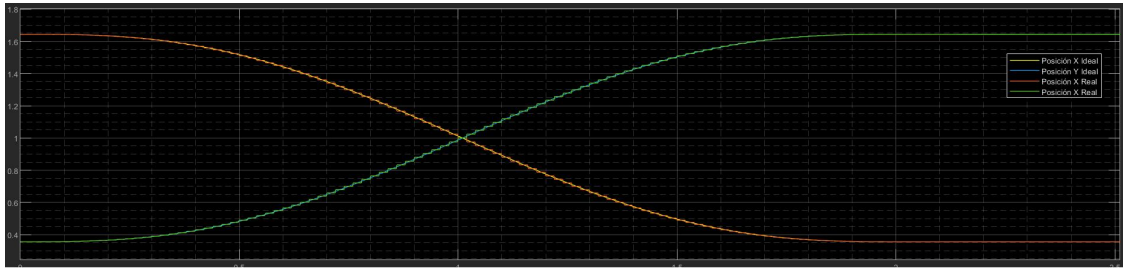


Figura 4.3: Desplazamiento del end effector en X e Y

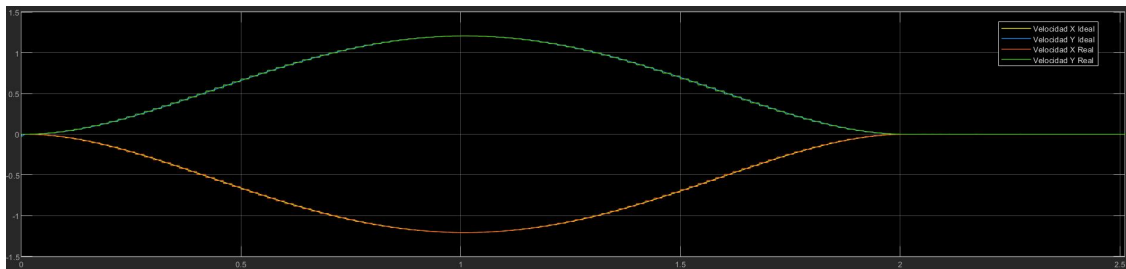


Figura 4.4: Velocidad del end effector en X e Y



Figura 4.5: Fuerza realizada por el end effector

En este gráfico vemos el esfuerzo que realizan los joints y sus ángulos a lo largo del movimiento

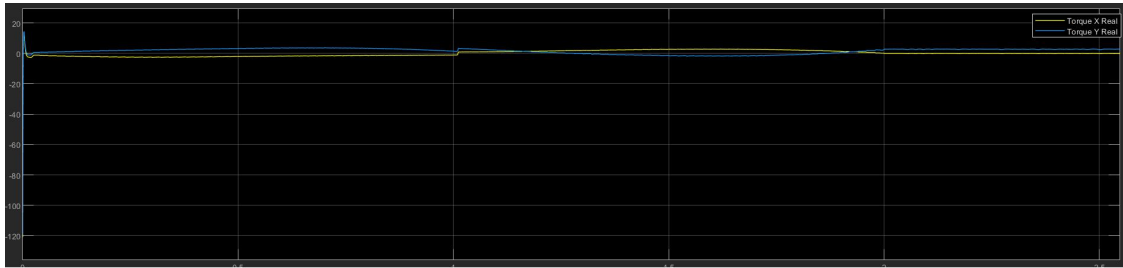


Figura 4.6: Esfuerzo de torque de los joints

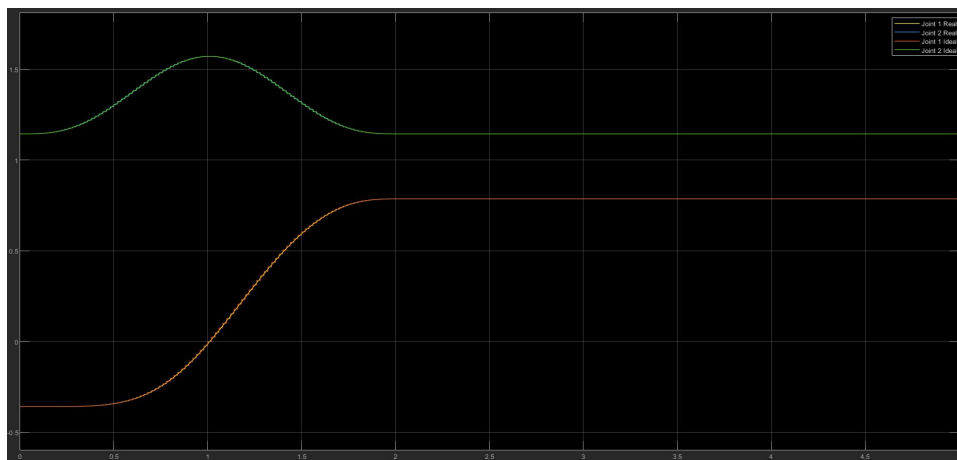


Figura 4.7: Ángulo de los joints a lo largo del movimiento

Los próximos gráficos muestran el comportamiento del brazo mientras realiza esta tarea con una perturbación del 80

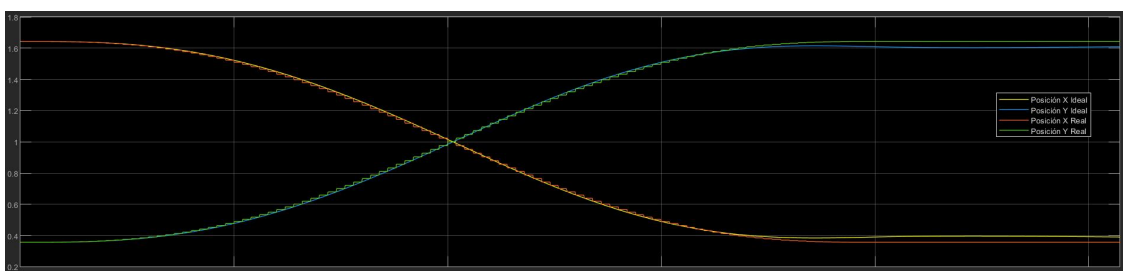


Figura 4.8: Desplazamiento del end effector en X e Y con una perturbación del 80 por ciento

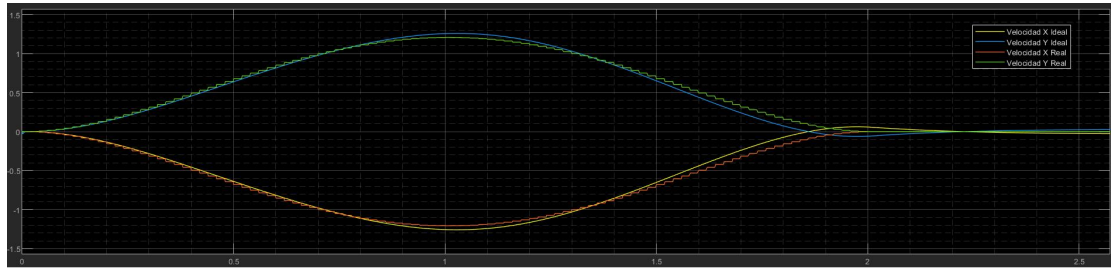


Figura 4.9: Velocidad del end effector en X e Y con una perturbación del 80 por ciento

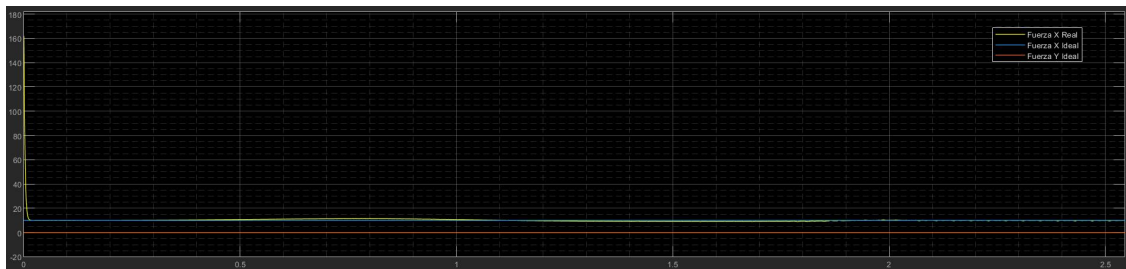


Figura 4.10: Fuerza del end effector con una perturbación del 80 por ciento

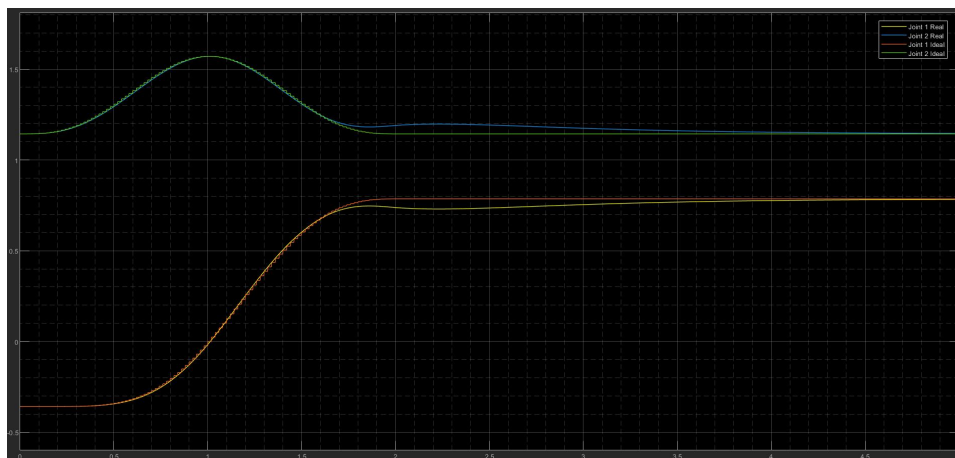


Figura 4.11: Ángulos de los joints con una perturbación del 80 por ciento

En los gráfico

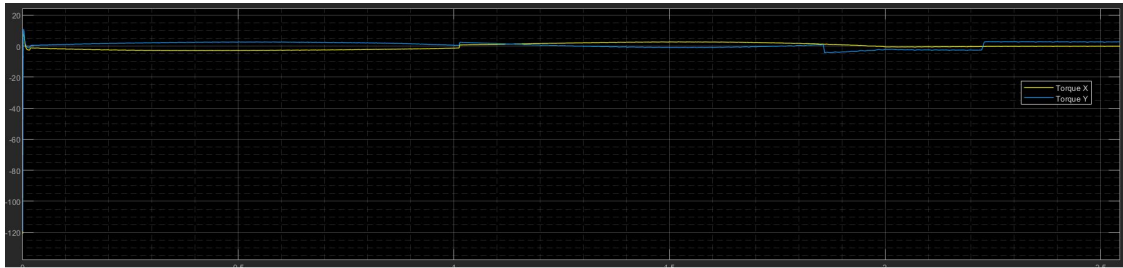


Figura 4.12: Esfuerzo de los joints con una perturbación del 80 por ciento

En los gráficos anteriores se puede ver el efecto de la perturbación al comienzo del movimiento, sin embargo el movimiento real termina tendiendo al deseado a medida que pasa el tiempo.