

---

# CAPÍTULO 1

---

## MANUAL DE USUARIO DEL SIMULADOR

En este anexo se explica como utilizar el simulador implementado.

### Abriendo el programa

1. Abrir el programa *MatLab*.
2. Ubicarse en la carpeta *uquad*.
3. Desde la consola correr el script *startup*. Este script agrega al *path* las carpetas necesarias para que el simulador funcione adecuadamente.
4. Desde la consola correr el simulador ejecutando *menu*. Un menú como el que se muestra en la figura 1.1 debería aparecer.

Dicho menú ofrece la posibilidad de realizar simulaciones tanto en lazo abierto como en lazo cerrado haciendo “click” en la opción deseada.

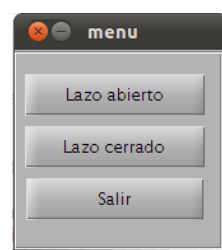


Figura 1.1: Menú principal

### Simulaciones en lazo abierto

Luego de hacer “click” en la opción de lazo abierto en el menú principal se despliega el menú de la figura 1.2.

### Estableciendo las condiciones iniciales de la simulación

Para establecer las condiciones iniciales de la simulación se escribe el valor deseado para cada variable en el casillero correspondiente en la parte superior izquierda del menú. Las variables que se pueden establecer son:

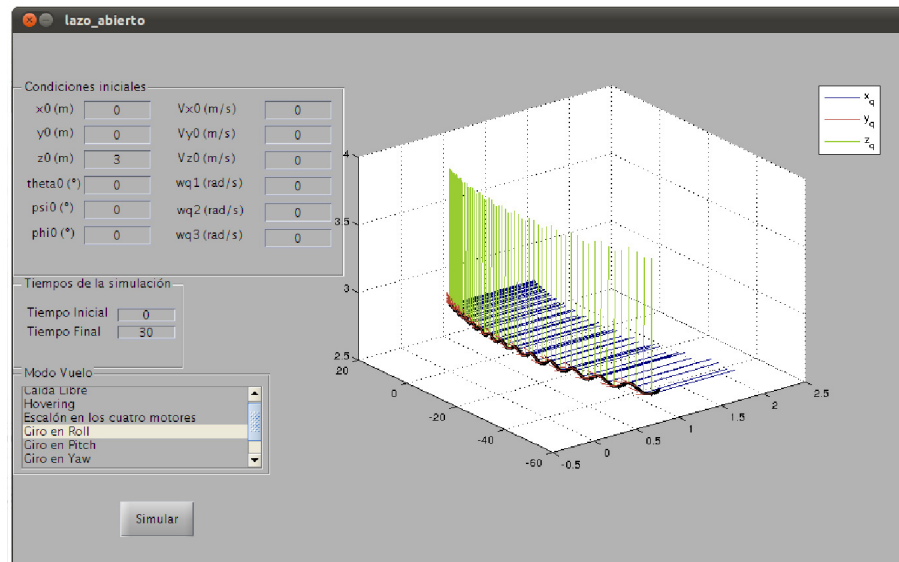


Figura 1.2: Interfaz del lazo abierto

- La posición inicial del cuadricóptero.
- La orientación inicial (Ángulos de Euler) del cuadricóptero.
- La velocidad inicial del cuadricóptero en el sistema inercial.
- La velocidad angular del cuadricóptero.

En la figura 1.2 se realizó una simulación con todas las condiciones iniciales nulas excepto la altura ( $z$ ) que se fijó a tres metros.

### Estableciendo los tiempos de la simulación

La interfaz permite indicar los tiempos iniciales y finales de la simulación en el submenú que se encuentra al centro a la izquierda. En la figura se observa que para la simulación en cuestión se estableció un tiempo inicial de 0 segundos y un tiempo final de 30 segundos.

### Estableciendo el modo de vuelo

Con el submenú que se encuentra en la parte inferior se define el tipo de simulación que se desea realizar. El usuario puede elegir el modo de vuelo de una lista pre establecida, los modos de vuelo disponible son:

- Caída libre
- Hovering
- Escalón en los cuatro motores
- Giro en Roll
- Giro en Pitch
- Giro en Yaw

## Realizando la simulación

Una vez establecidas las condiciones iniciales de la simulación, los tiempos iniciales y finales y el tipo de vuelo que se desea realizar se oprime el botón simular para iniciar la simulación.

Sobre la derecha de la interfaz gráfica se despliega la trayectoria realizada por el sistema y la evolución de los ejes principales del cuadricóptero:  $x_q$ ,  $y_q$  y  $z_q$  en azul, rojo y verde respectivamente.

Para realizar un pos procesamiento de la información obtenida gracias a la simulación es importante tener en cuenta que el simulador devuelve un vector con los tiempos de la simulación y una matriz con las 12 variables de estado. La variable de los tiempos de la simulación toma el nombre **t** y la variable con las 12 variables de estado toma el nombre **Y**. Cada columna de la matriz **Y** representa los distintos valores que toma cada variable de estado a lo largo del tiempo. El orden en el cual se guardan las variables de estado es:

- Northing ( $x$ )
- Westing ( $y$ )
- Altura ( $z$ )
- Roll ( $\psi$ )
- Pitch ( $\varphi$ )
- Yaw ( $\vartheta$ )
- Velocidad en el sistema solidario al cuadricóptero según  $x_q$  ( $v_{qx}$ )
- Velocidad en el sistema solidario al cuadricóptero según  $y_q$  ( $v_{qy}$ )
- Velocidad en el sistema solidario al cuadricóptero según  $z_q$  ( $v_{qz}$ )
- Velocidad angular del cuadricóptero según  $x_q$  ( $\omega_{qx}$ )
- Velocidad angular del cuadricóptero según  $y_q$  ( $\omega_{qy}$ )
- Velocidad angular del cuadricóptero según  $z_q$  ( $\omega_{qz}$ )

## Simulaciones en lazo cerrado

Haciendo “click” en la opción Lazo cerrado en el menú principal se despliega la interfaz que se muestra en la figura 1.3. Esta interfaz permite realizar simulaciones en lazo cerrado a fin de verificar el funcionamiento de los algoritmos de control.

### Estableciendo las condiciones iniciales y tiempos de simulación

En el submenú que se encuentra en la esquina superior izquierda de la interfaz pueden establecerse las condiciones iniciales de la simulación al igual que en la simulación en lazo abierto. A la derecha de dicho submenú se pueden establecer el tiempo inicial y final de la simulación al igual que en la simulación del lazo abierto.

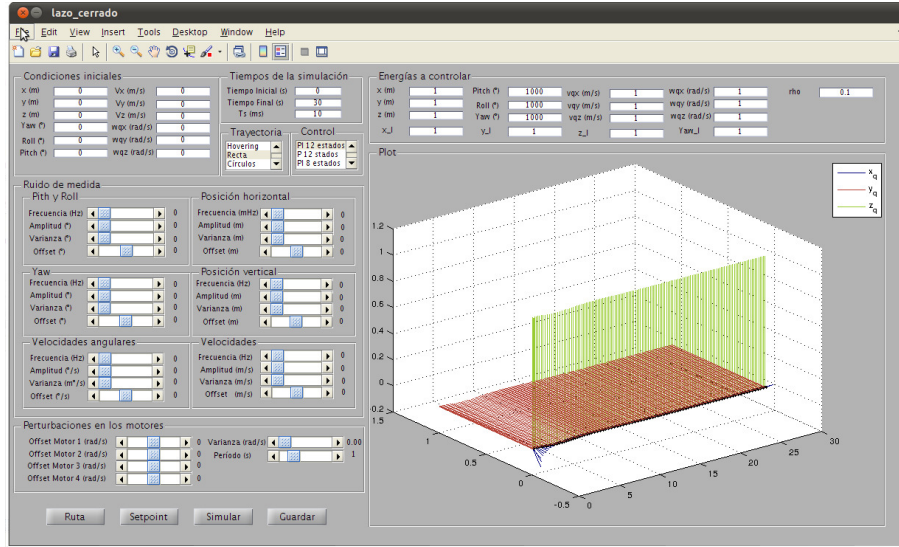


Figura 1.3: Interfaz del lazo cerrado

## Trayectoria a controlar

En el panel Trayectoria puede elegirse el tipo de trayectoria a realizar. En esta versión del simulador se tiene implementada tres trayectorias que pueden elegirse desde el menú:

- Hovering.
- Vuelo en línea recta.
- Vuelo en círculos.

Además del tipo de trayectoria deben establecerse los parámetros con los cuales se desea realizar la trayectoria. Para esto, haga “click” en el botón *setpoint* de la interfaz de lazo cerrado. Una nueva ventana se abrirá ofreciendo casilleros para completar con las variables deseadas. Según el tipo de trayectoria escogida se pueden setear distintas variables:

- Hovering: Posición y ángulo de Yaw.
- Vuelo en línea recta: Velocidades en el sistema  $S_q$  y ángulo de Yaw.
- Vuelo en círculos: Velocidad angular según la vertical y velocidad tangencial.

## Controlador

El simulador ofrece cuatro tipos de control posibles, seleccionables desde el panel *Control* de la interfaz de lazo cerrado. Estos son:

- P12: controlador proporcional de todas las variables de estado del sistema.
- PI12: controlador proporcional de todas las variables de estado del sistema y de las integrales del error en posición y en el ángulo de Yaw.
- P8: controlador proporcional de ocho de las doce variables de estado del sistema. Se deja por fuera la posición horizontal y las velocidades  $v_{qx}$  y  $v_{qy}$ .

- PI8: controlador idéntico al anterior con el agregado del control sobre la integral del error en los tres ángulos de euler y en la altura.

El control implementado es LQR. En el panel que se ubica en la esquina superior derecha se pueden variar los parámetros de las matrices  $Q$  y  $R$  utilizadas para determinar la matriz de realimentación. Se imponen dos restricciones para esta elección:

- Las matrices  $Q$  y  $R$  son diagonales
- Todas las entradas de la matriz  $R$  son idénticas

## Simulación

Una vez establecidas las condiciones iniciales, los tiempos de la simulación, el tipo de trayectoria, el setpoint, el tipo de control y los parámetros de las matrices  $Q$  y  $R$  se puede proceder a simular el sistema en lazo cerrado haciendo “click” sobre el botón simular.

En la gráfica de la derecha se grafica, al igual que para el lazo abierto, la trayectoria obtenida y los ejes del cuadricóptero a lo largo del tiempo.

Se genera un vector  $\mathbf{t}$  con los tiempos de la simulación y una matriz  $\mathbf{Y}$  con la siguiente información:

- En las primeras doce columnas de la matriz  $\mathbf{Y}$  se guardan las variables de estado del sistema en el mismo orden que para el lazo abierto.
- En las segundas doce columnas de la matriz  $\mathbf{Y}$  se guardan los ruidos generados para las doce variables de estado en el mismo orden. (En las siguientes secciones se explica con mayor profundidad este aspecto).
- Las columnas 25 a 28 de la matriz  $\mathbf{Y}$  corresponden a las velocidades angulares de los cuatro motores a lo largo del tiempo.
- Las columnas 29 a 40 corresponden al setpoint para cada variable de estado.

La matriz de realimentación generada puede ser guardada haciendo “click” sobre el botón guardar. La matriz se guardará en la carpeta `./src/control/` bajo los siguientes nombres:

- PI12:
  - `K_prop_full.txt`: matriz de realimentación proporcional.
  - `K_int_full.txt`: matriz de realimentación para la integral del error de la posición y el ángulo de Yaw.
- P12: `K_full`: matriz de realimentación proporcional.
- PI8:
  - `K_prop.txt`: matriz de realimentación proporcional de ocho estados.
  - `K_int.txt`: matriz de realimentación de la integral del error en los ángulos de Euler y la altura.
- P8: `K.txt`: matriz de realimentación proporcional de ocho estados.

## Ruido de medida y no idealidades

El simulador ofrece la posibilidad de agregar ruido al estado que se utiliza para determinar la acción de control. Este ruido simula los ruidos introducidos por los sensores. Para cada variable de estado puede agregarse desde el panel *Ruido de medida* los siguientes ruidos:

- Componente sinusoidal. Puede ajustarse:
  - Amplitud
  - Frecuencia
- Ruido blanco: Puede ajustarse:
  - Varianza
  - Valor medio

Puede agregarse también en el panel *Perturbaciones en los motores* offsets distintos para cada motor, y un ruido blanco (puede configurarse su varianza y período) para simular el funcionamiento no ideal de los motores.

## Ruta predeterminada

El simulador ofrece además la posibilidad de recibir *waypoints* por los cuales se desea pasar con una orientación determinada en un tiempo determinado. El simulador se encarga de concatenar las trayectorias a seguir para lograr el objetivo.

Todas las configuraciones descritas anteriormente son válidas para esta sección excepto que no tiene sentido definir una trayectoria ni los tiempos de simulación. Tampoco es posible guardar todas las matrices de realimentación utilizadas para lograr el objetivo planteado.

Para utilizar este modo:

1. Establecer las condiciones iniciales de la simulación, el controlador a utilizar, los ruidos y perturbaciones en los motores.
2. Hacer “click” sobre el botón *ruta*.
3. En la ventana que se despliega establecer la posición y la orientación del primer *waypoint* así como el tiempo en el cual se desea alcanzar dicho *waypoint*.
4. Hacer “click” sobre el botón *Agregar*.
5. Repetir los pasos 3 y 4 hasta agregar todos los puntos deseados.
6. Hacer “click” sobre el botón *Listo*.
7. Hacer “click” sobre el botón *Simular*.

Al igual que para la simulación de una trayectoria en particular se guardan las variables  $\mathbf{t}$  y  $\mathbf{Y}$  para su posterior análisis y estudio.