Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

TE3002B.502

Implementación de robótica Inteligente (Gpo 502)

Semestre: febrero - junio 2023

Actividad 4.2: Seguimiento de Trayectorias

INTEGRANTES:

Daniel Ruán Aguilar	A01731921
Fredy Yahir Canseco Santos	A01735589
José Angel Ramírez Ramírez	A01735529

Profesor: Dr. Alfredo García Suárez

Fecha de entrega: 29 de Abril del 2023

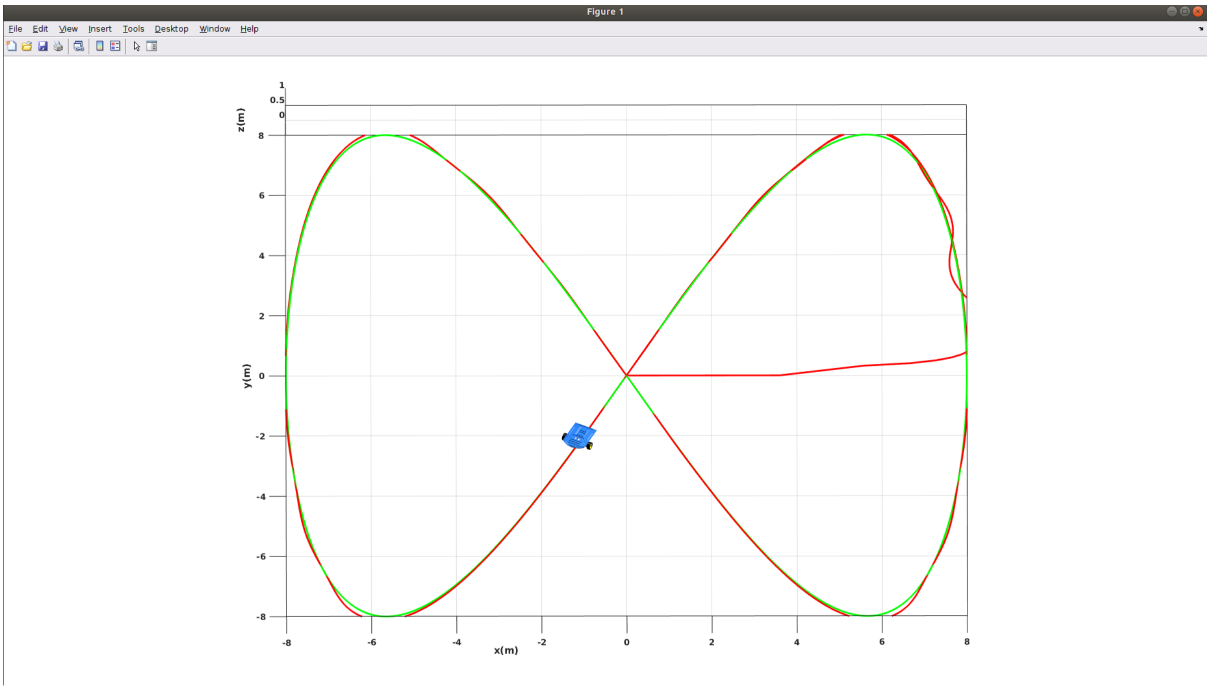
1. Implementar el código requerido para generar el seguimiento de las siguientes trayectorias con un robot de tipo diferencial:

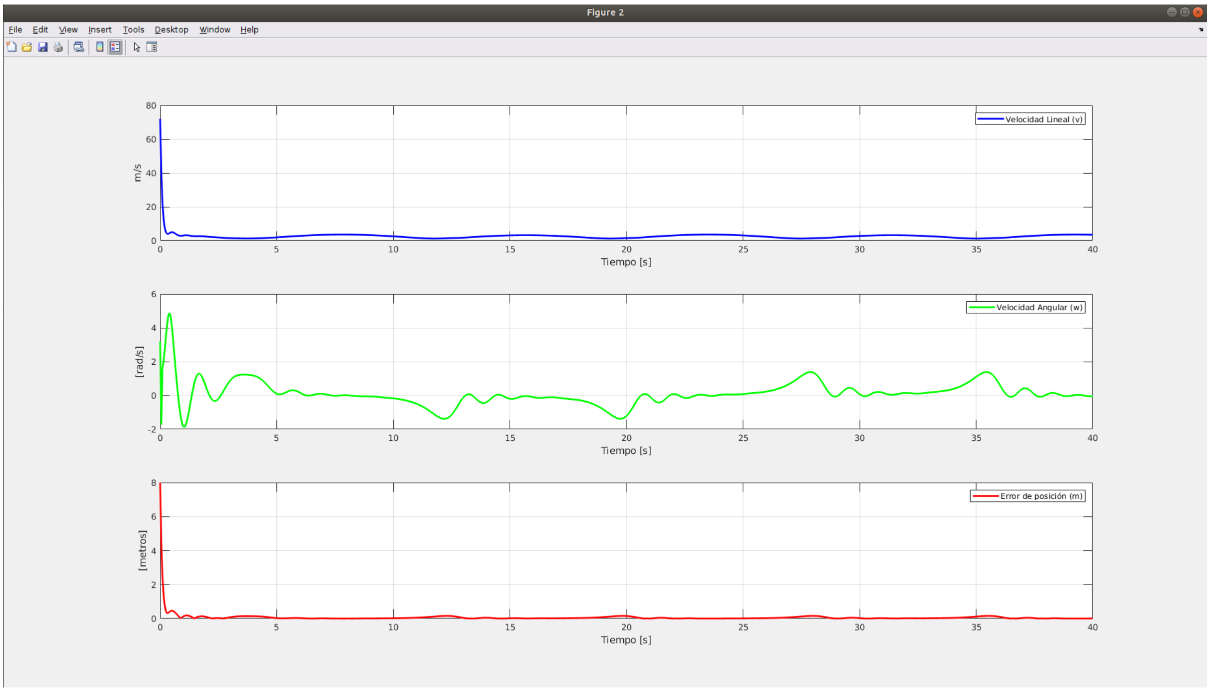
a) x =2cos(0.2*t), y = 2sen(0.4*t)

Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=40;              % Tiempo de simulación en segundos (s)
ts=0.05;             % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;          % Vector de tiempo
N= length(t);       % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada
hxd = 8*cos(0.2*t);
hyd = 8*sin(0.4*t);
%Velocidades de la trayectoria deseada
hxdp = -8*0.2*sin(0.2*t);
hydp = 8*0.4*cos(0.4*t);

%c)Matriz de Ganancias
 K=[9 0;...
    0 9];
```

Resultados





En este primer ejercicio se optó por agrandar la trayectoria para que el robot pudiera seguir las curvas, con este cambio se puede ver que el seguimiento de línea es casi perfecto, si se usaba una ganancia mayor a 9 empezaba a oscilar al pasar por toda la trayectoria.

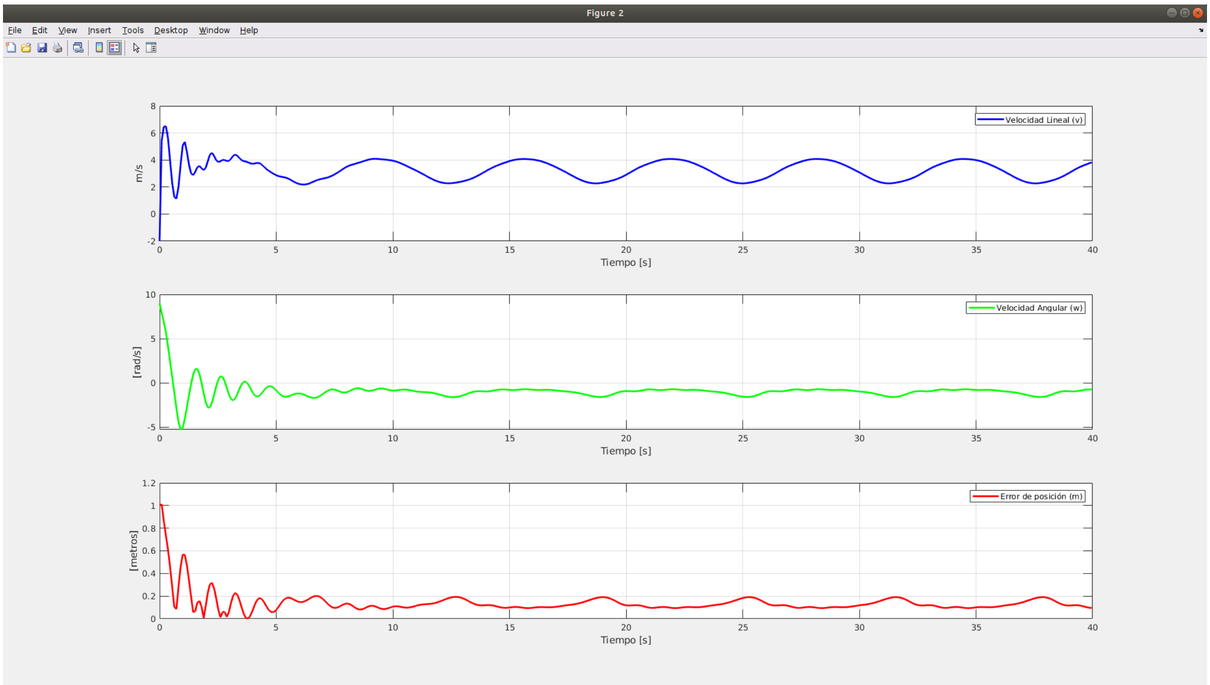
b) x =t−3sen(t), y = 4−3cos(t)

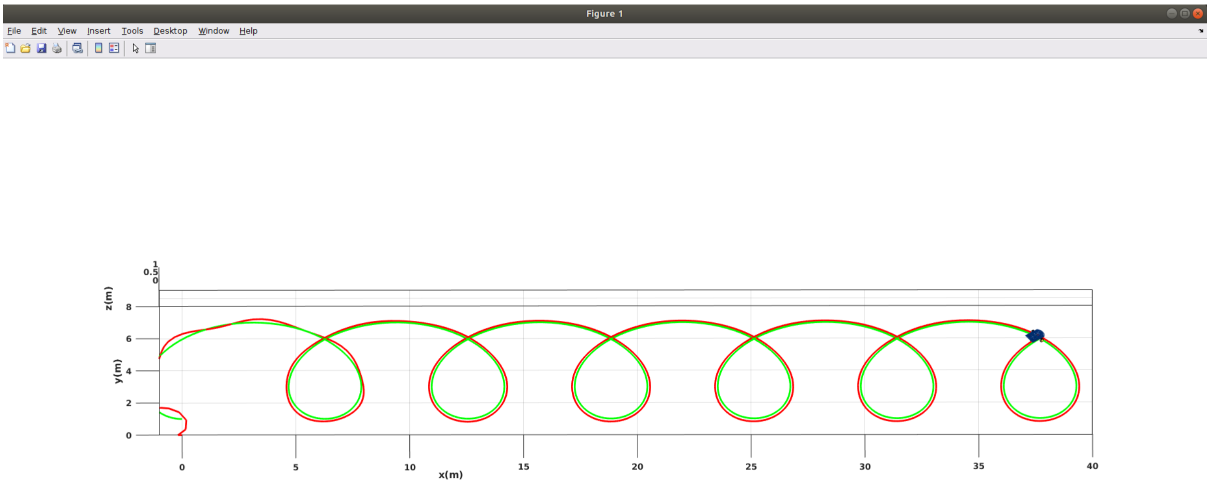
Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tf=40;                  % Tiempo de simulación en segundos (s)

ts=0.09;                 % Tiempo de muestreo en segundos (s)

t=0:ts:tf;              % Vector de tiempo

N= length(t);           % Muestras

%3 TRAYECTORIA DEESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada

hxd = t-3*sin(t);

hyd = 4-3*cos(t);

%Velocidades de la trayectoria deseada

hxdp = 1-3*cos(t);

hydp = 3*sin(t);
```

```
%c)Matriz de Ganancias
 K=[9 0;...
    0 9];
```

Resultados:





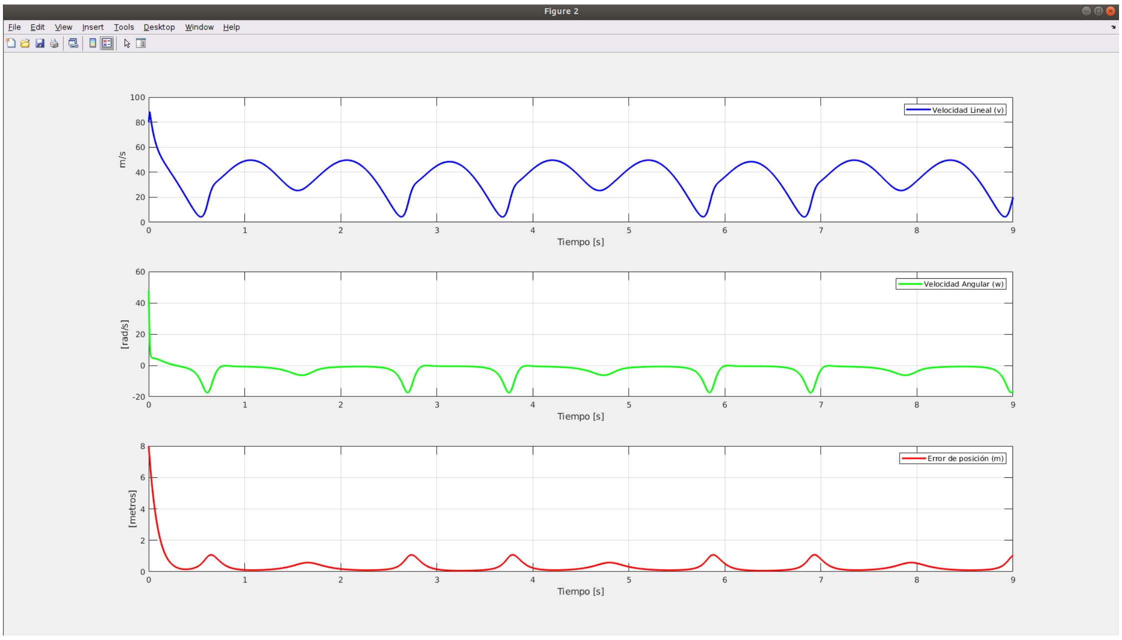
Con una ganancia de 9 y pasos de 0.09, se muestra con un poco de oscilación al principio, pero después se estabiliza, sigue la ruta correctamente y el error va disminuyendo.

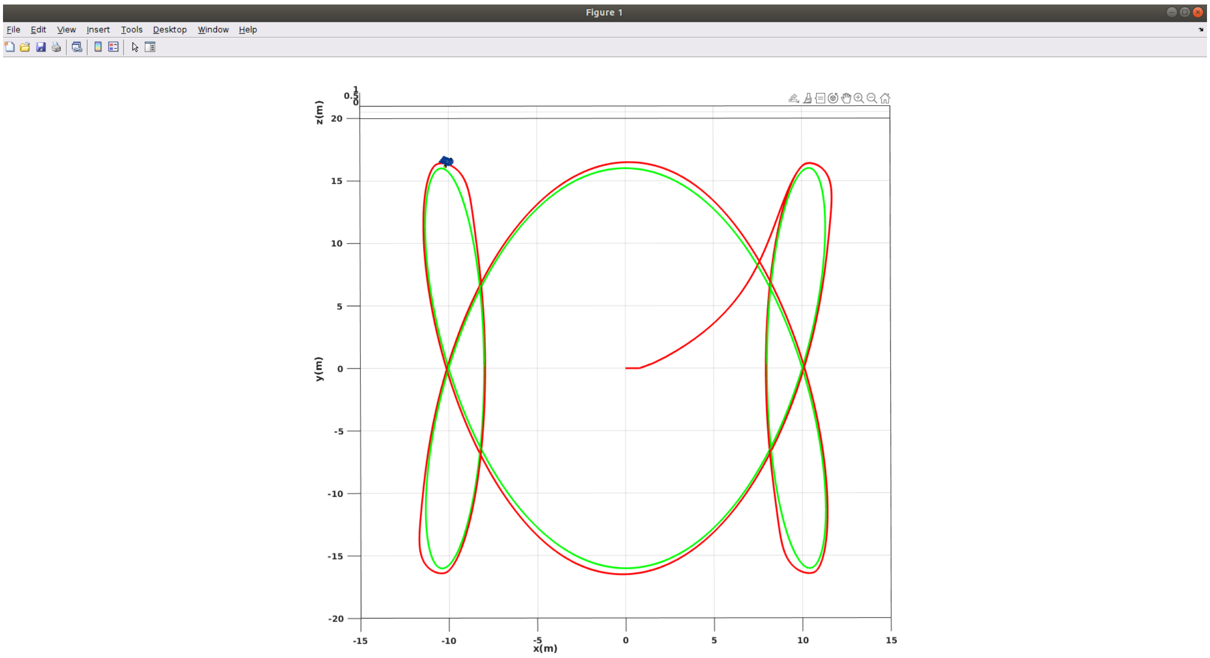
c) x =3cos(t)−cos(3t), y = 4sin(3t)

Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tf=9;              % Tiempo de simulación en segundos (s)

ts=0.01;             % Tiempo de muestreo en segundos (s)

t=0:ts:tf;          % Vector de tiempo

N= length(t);       % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada

hxd = 4*(3*cos(t)-cos(3*t));

hyd = 4*(4*sin(3*t));

%Velocidades de la trayectoria deseada

hxdp = 4*(-3*sin(t)+3*sin(3*t));

hydp = 4*(12*cos(3*t));

%c)Matriz de Ganancias

K=[10 0;...

   0 10];
```

Resultados





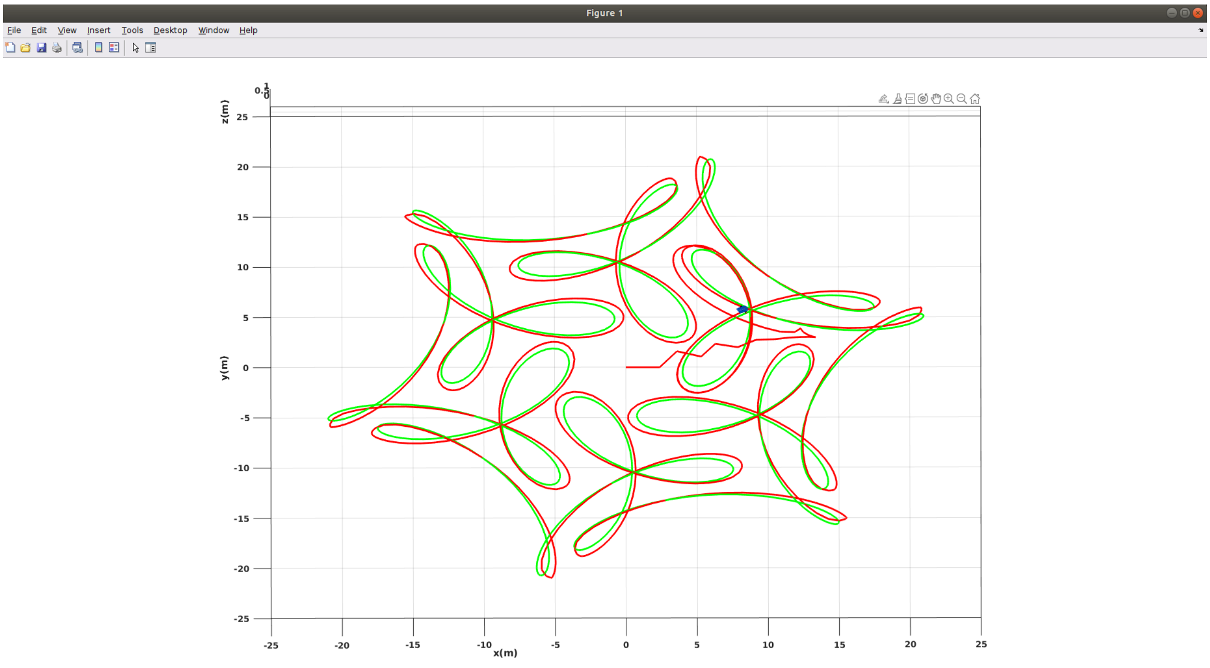
En este caso nuevamente se redimensiona la trayectoria para que las vueltas que haga el robot no estén tan cerradas y haya menor error, como se ve en la imagen, con los parámetros planteados y aumentando la ganancia a 10, sigue muy bien la trayectoria estabilizándose desde el centro, que es el punto de partida.

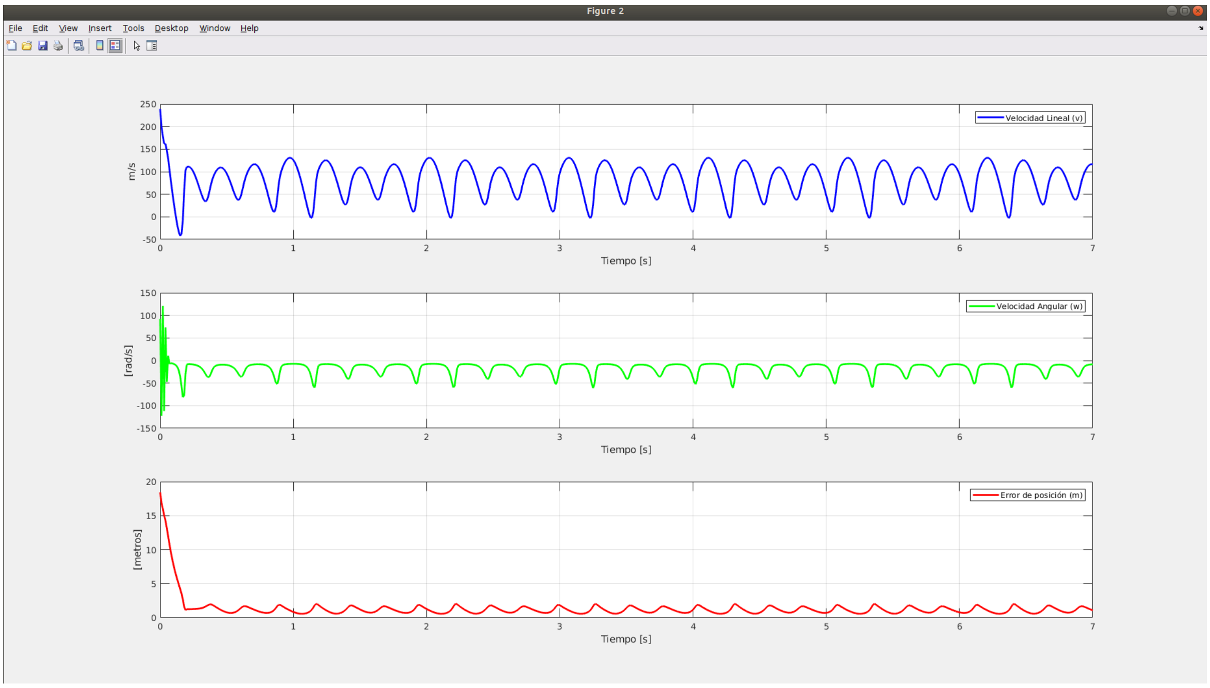
d) x = cos(t) + 1/2cos(7t) + 1/3sen(17t), y = sen(t) + 1/2sen(7t) + 1/3cos(17t)

Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=7;                  % Tiempo de simulación en segundos (s)
ts=0.01;                 % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;              % Vector de tiempo
N= length(t);           % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada
hxd = 12*(cos(t) + 1/2*cos(7*t) + 1/3*sin(17*t));
hyd = 12*(sin(t) + 1/2*sin(7*t) + 1/3*cos(17*t));
%Velocidades de la trayectoria deseada
hxdp = 12*(-sin(t) - 7/2*sin(7*t) + 17/3*cos(17*t));
hydp = 12*(cos(t) + 7/2*cos(7*t) - 17/3*sin(17*t));

   %c)Matriz de Ganancias
   K=[9.5 0;...
      0 9.5];
```

Resultados





Aumentando las ganancias a 10 y multiplicando la trayectoria por un factor de 12 se ve que empieza con un pequeño sobretiro partiendo del centro, pero luego se estabiliza siguiendo lo más que puede las pronuncias y constantes curvas que tiene esta figura parametrizada.

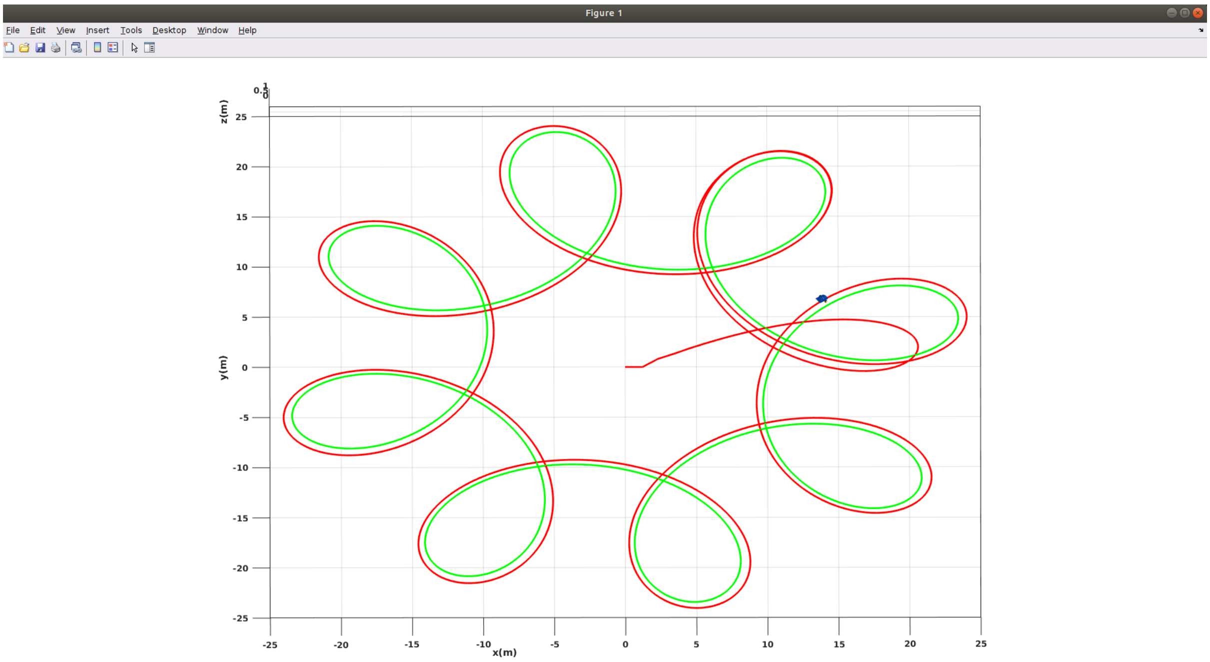
e) x =17cos(t)+7cos(17+7t), y = 17sen(t) −7sen(17+7t), t ∈ [0,2π]

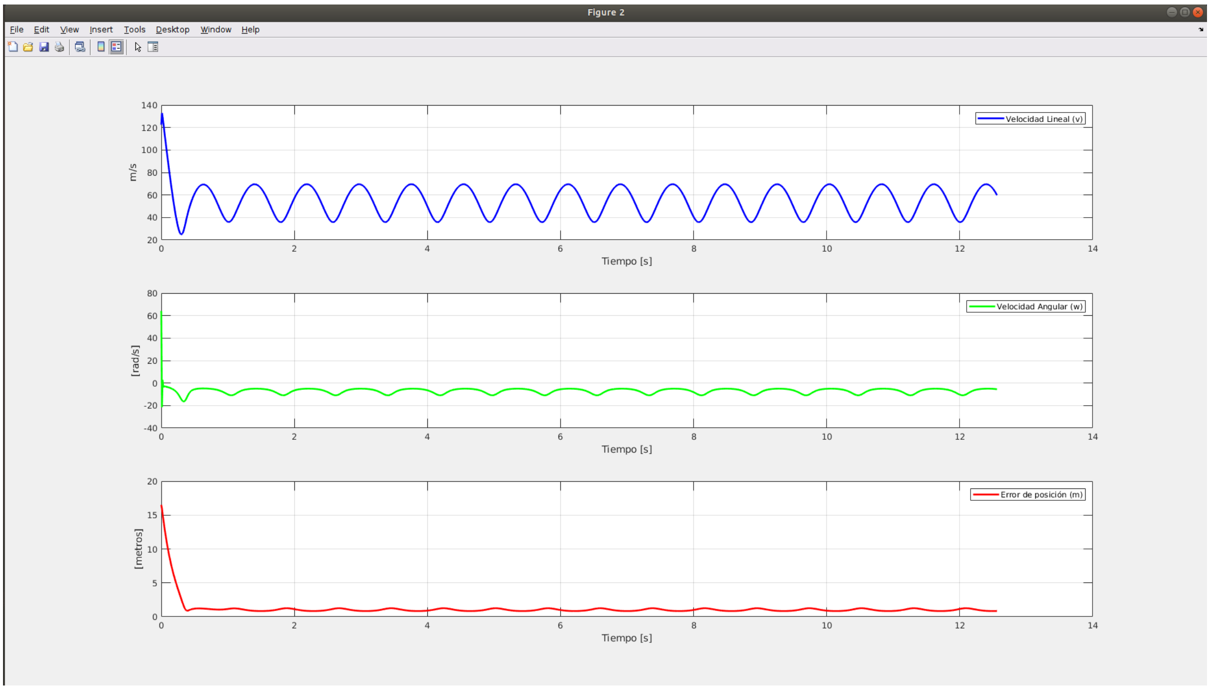
Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=4*pi;               % Tiempo de simulación en segundos (s)
```

```
ts=0.01;              % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;           % Vector de tiempo
N= length(t);        % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada
hxd = 17*cos(t)+7*cos(17+7*t);
hyd = 17*sin(t) -7*sin(17+7*t);
%Velocidades de la trayectoria deseada
hxdp = -17*sin(t) - 49*sin(17+7*t);
hydp = 17*cos(t) - 49*cos(17+7*t);

   %c)Matriz de Ganancias
   K=[5 0;...
      0 5];
```

Resultados





Se tuvo que aumentar el tiempo final de simulación a 4π para que terminara la trayectoria, al principio empieza un poco desfasado pero luego se ajusta muy bien con los parámetros establecidos.

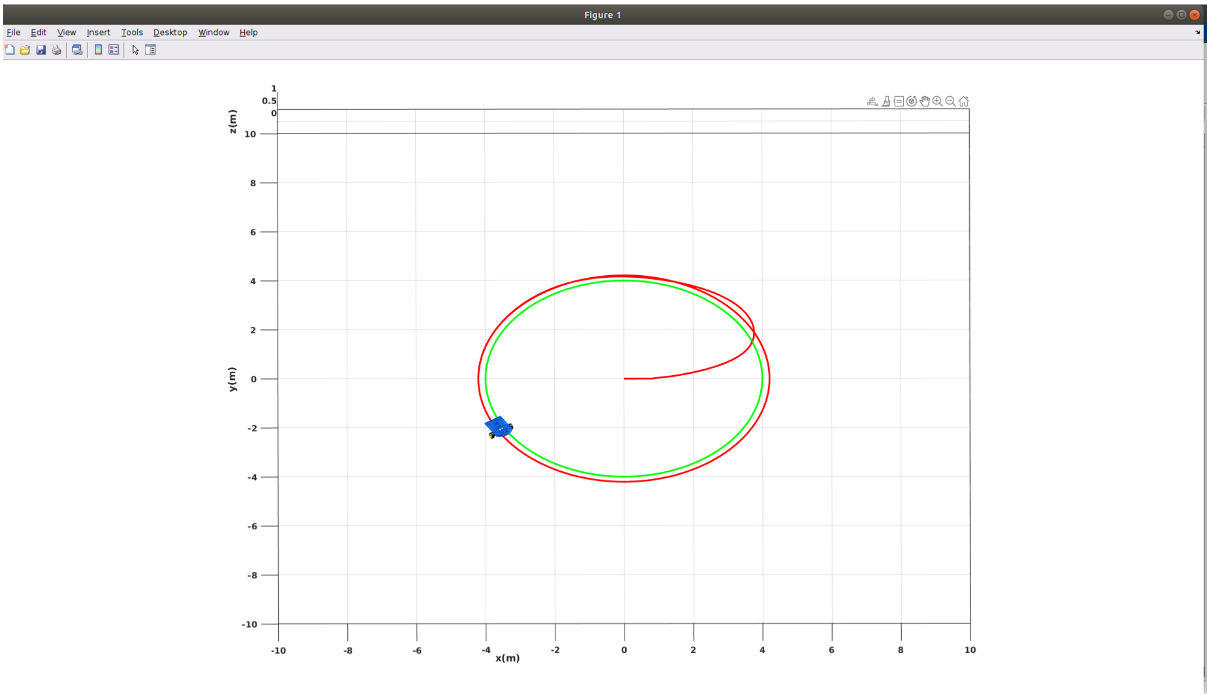
f) x =2cos(t), y = 2sen(t)

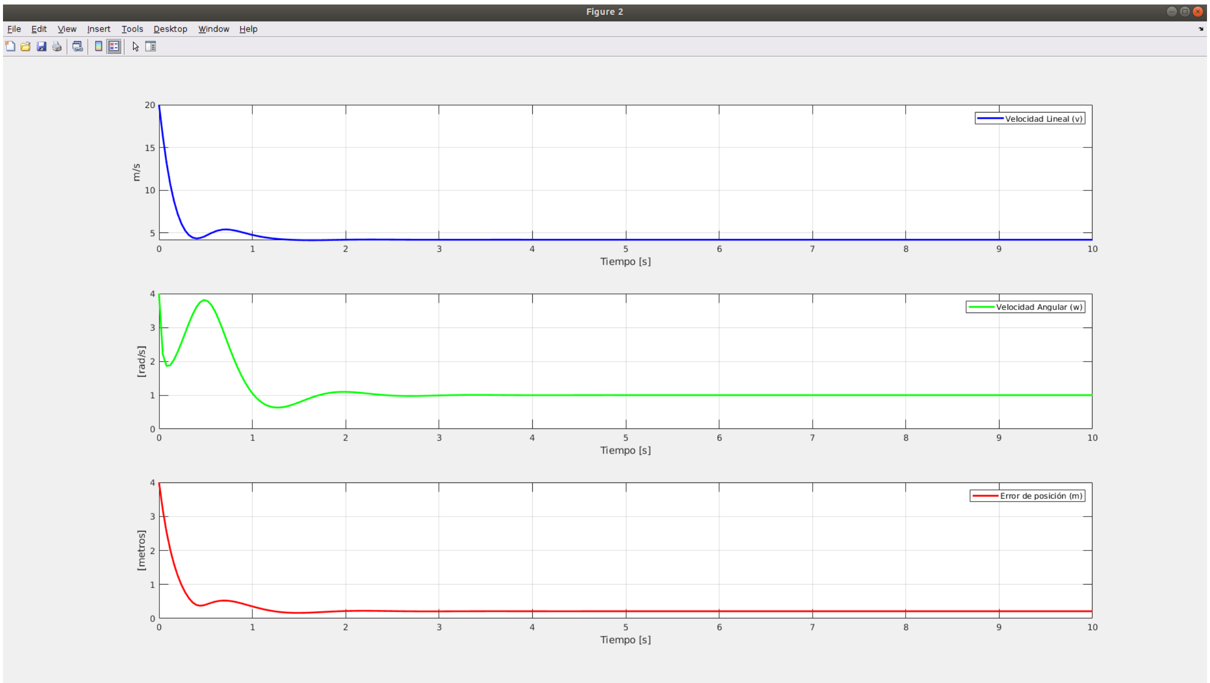
Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tf=10;                % Tiempo de simulación en segundos (s)

ts=0.04;               % Tiempo de muestreo en segundos (s)

t=0:ts:tf;            % Vector de tiempo

N= length(t);         % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada

hxd = 4*cos(t);

hyd = 4*sin(t);

%Velocidades de la trayectoria deseada

hxdp = -4*sin(t);

hydp = 4*cos(t);

    %c)Matriz de Ganancias
```

```
K=[5 0;...
   0 5];
```

Resultados





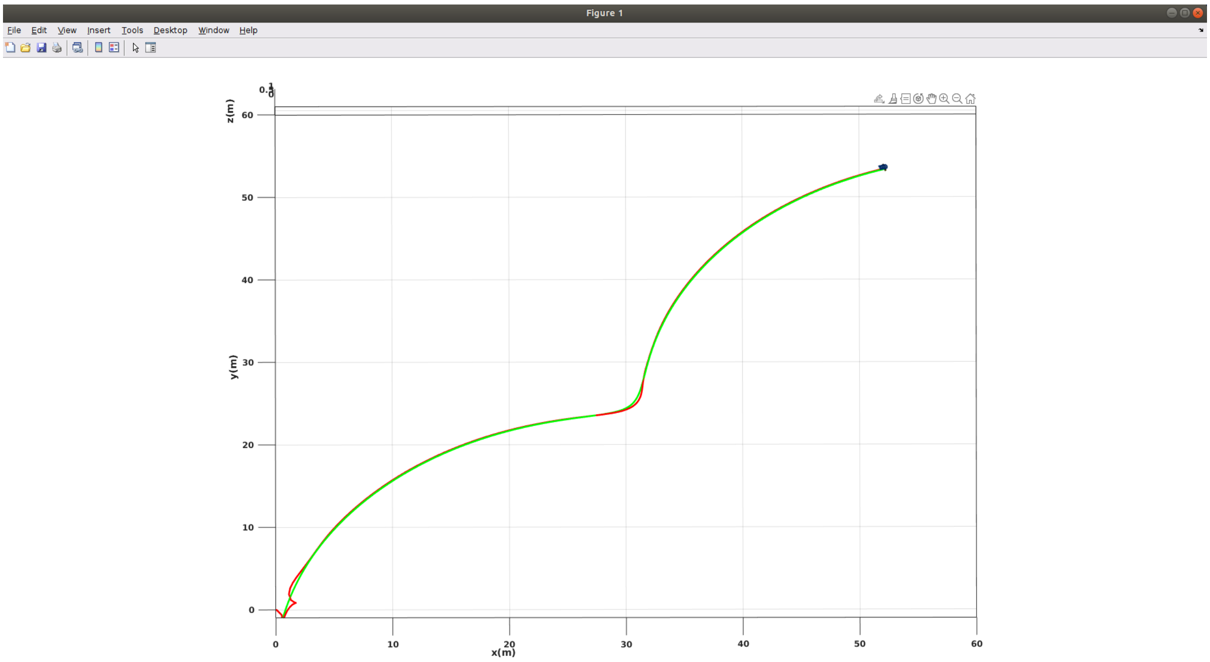
Disminuyendo el tiempo de simulación y el tiempo de muestreo, con una ganancia de 5 y duplicando el tamaño de la trayectoria, se observa que al principio el robot tiene una pequeña oscilación, pero después continúa sin problema.

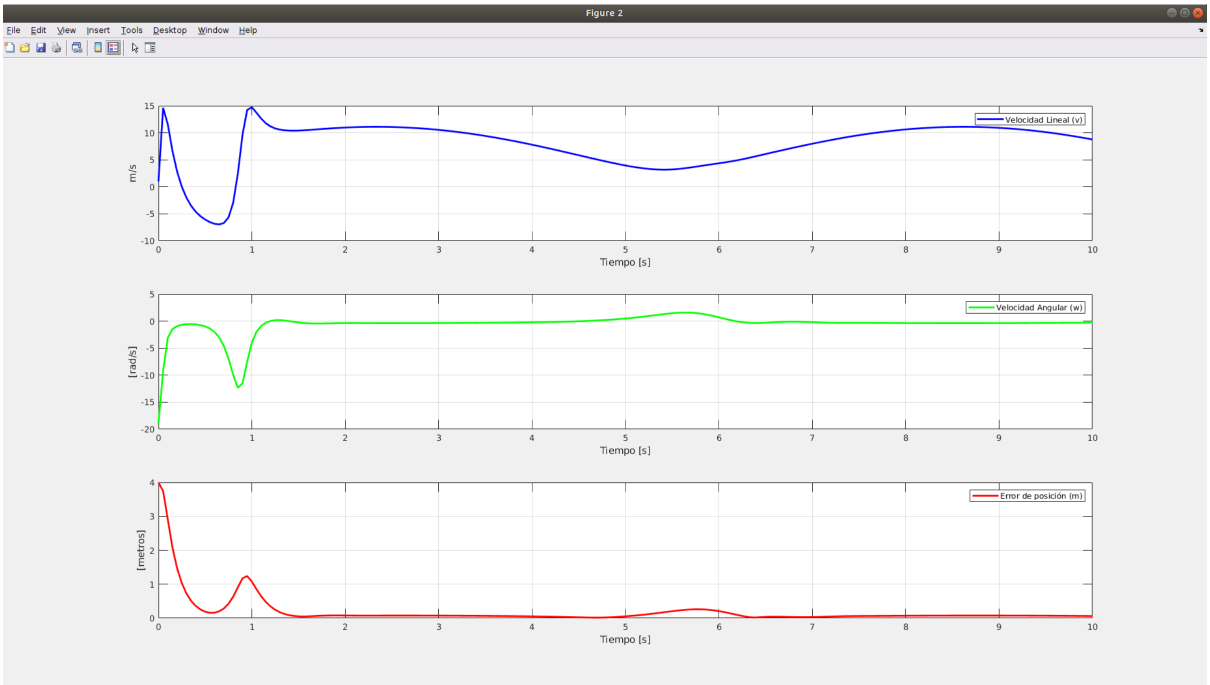
g) x =5t−4sen(t), y = 5t−4cos(t)

Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=10;            % Tiempo de simulación en segundos (s)
ts=0.05;           % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;        % Vector de tiempo
N= length(t);     % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada
hxd = 5*t-4*sin(t);
hyd = 5*t-4*cos(t);
%Velocidades de la trayectoria deseada
hxdp = 5 - 4*cos(t);
hydp = 5 + 4*sin(t);

   %c)Matriz de Ganancias
   K=[6 0;...
      0 6];
```

Resultados





En esta trayectoria tan grande es fácil seguirla, sin embargo, aún muestra un poco de ajuste al inicio y a la mitad con los parámetros que se escogieron y que están descritos arriba.

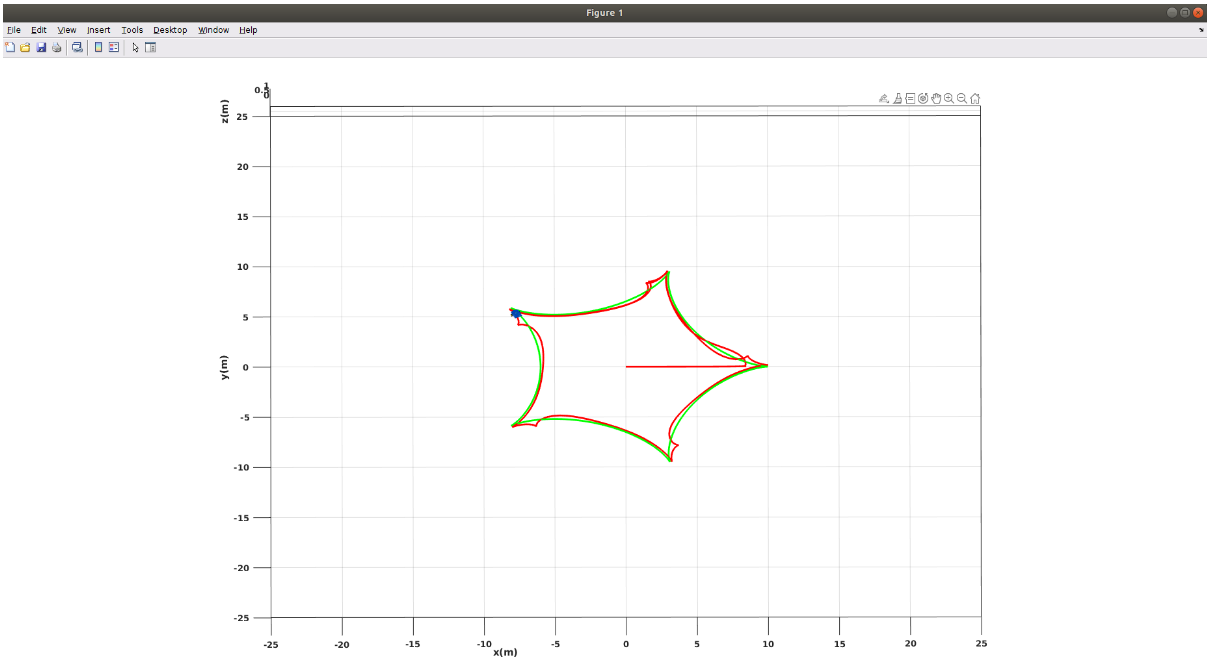
h) x =4cos(t)+cos(4t), y = 4sen(t) −sen(4t)

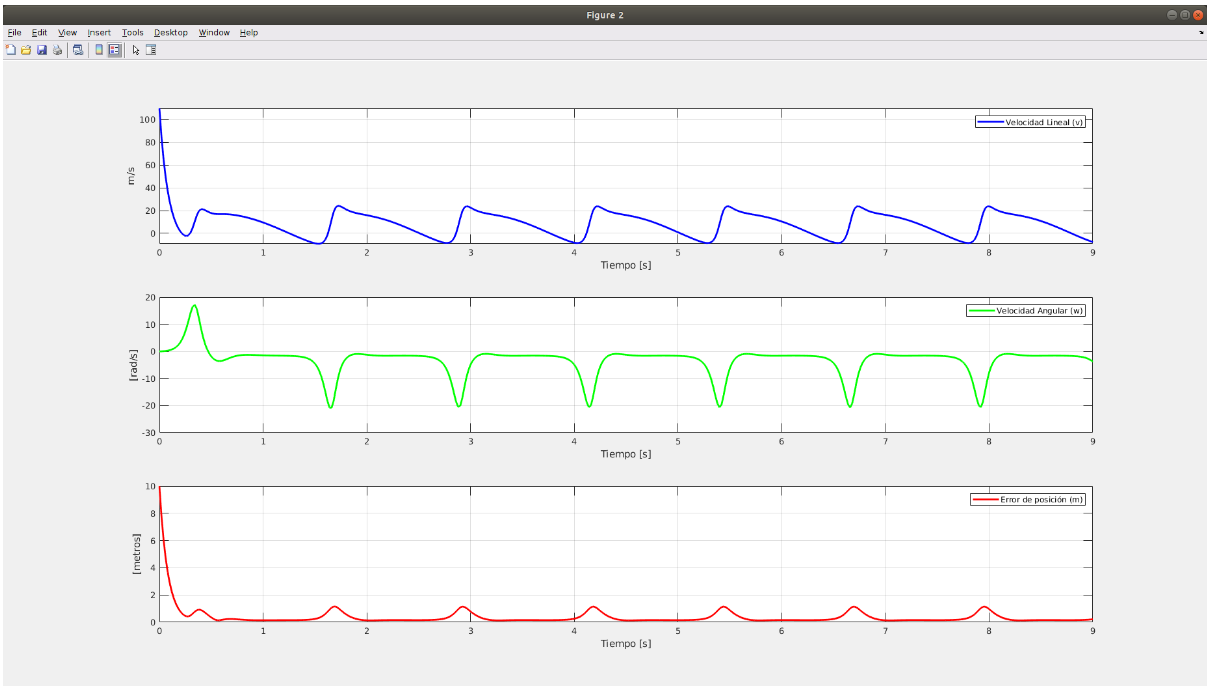
Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

tf=9;                 % Tiempo de simulación en segundos (s)

ts=0.02;                % Tiempo de muestreo en segundos (s)

t=0:ts:tf;             % Vector de tiempo

N= length(t);          % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%

%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada

hxd = 2*(4*cos(t)+cos(4*t));

hyd = 2*(4*sin(t) - sin(4*t));

%Velocidades de la trayectoria deseada

hxdp = 2*(-4*sin(t) - 4*sin(4*t));

hydp = 2*(4*cos(t) - 4*cos(4*t));
```

```
%c)Matriz de Ganancias
K=[11 0;...
   0  11];
```

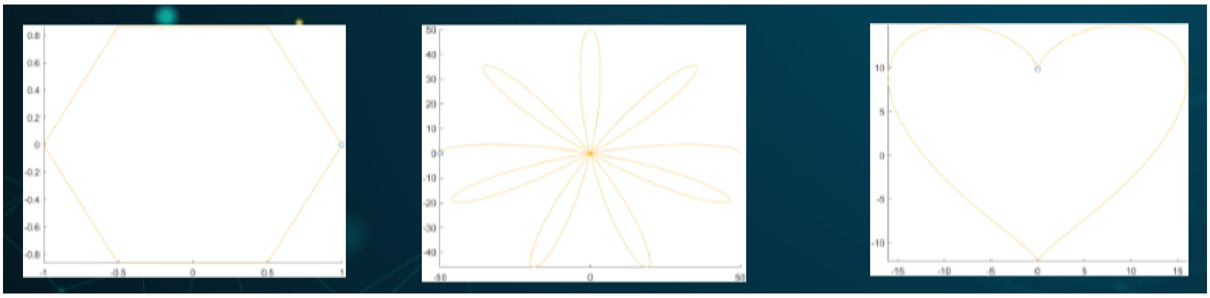
Resultados





Para este último ejercicio de la primera parte, se ingresó la ganancia más alta hasta ahora, de 11, lo cual hace que desde que parte del centro sigue la línea verde con mayor precisión, únicamente presenta un giro un poco abrupto en las pronunciadas esquinas que tiene la estrella, pero se considera que es normal en cómo lo haría un robot de configuración diferencial para dar una vuelta de ese tipo en la vida real.

2. Sintoniza los siguientes parámetros para obtener la mejor respuesta de seguimiento de trayectorias: tiempo de muestreo, ganancias y tiempo de simulación muestra tus resultados de forma gráfica y explica el comportamiento de la planta al seguir cada trayectoria en específico.



Trayectoria de Corazón:

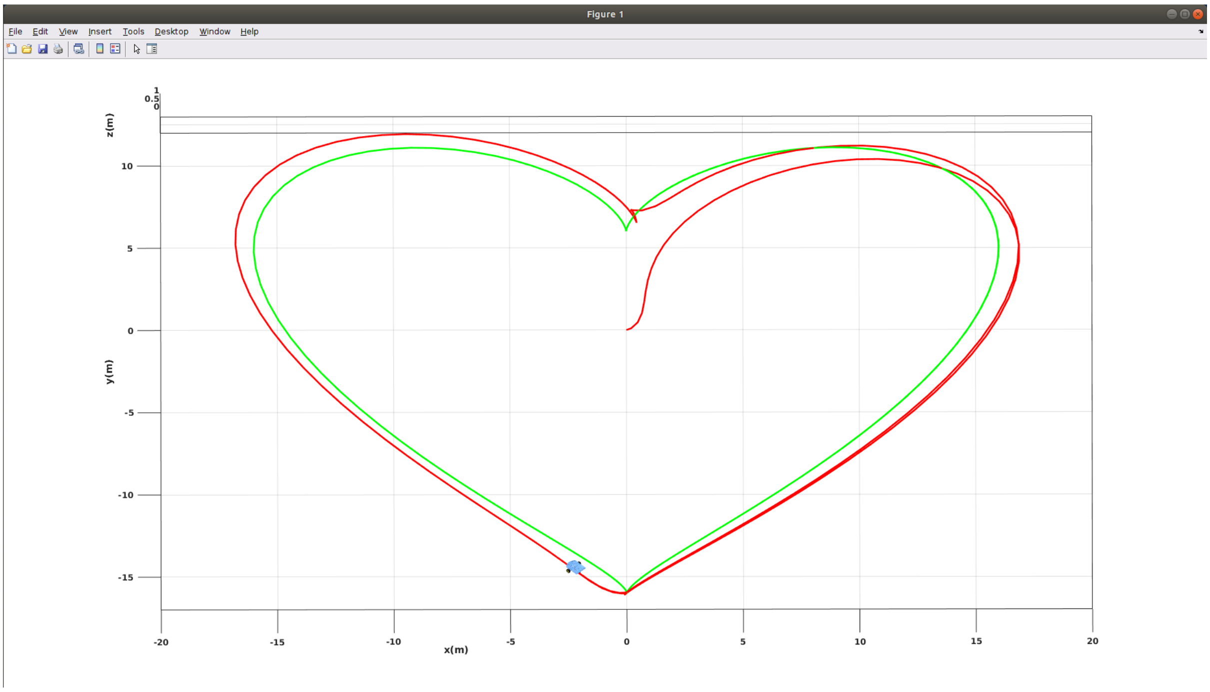
Parámetros

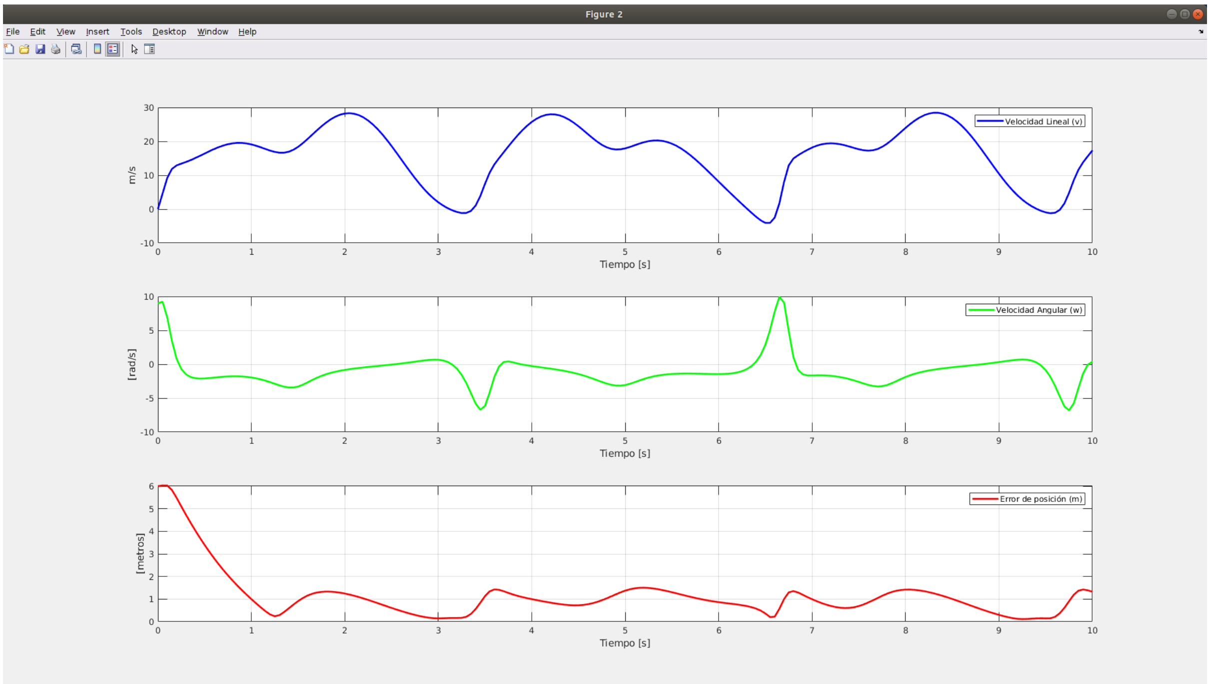
```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=10;              % Tiempo de simulación en segundos (s)
ts=0.05;             % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;          % Vector de tiempo
N= length(t);       % Muestras
```

```
%corazon
hxd= 12*sin(t) - 4*sin(3*t);
hyd= 13*cos(t) - 5*cos(2*t) - 2*cos(3*t);

hxdp= 12*cos(t) - 12*cos(3*t);
hydp= -13 *sin(t) + 10*sin(2*t) + 6*sin(3*t);
```

```
%c)Matriz de Ganancias
K=[1.5 0;...
   0 1.5];
```

Resultados





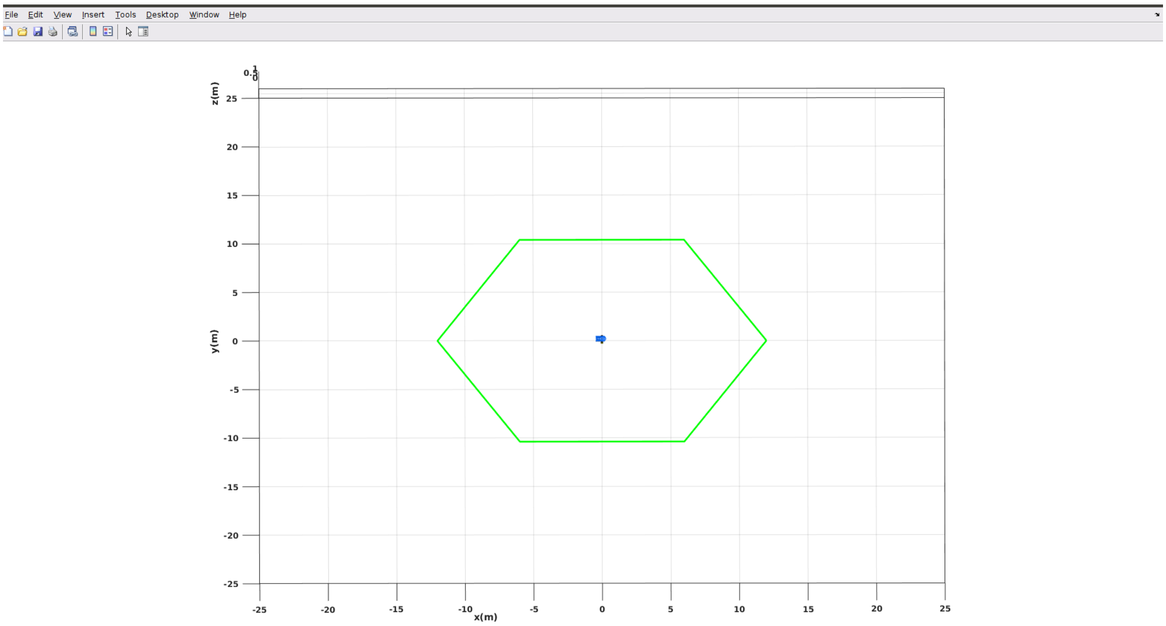
En este caso se tuvo que disminuir el tiempo de simulación para que sólo hiciera una vuelta a la trayectoria, también se disminuyó el tiempo de muestreo para mejorar la exactitud, si se usaba una ganancia muy grande empezaba a inestabilizar la ruta con singularidades, por lo que se quedó establecida con un valor pequeño.

Trayectoria de Hexágono:

Para formar la trayectoria del hexágono se declaró una función parecida a la del círculo pero con un tiempo final de 2π con pasos de π/3 para formar los 6 vértices.

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=2*pi;                    % Tiempo de simulación en segundos (s)
```

```
ts=pi/3;              % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;           % Vector de tiempo
N= length(t);        % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Hexagono
%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada
hxd = 12*cos(t);
hyd = 12*sin(t);
%Velocidades de la trayectoria deseada
hxdp = -12*sin(t);
hydp = 12*cos(t);
```



Sin embargo, al ser un tiempo de muestreo muy grande de pi/3 no termina de ajustarse el robot a la trayectoria deseada, esto debido a que no hay curvas paramétricas y son líneas rectas.

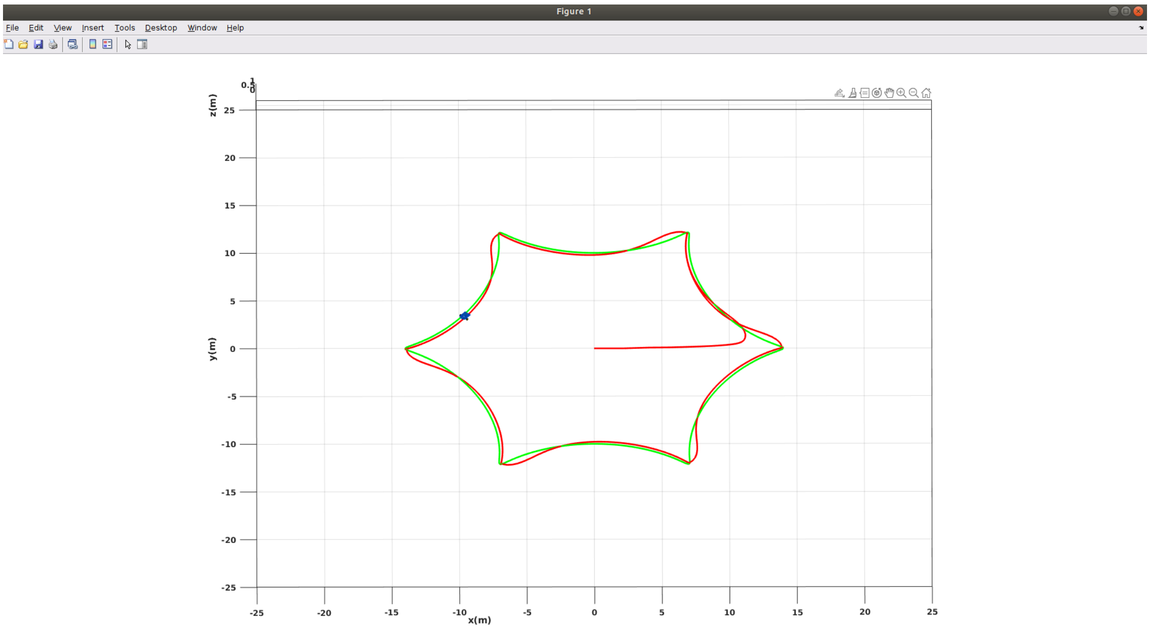
Por lo que se decidió emplear una trayectoria parecida al hexágono pero con curvas entre cada vértice y de esta manera crear un tiempo de muestreo mucho mayor con pasos más pequeños.

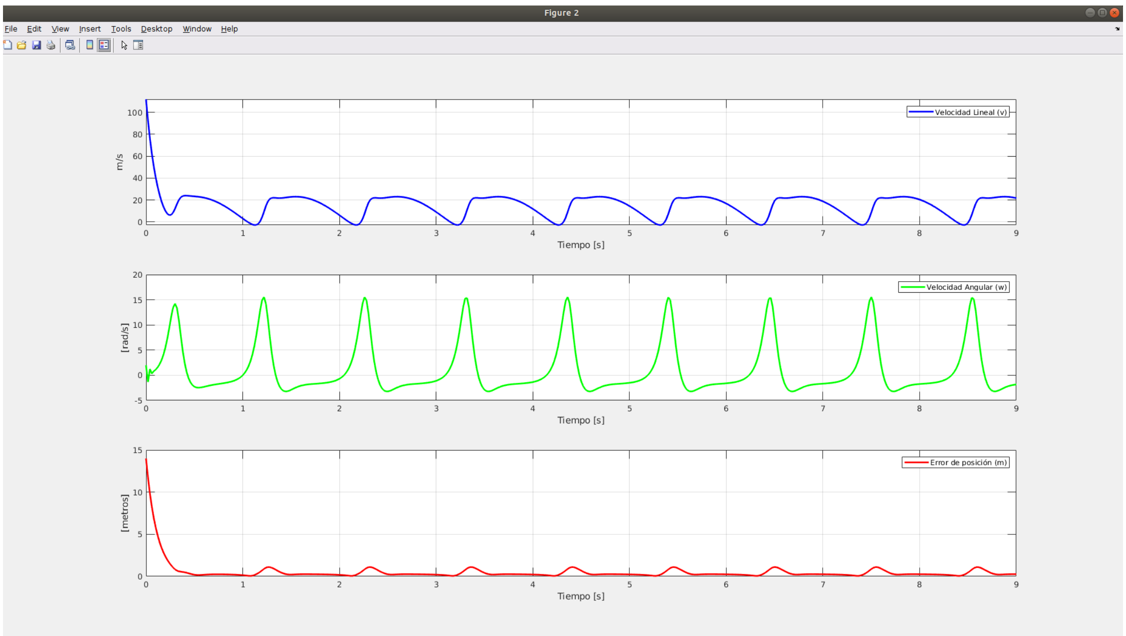
Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=9;               % Tiempo de simulación en segundos (s)
ts=0.02;              % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;           % Vector de tiempo
N= length(t);        % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Ecuaciones paramétricas de la trayectoria deseada
hxd = 2*(6*cos(t) + cos(5*t));
```

```
hyd = 2*(6*sin(t) - sin(5*t));
%Velocidades de la trayectoria deseada
hxdp = 2*(-6*sin(t) - 5*sin(5*t));
hydp = 2*(6*cos(t) - 5*cos(5*t));

   %c)Matriz de Ganancias
   K=[8 0;...
      0  8];
```

Resultados





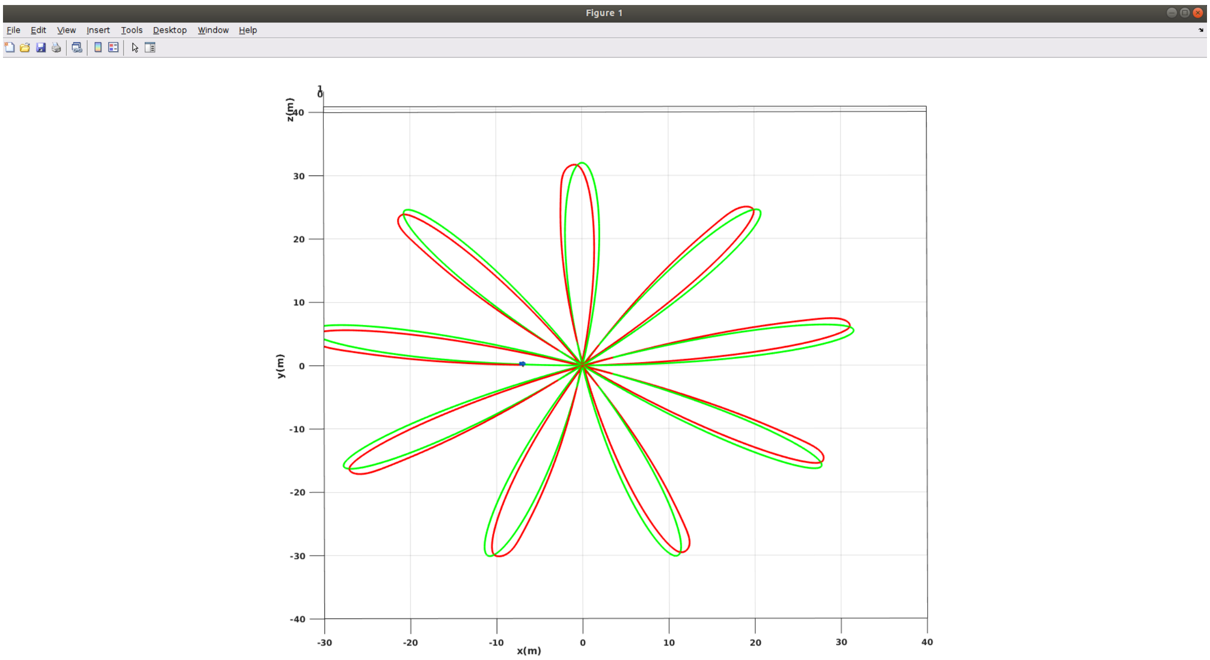
Con esta trayectoria se emplearon ganancias de 8 para que el robot siguiera la trayectoria lo más cerca posible con un tiempo final de 9 y pasos de 0.02.

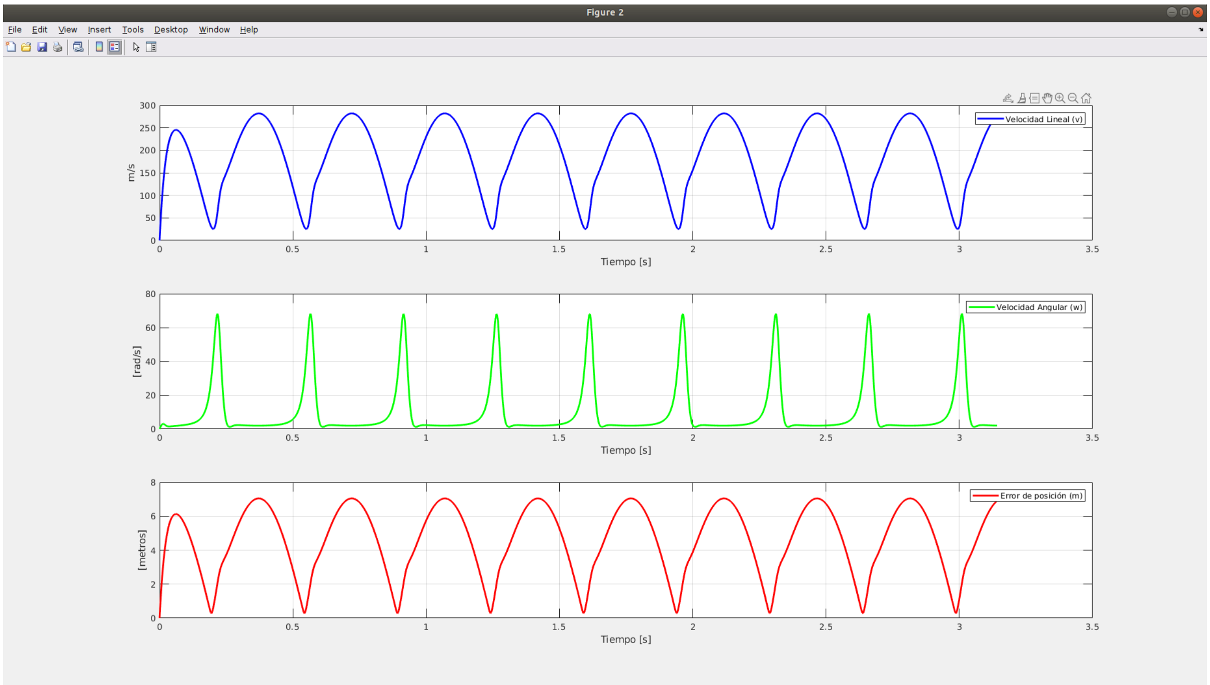
Trayectoria de Flor de nueve pétalos:

Parámetros

```
%1 TIEMPO %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
tf=pi;                 % Tiempo de simulación en segundos (s)
ts=pi/1000;                % Tiempo de muestreo en segundos (s)
t=0:ts:tf;             % Vector de tiempo
N= length(t);          % Muestras

%3 TRAYECTORIA DESEADA %%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
%Flor de 9 petalos
%Velocidades de la trayectoria deseada
r = 4*sin(9*t); % Se declara el radio de la flor
hxd = 8*(r.*cos(t));
hyd = 8*(r.*sin(t));
%Velocidades de la trayectoria deseada
hxdp = 8*(-r.*sin(t));
hydp = 8*(r.*cos(t));

   %c)Matriz de Ganancias
   K=[40 0;...
      0  40];
```

Resultados





En esta última trayectoria se declararon las ecuaciones paramétricas (x, y) con un radio en específico para generar la flor con 9 pétalos, además de redimensionarla. El tiempo final se declaró de Pi con pasos de Pi/1000 para una mayor precisión en el trazo de la figura y en el seguimiento de ésta por parte del robot. Finalmente se tuvo que poner la ganancia más grande hasta ahora de 40 y 40, de esta manera se acercaba el robot con mucha exactitud a las curvas de los pétalos.