



Universidad Politécnica de Madrid

# Grado en Ingeniería Electrónica y Automática

Asignatura

**Robótica**

Robot Jardinero

GarteSAAD

Curso 2016-2017



Universidad Politécnica de Madrid

# Grado en Ingeniería Electrónica y Automática

## Datos del Grupo

Álvaro Ruedas Mora (50.995)  
Daniel Romero de Miguel (51.453)  
Álvaro Iglesias Muñoz (51.044)  
Santiago Herrero Melo (50.690)

## ÍNDICE

1. *Introducción*
2. *Materiales y elementos empleados*
  - a. *Elementos no electrónicos*
  - b. *Elementos electrónicos*
  - c. *Estudio de coste*
3. *Cinemática del robot*
  - a. *Cinemática directa*
  - b. *Cinemática inversa*
  - c. *Solución al problema cinemático diferencial*
4. *Desarrollo de la construcción del robot*
  - a. *Etapas de idea*
  - b. *Etapas de montaje*
  - c. *Etapas de implementación*
5. *Aportación de los miembros del grupo*
6. *Agradecimientos*
7. *Bibliografía*

## *1. Introducción*

El robot jardinero GarteSAAD es un robot cartesiano que consta de tres grados de libertad. Opera en los tres ejes del espacio (x, y, z), desplazándose hasta un máximo de 30cm tanto en la dirección del eje X como en la dirección del eje Y, y un máximo de 5cm hacia abajo en la dirección del eje Z (hasta el punto -5 si se toma como centro del sistema de coordenadas el gripper del robot, hasta el punto 0 si se toma como referencia el suelo).

Consiste en una estructura prismática con una altura de 50cm, altura a la que se encuentra suspendido el gripper. Éste está unido mediante dos barras metálicas a dos piezas de plástico situadas en los extremos, moviéndose en el eje X en la dirección de estas barras. Esas piezas de plástico se mueven, a su vez y respectivamente, por dos barras metálicas que suponen el movimiento del eje Y.

El robot está capacitado para ejecutar la función de riego y hacer surcos en la tierra.

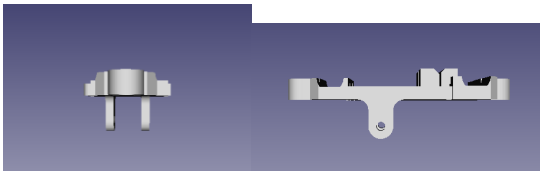
El gripper tiene en su extremo una extensión en forma de varilla, que es la que se encarga de hacer los surcos en la tierra.

El riego se hace mediante una bomba casera de agua. Desde un depósito situado en la parte inferior del robot, sale un tubo que conecta a un motor, del cual sale otro tubo conectado al gripper. El motor impulsa el agua girando a gran velocidad, ya que consta de un aspa en su extremo, haciéndola llegar hasta el gripper.

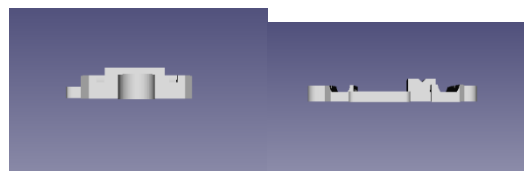
## 2. Materiales y elementos empleados

### a. Elementos no electrónicos

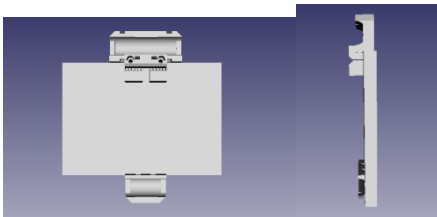
- 8 barras cilíndricas de aluminio de diámetro 8mm y longitud 50cm.
- 4 barras prismáticas de lado de la base 2cm y longitud 50cm.
- 2 barras en forma de L de lado de la base 3cm y longitud 50cm.
- 2 sujetores de metal para los motores.
- 4 escuadras planas de metal de 40mm.
- 2 placas planas zincadas de 50mmx40mm.
- 2 ángulos zincados de 40mmx25mmx25mm.
- 12 rodamientos de diámetro interior 8mm y diámetro exterior 15mm.
- 4m de correa dentada.
- 8 poleas dentadas de diámetro exterior 16mm, diámetro interior 5mm y 20 dientes.
- 1 tubo de silicona de 10m.
- 1 maceta de plástico de base 30cmx30cm y altura 24cm.
- 4 piezas de plástico PLC (2 piezas A y una B) detalladas a continuación:



2.a.1. Vistas de la pieza lateral derecha



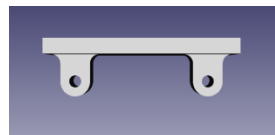
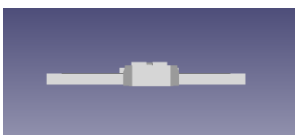
2.a.2. Vistas de la pieza lateral izquierda

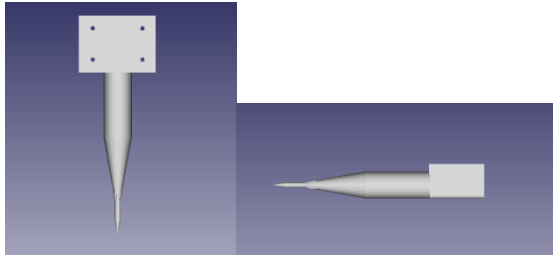


2.a.3. Vistas de la pieza central (ejeX)



2.a.4. Vistas del tope inferior del eje Z

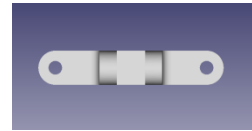
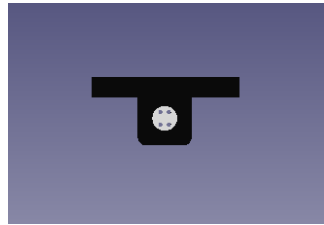




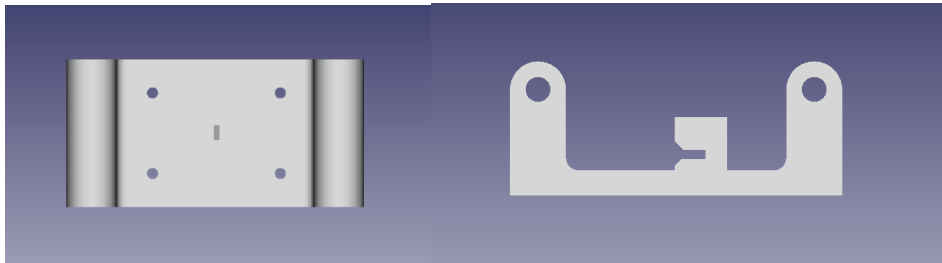
2.a.5. Vistas del gripper



2.a.6. Vistas del sujeta-polea del gripper



2.a.7. Vistas de la guía del gripper



### *b. Elementos electrónicos*

- 4 motores paso a paso modelo NEMA17.
- 4 drivers de motor del tipo DRV8825.
- 1 controlador ARDUINO modelo ARDUINO1.
- Cables.



*c. Estudio de coste*

PRODUCTO	COSTE/UD	UNIDADES	COSTE
Barras cilíndricas	1,35	4	5,4
Barras prismáticas	2,85	2	5,7
Barras en forma de L	4,85	2	9,7
Sujetores de metal	3,51	2	7,02
Escuadras de metal	0,13	4	0,52
Rodamientos	0,86	12	10,32
Correa dentada	8,99	1	8,99
Poleas dentadas	0,79	8	6,32
Tubo de silicona	9,1	1	9,1
Maceta	5,5	1	5,5
Tierra	2	1	2
Piezas 3D	2,5	8	20
Motores paso a paso	12,99	4	51,96
Finales de carrera	1,6	4	6,4
Drivers	2,3	10	23
Globos	0,05	10	0,5
Paquetes de 100 bridas	2,35	1	2,35
Placas zincadas	0,45	2	0,9
Ángulos zincados	0,41	2	0,82
Pack de 20 cables	2	1	2
		TOTAL:	178,5

### 3. Cinemática del robot

#### a. Cinemática directa

En primer lugar, calculamos los parámetros de Denavit-Hartenberg:

	$\Theta_i$	$d_i$	$a_i$	$\alpha_i$
1	$-\pi/2$	0	$q_1$	0
2	$+\pi/2$	0	$q_2$	0
3	0	$q_3$	0	$\pi$

Con ellos, obtenemos las matrices intermedias:

$${}^0A_1 = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & -q_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad {}^1A_2 = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & 0 \\ 1 & 0 & 0 & q_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad {}^2A_3 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Y multiplicando éstas entre sí, obtenemos la matriz que nos da la **cinemática directa**:

$${}^0A_3 = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & q_2 \\ 0 & -1 & 0 & -q_1 \\ 0 & 0 & -1 & q_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

#### b. Cinemática inversa

Teniendo en cuenta que:

$$T = \begin{vmatrix} n_x & o_x & a_x & p_x \\ n_y & o_y & a_y & p_y \\ n_z & o_z & a_z & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Calculamos las matrices inversas de las obtenidas mediante Denavit-Hartenberg:

$$({}^0A_1)^{-1} = \begin{vmatrix} 0 & -1 & 0 & -d_1 \\ 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad ({}^1A_2)^{-1} = \begin{vmatrix} 0 & 1 & 0 & -d_2 \\ -1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix} \quad ({}^2A_3)^{-1} = \begin{vmatrix} 1 & 0 & 0 & 0 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & -1 & d_3 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{vmatrix}$$

Y aplicando la fórmula  $({}^0A_1)^{-1} \cdot T = {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$  obtenemos que:

$$d_1 = -p_y$$

$$d_2 = p_x$$

$$d_3 = p_z$$



### *c. Solución al problema cinemático diferencial*

Para ello calcularemos la matriz jacobiana. En primer lugar, obtenemos las siguientes ecuaciones de movimiento:

$$x = q_2$$

$$y = q_1$$

$$z = -q_3$$

Posteriormente, obtenemos las derivadas de los movimientos:

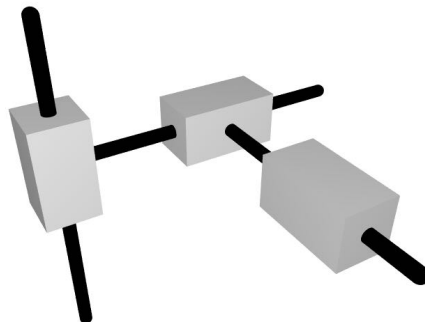
$$\dot{x} = \dot{q}_2$$

$$\dot{y} = \dot{q}_1$$

$$\dot{z} = -\dot{q}_3$$

Y con ellos, obtenemos finalmente la matriz jacobiana:

$$\begin{bmatrix} \dot{x} \\ \dot{y} \\ \dot{z} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & -1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} \dot{q}_1 \\ \dot{q}_2 \\ \dot{q}_3 \end{bmatrix}$$



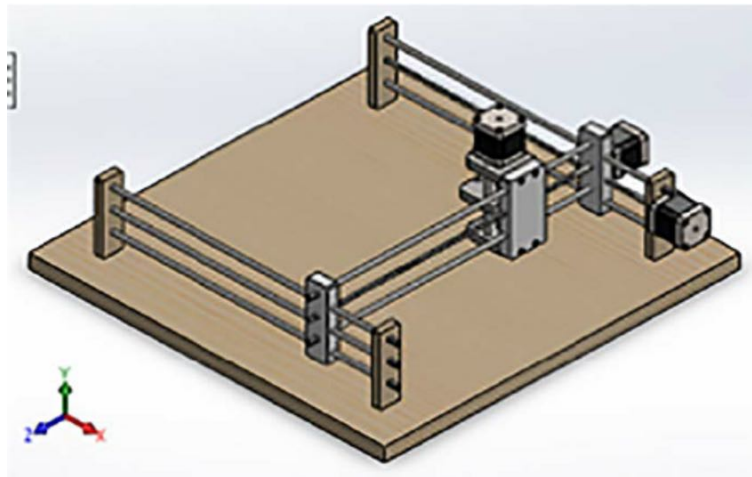
## 4. Desarrollo de la construcción del robot

### a. Etapa de idea

Desde un primer momento, la idea inicial fue hacer un robot paralelo, con un movimiento tipo impresora 3D, con barras laterales para ejecutar los movimientos en las direcciones de los ejes X e Y.

Originalmente, se dispondrían una serie de raíles a los lados de la maceta, por los que mediante unas ruedas dentadas, desplazaría una estructura superior. Comprobamos que la estabilidad de la estructura iba a ser muy pobre, y decidimos hacer una estructura suspendida sobre la maceta. De este modo, sujetándose sobre unas barras verticales, el gripper se mueve en una superficie elevada, siendo más estable.

Basándonos en el trabajo realizado por ZonaMaker en impresoras 3D, diseñamos las piezas móviles, que determinarán la posición final del gripper, así como los ejes y correajes.



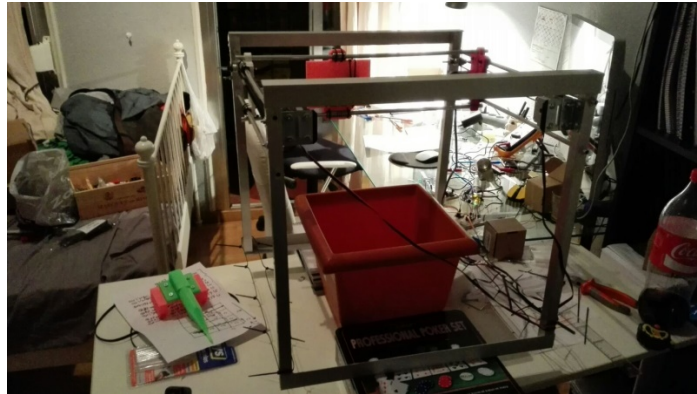
Finalmente, llegamos a la etapa más complicada, el diseño del gripper. Tras varias consideraciones, decidimos hacer una pieza cuyo extremo es similar a la tapa de un bolígrafo, con un agujero en forma de corona alrededor de un extremo alargado, que sería con el que se harían los surcos en la tierra. El tubo de silicona irá integrado en el gripper, de manera que el agua caiga por el agujero alrededor del extremo, estando el agua bien dirigida a un punto concreto.

El extremo del gripper consiste en una varilla alargada, pensada para poder hacer surcos en la tierra, de manera que ésta no se instale en la zona por la que pasa el agua, taponándola y ensuciándola.

Después de varias pruebas con depósitos en alto, perforaciones en las tuberías con un tapón que se abriese y cerrase y otras pruebas, decidimos hacer una bomba de agua casera, con un motor que con un aspa colocada en su extremo, impulsa fuertemente el agua desde el depósito al extremo del gripper.

### *b. Etapa de montaje*

En primer lugar, cortamos las barras compradas originalmente (de un metro de longitud) por la mitad para obtener las piezas de longitud de 50cm. Posteriormente, taladramos los agujeros, en las barras prismáticas, por los que introduciremos las barras cilíndricas laterales.



En las barras cilíndricas, colocamos los rodamientos, a los que se acoplan las piezas impresas en 3D, y se asegura el montaje mediante termofusible. Otras dos barras cilíndricas se acoplan a las piezas impresas laterales, y sobre ellas se coloca una tercera pieza, a la que irá unida el gripper.

En dos de las barras prismáticas verticales se enganchan los motores, y en las barras que se sitúan enfrente a éstos, las poleas. Lo mismo se hace poniendo una polea y un motor en cada pieza impresa lateral. Por último, se coloca otro motor en la pieza central del eje X, y una polea en el extremo inferior, que hará de final de carrera del gripper. Los motores se unen a las poleas mediante unas correas.

Los extremos inferiores de las barras cilíndricas irán sujetos entre sí mediante las barras en forma de L, para dotar de mayor estabilidad a la estructura, delimitando también el plano de acción del robot. En el interior del cuadrado formado por estas barras es donde irá situada la maceta.

Las piezas laterales realizarán el movimiento en la dirección Y, la pieza central en la dirección X, y de ésta saldrá el gripper que se mueve en el eje Z. El tubo procedente de la bomba de agua se introducirá en el gripper.

### *c. Etapa de implementación*

[illegible]

- Para ello, usamos el siguiente código:

```

/*int x;

const int enaPin = 6;

const int stepPin = 5;

const int dirPin = 4;


void setup()

{

pinMode(enaPin, OUTPUT); //Enable
pinMode(stepPin, OUTPUT); //Step
pinMode(dirPin, OUTPUT); //Direction


digitalWrite(6,LOW);

}


void loop()

{

digitalWrite(4,HIGH);


for(x = 0; x < 6000; x++)

{

digitalWrite(5,HIGH);

delayMicroseconds(100);

digitalWrite(5,LOW);

delayMicroseconds(100);

}

delay(1000);

```

```
digitalWrite(4,LOW);
```

```
for(x = 0; x < 6000; x++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(5,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(50);
```

```
    digitalWrite(5,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(50);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
}
```

```
*/
```

```
/*int Index;
```

```
const int vuelta = 200;
```

```
float xA=1, xB=1 ;
```

```
void setup()
```

```
{
```

```
pinMode(6, OUTPUT); //Enable
```

```
pinMode(5, OUTPUT); //Step
```

```
pinMode(4, OUTPUT); //Direction
```

```
pinMode(3, OUTPUT); //Step
```

```
pinMode(2, OUTPUT); //Direction
```

```
}
```

```

void loop()

{
digitalWrite(4,HIGH);

for(Index = 0; Index < xA*vuelta; Index++)
{
digitalWrite(5,HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(5,LOW);
delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

digitalWrite(4,LOW);

for(Index = 0; Index < xB*vuelta; Index++)
{
digitalWrite(5,HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(5,LOW);
delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

digitalWrite(2,LOW);

```

```

for(Index = 0; Index < 1*vuelta; Index++)
{
    digitalWrite(3,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(3,LOW);

    delayMicroseconds(500);

}

delay(1000);

}

*/

```

```

/*int Index;

```

```

void setup()
{
    pinMode(6, OUTPUT); //Enable
    pinMode(5, OUTPUT); //Step
    pinMode(4, OUTPUT); //Direction
    // pinMode(7, OUTPUT); //Direction
    // pinMode(8, OUTPUT); //Step

```

```

    digitalWrite(6,LOW);

}

```

```

void loop()
{

```



```
digitalWrite(4,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < 200; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(5,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(5,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
digitalWrite(4,LOW);
```

```
for(Index = 0; Index < 200; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(5,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(5,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
/* digitalWrite(7,LOW);
```

```
for(Index = 0; Index < 200; Index++)
```

```
{
```

```

    digitalWrite(8,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(8,LOW);

    delayMicroseconds(500);

}

delay(1000);*/

int Index;

const int vuelta = 200;

const float mm = 4.25;

void setup()

{

    pinMode(11, INPUT); //FC1 (NC) - Amarillo
    pinMode(10, OUTPUT); //z Step - Morado
    pinMode(9, OUTPUT); //z Direction - Azul
    pinMode(8, OUTPUT); //y Step - Morado
    pinMode(7, OUTPUT); //y Direction - Azul
    pinMode(6, OUTPUT); //Enable -
    pinMode(5, OUTPUT); //x Step - Morado
    pinMode(4, OUTPUT); //x Direction - Azul

    digitalWrite(6,LOW);//ENABLE

    Serial.begin(9600);

}

```

```

void loop()

{
  //----- 1 -----
  //-----GIRO X + -----

  digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)

  for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)
  {
    digitalWrite(5,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(5,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }

  delay(1000);

  //----- 2 -----
  //-----GIRO Y + -----

```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 3 -----
```

```
//-----GIRO Z -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 4 -----
```

```
//-----GIRO Z + -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 5 -----
```

```
//-----GIRO Y + -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 6 -----  
//-----GIRO Z - -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 7 -----  
//-----GIRO Z + -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 8 -----
```

```
//-----GIRO Y + -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 9 -----
```

```
//-----GIRO Z - -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```

    delayMicroseconds(500);

}

delay(1000);


//----- 10 -----
//-----GIRO Z + -----


digitalWrite(9,HIGH);


for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);


//----- 11 -----
//-----GIRO Y - -----


digitalWrite(7,HIGH);


for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);

```



```

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(8,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

```

```

//----- 12 -----
//-----GIRO X + -----

```

```

digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)

```

```

for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)
{
    digitalWrite(5,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(5,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

```

```

//----- 13 -----
//-----GIRO Z - -----

```

```

digitalWrite(9,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)

```

```

{
    digitalWrite(10,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(10,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 14 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(10,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 15 -----
//-----GIRO Y - -----

digitalWrite(7,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(8,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 16 -----
//-----GIRO Z - -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 17 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(10,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 18 -----
//-----GIRO Y + -----

```

```

digitalWrite(7,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(8,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

```

```

//----- 19 -----
//-----GIRO Z - -----

```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 20 -----
```

```
//-----GIRO Z + -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 21 -----
```

```
//-----GIRO Y -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 22 -----
```

```
//-----GIRO X + -----
```

```
digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)
```

```
for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(5,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(5,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```

        delay(1000);

//----- 23 -----
//-----GIRO Z - -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 24 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

```

```

}

delay(1000);

//----- 25 -----

//-----GIRO Y + -----


digitalWrite(7,HIGH);


for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(8,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);


//----- 26 -----

//-----GIRO Z - -----


digitalWrite(9,HIGH);


for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);

```



```

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 27 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 28 -----
//-----GIRO Y + -----

digitalWrite(7,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);
    delayMicroseconds(500);

```

```

    digitalWrite(8,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 29 -----

//-----GIRO Z - -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(10,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 30 -----

//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);

```

```
delayMicroseconds(500);
```

```
digitalWrite(10,LOW);
```

```
delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 31 -----
```

```
//-----GIRO Y -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
digitalWrite(8,HIGH);
```

```
delayMicroseconds(500);
```

```
digitalWrite(8,LOW);
```

```
delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 32 -----
```

```
//-----GIRO X -----
```

```
digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)
```

```
for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)
```

```

{
    digitalWrite(5,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(5,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

}

/*
//-----GIRO Y-----

{
    digitalWrite(7,HIGH);

    for(Index = 0; Index < *mm; Index++)
    {
        digitalWrite(8,HIGH);
        delayMicroseconds(500);
        digitalWrite(8,LOW);
        delayMicroseconds(500);
    }
    delay(1000);

//-----GIRO Z-----

```

```

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < *mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
}*/

```

A continuación, encontramos el código para la función de regado:

```

/*int x;

const int enaPin = 6;

const int stepPin = 5;

const int dirPin = 4;

void setup()
{
    pinMode(enaPin, OUTPUT); //Enable
    pinMode(stepPin, OUTPUT); //Step
    pinMode(dirPin, OUTPUT); //Direction

    digitalWrite(6,LOW);
}

```

```

void loop()

{
digitalWrite(4,HIGH);

for(x = 0; x < 6000; x++)
{
digitalWrite(5,HIGH);
delayMicroseconds(100);
digitalWrite(5,LOW);
delayMicroseconds(100);
}
delay(1000);

digitalWrite(4,LOW);

for(x = 0; x < 6000; x++)
{
digitalWrite(5,HIGH);
delayMicroseconds(50);
digitalWrite(5,LOW);
delayMicroseconds(50);
}
delay(1000);
}

*/

```

```

/*int Index;

const int vuelta = 200;

float xA=1, xB=1 ;

void setup()
{
pinMode(6, OUTPUT); //Enable
pinMode(5, OUTPUT); //Step
pinMode(4, OUTPUT); //Direction
pinMode(3, OUTPUT); //Step
pinMode(2, OUTPUT); //Direction

}

void loop()
{
digitalWrite(4,HIGH);

for(Index = 0; Index < xA*vuelta; Index++)
{
digitalWrite(5,HIGH);

delayMicroseconds(500);

digitalWrite(5,LOW);

delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

```

```
digitalWrite(4,LOW);
```

```
for(Index = 0; Index < xB*vuelta; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(5,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(5,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
digitalWrite(2,LOW);
```

```
for(Index = 0; Index < 1*vuelta; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(3,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(3,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
}
```

```
*/
```

```
/*int Index;
```



```

void setup()
{
  pinMode(6, OUTPUT); //Enable
  pinMode(5, OUTPUT); //Step
  pinMode(4, OUTPUT); //Direction
  // pinMode(7, OUTPUT); //Direction
  // pinMode(8, OUTPUT); //Step

  digitalWrite(6,LOW);
}

void loop()
{
  digitalWrite(4,HIGH);

  for(Index = 0; Index < 200; Index++)
  {
    digitalWrite(5,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(5,LOW);
    delayMicroseconds(500);
  }

  delay(1000);

  digitalWrite(4,LOW);

```

```

for(Index = 0; Index < 200; Index++)
{
    digitalWrite(5,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(5,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

```

```

/* digitalWrite(7,LOW);

```

```

for(Index = 0; Index < 200; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(8,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);*/

```

```

int Index;

```

```

const int vuelta = 200;

```

```

const float mm = 4.25;

```

```

void setup()

```

```

{

```

```

pinMode(11, INPUT); //FC1 (NC) - Amarillo
pinMode(10, OUTPUT); //z Step - Morado
pinMode(9, OUTPUT); //z Direction - Azul
pinMode(8, OUTPUT); //y Step - Morado
pinMode(7, OUTPUT); //y Direction - Azul
pinMode(6, OUTPUT); //Enable -
pinMode(5, OUTPUT); //x Step - Morado
pinMode(4, OUTPUT); //x Direction - Azul

digitalWrite(6,LOW);//ENABLE

Serial.begin(9600);

}

```

```

void loop()

{
//----- 1 -----
//-----GIRO X + -----

```

```
digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)
```

```
for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(5,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(5,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
    delay(1000);
```

```
//----- 2 -----
```

```
//-----GIRO Y + -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 3 -----
```

```
//-----GIRO Z - -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 4 -----
```

```
//-----GIRO Z + -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 5 -----  
//-----GIRO Y + -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 6 -----
```

```
//-----GIRO Z - -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 7 -----
```

```
//-----GIRO Z + -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 8 -----
```

```
//-----GIRO Y + -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 9 -----
//-----GIRO Z - -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 10 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);

```



```

digitalWrite(10,LOW);

delayMicroseconds(500);

}

delay(1000);

```

```

//----- 11 -----
//-----GIRO Y - -----

```

```

digitalWrite(7,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(8,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

```

```

//----- 12 -----
//-----GIRO X + -----

```

```

digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)

```

```

for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)

```

```

{
    digitalWrite(5,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(5,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 13 -----
//-----GIRO Z - -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 14 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 15 -----
//-----GIRO Y - -----

```

```

digitalWrite(7,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)

```

```

{
    digitalWrite(8,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(8,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

```

```

//----- 16 -----
//-----GIRO Z - -----

```

```

digitalWrite(9,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 17 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//----- 18 -----
//-----GIRO Y + -----

```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 19 -----
```

```
//-----GIRO Z -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 20 -----
```

```
//-----GIRO Z + -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(10,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(10,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 21 -----
```

```
//-----GIRO Y - -----
```

```
digitalWrite(7,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{
```

```
    digitalWrite(8,HIGH);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
    digitalWrite(8,LOW);
```

```
    delayMicroseconds(500);
```

```
}
```

```
delay(1000);
```

```
//----- 22 -----
```

```
//-----GIRO X + -----
```

```
digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)
```

```
for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)
```

```
{  
    digitalWrite(5,HIGH);  
    delayMicroseconds(500);  
    digitalWrite(5,LOW);  
    delayMicroseconds(500);  
}  
    delay(1000);
```

```
//----- 23 -----
```

```
//-----GIRO Z - -----
```

```
digitalWrite(9,HIGH);
```

```
for(Index = 0; Index < mm; Index++)
```

```
{  
    digitalWrite(10,HIGH);  
    delayMicroseconds(500);  
    digitalWrite(10,LOW);  
    delayMicroseconds(500);
```

```

}

delay(1000);

//----- 24 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 25 -----
//-----GIRO Y + -----

digitalWrite(7,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(8,LOW);

```



```

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 26 -----
//-----GIRO Z - -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);
    digitalWrite(10,LOW);
    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 27 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);
    delayMicroseconds(500);

```

```

    digitalWrite(10,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 28 -----
//-----GIRO Y + -----

```

```

digitalWrite(7,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(8,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(8,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

```

```

//----- 29 -----
//-----GIRO Z - -----

```

```

digitalWrite(9,HIGH);

```

```

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);

```

```

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(10,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 30 -----
//-----GIRO Z + -----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)
{
    digitalWrite(10,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(10,LOW);

    delayMicroseconds(500);
}

delay(1000);

//----- 31 -----
//-----GIRO Y - -----

digitalWrite(7,HIGH);

for(Index = 0; Index < mm; Index++)

```

```

{
    digitalWrite(8,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(8,LOW);

    delayMicroseconds(500);

}

delay(1000);


//----- 32 -----

//-----GIRO X -----


digitalWrite(4,HIGH); //HIGH STEP - Antihorario (Rojo 1º)


for(Index = 0; Index < 47.1*mm; Index++)
{
    digitalWrite(5,HIGH);

    delayMicroseconds(500);

    digitalWrite(5,LOW);

    delayMicroseconds(500);

}

delay(1000);


}


/*

//-----GIRO Y-----

```

```

{
digitalWrite(7,HIGH);

for(Index = 0; Index < *mm; Index++)
{
digitalWrite(8,HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(8,LOW);
delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);

//-----GIRO Z-----

digitalWrite(9,HIGH);

for(Index = 0; Index < *mm; Index++)
{
digitalWrite(10,HIGH);
delayMicroseconds(500);
digitalWrite(10,LOW);
delayMicroseconds(500);
}
delay(1000);
}*/

```

## *5. Aportación de los miembros del grupo*

### **Grupo al completo:**

- Desarrollo de la idea.
- Compra de las piezas y elementos necesarios.
- Construcción de la estructura.
- **PUNTUACIÓN:** 13 puntos.

### **Álvaro Ruedas Mora:**

- Creación del circuito electrónico para posibilitar el movimiento de los motores.
- Implementación del código de Arduino.
- **PUNTUACIÓN:** 13 puntos.

### **Daniel Romero de Miguel:**

- Diseño 3D de las piezas empleadas con FreeCad.
- Creación del circuito electrónico para posibilitar el movimiento de los motores.
- **PUNTUACIÓN:** 18 puntos.

### **Álvaro Iglesias Muñoz:**

- Corte y mecanizado de piezas.
- Diseño del sistema de regado.
- **PUNTUACIÓN:** 17 puntos.

### **Santiago Herrero Melo:**

- Cálculo de las cinemáticas del robot.
- Escritura de la memoria.
- **PUNTUACIÓN:** 12 puntos.

## *6. Agradecimientos*

A ObiJuan, por sus magníficos videotutoriales de FreeCad.

A Pilar López, por mostrarnos un robot existente como el que queríamos hacer, en el que nos hemos podido basar, demostrando que no estábamos locos.

A Daniel Aguilar, nuestro mentor en este proyecto que ha inundado nuestro espacio de trabajo de ideas.

A Luis de Benito y Andrés de delegación, que nos hicieron el gran favor de imprimirnos las piezas 3D.

## *7. Bibliografía*

Para este trabajo no hemos empleado ningún libro ni artículo científico. Principalmente hemos basado nuestro trabajo en el desarrollo de impresoras 3D realizado por ZonaMaker, y todo ello está en su página web: <https://www.zonamaker.com/impresion-3d/crea-impresora>

También hemos empleado numerosos tutoriales de youtube, tanto para el diseño de las piezas en FreeCad como para el control de los drivers en Arduino.