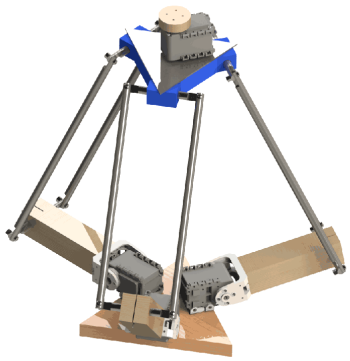
Informe Projecte I

Construcció d'un robot delta per col·locar un circuit de dominó

Marc Asenjo i Ponce de León Joan Marcè i Igual
Iñigo Moreno i Caireta

24 de juny de 2015



Índex

1 Objectiu

El nostre objectiu és construir un robot delta que sigui capaç de posicionar peces de dominó de la manera desitjada per l'usuari, aquest tindrà un programa que li permetrà dibuixar el circuit desitjat i també podrà controlar el robot mitjançant un joystick.

2 Informe mecànic

2.1 Assemblatge general

Aquest robot delta està format per quatre parts generals: els servos, els braços, els avantbraços i la pinça final.
El robot consta de tres servos que permetran el posicionament de la pinça; cada servomotor té acoblat un braç que es mou junt amb l'eix d'aquest. A més a més, els braços estan units mitjançant un eix amb l'avantbraç. Tots els avantbraços arriben a unir-se a la peça final que és la pinça permetent així que el moviment dels tres servos determini un punt a l'espai en el qual posicionar la pinça amb tres graus de llibertat de translació.

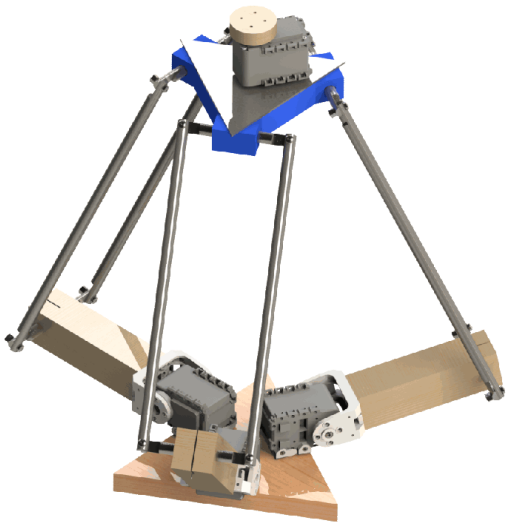


Figura 1: Assemblatge general

2.2 Servomotors

Els servomotors permeten el posicionament específic d'un eix a un cert angle. N'hi ha tres. S'utilitza el model AX-12 de dynamixel.
A part dels servos també s'han utilitzat els accessoris *FP04-F2 i FP04-F3*. Per tal de facilitar l'ancoratge entre el servomotor i les diferents peces.

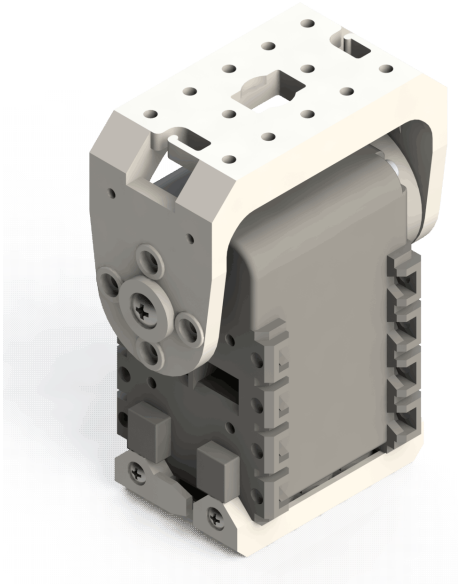


Figura 2: Imatge 3D del servomotor

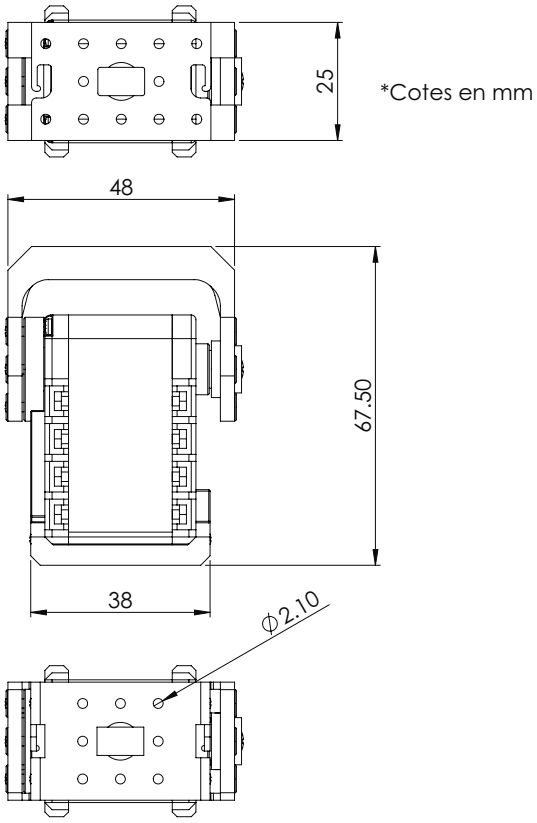


Figura 3: Plànol servo amb accessoris

2.2.1 Plataforma suport

Sobre aquesta plataforma estaran situats els tres servos del robot. Serà de fusta ja que permetrà cargolar els servomotors a sobre i així impedir un moviment no desitjat.

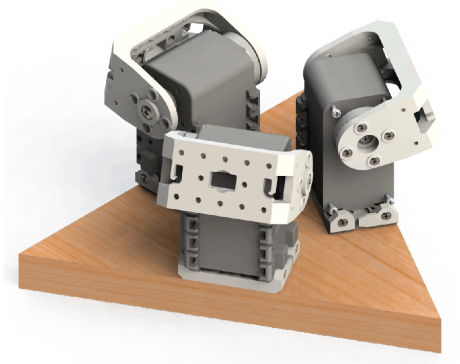


Figura 4: Plataforma amb els servos posats

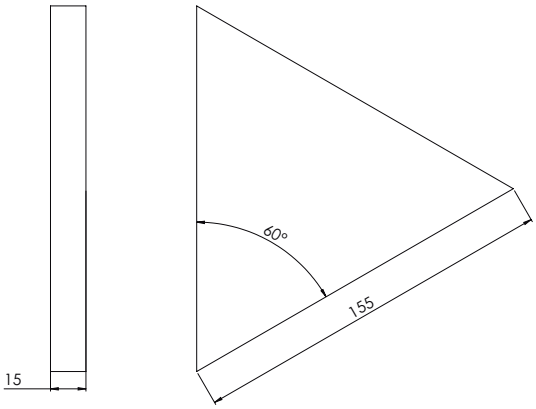


Figura 5: Plànol plataforma servos

2.3 Braç - inicial

Es recolza en els servomotors i principalment està fet de fusta. La part estructural és tota de fusta i està tota enganxada amb cola i després hi ha tres estabilitzadors que eviten vibracions innecessàries a la part del braç més propera a l'eix.

Figura 6: Braç muntat

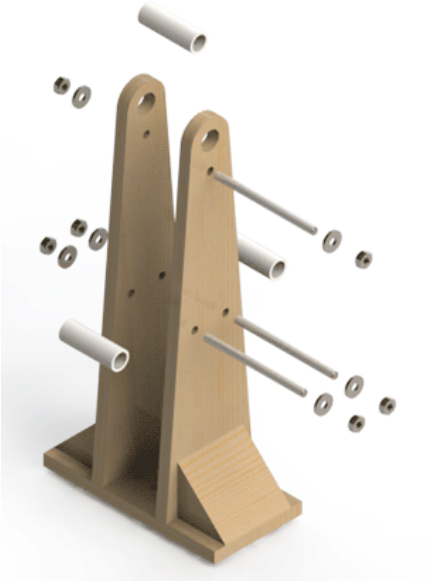


Figura 7: Muntatge del braç

2.3.1 Estructura

L'estructura està feta amb llistons de fusta. S'ha utilitzat un llistó de 45º d'inclinació per la part de suport que es troba entre la base i la columna vertical i per a fer tant la base com les columnes verticals s'ha utilitzat un llistó de 5 mm de gruix que s'ha tallat perquè tingui la forma desitjada.
La raó per la que s'ha escollit fer-ho amb fusta és per poder fer-hi forats i talls amb relativa facilitat ja que la fusta és fàcil de treballar; també el reduït cost econòmic d'aquesta ha motivat escollir aquest material.

2.3.2 Estabilitzador

L'estabilitzador s'utilitza per tal que l'estructura de fusta no vibri ni es deformi degut al moviment del robot. És un conjunt de peces que està format per:

- Una barra roscada de M3 i 45 mm de llargada
- Un tub de plàstic de 6 mm de diàmetre interior i 8 mm de diàmetre exterior de 24 mm de llargada
- Dues volanderes
- Dues femelles M3

El tub de plàstic es situa entre les dues fustes verticals de l'estructura del braç i per dins hi va la barra roscada. A fora es col · loquen les femelles i les volanderes de manera que permeten prémer les dues fustes contra el tub de plàstic forçant així que la distància entre les dues fustes sigui constant.

Figura 8: Estructura del braç

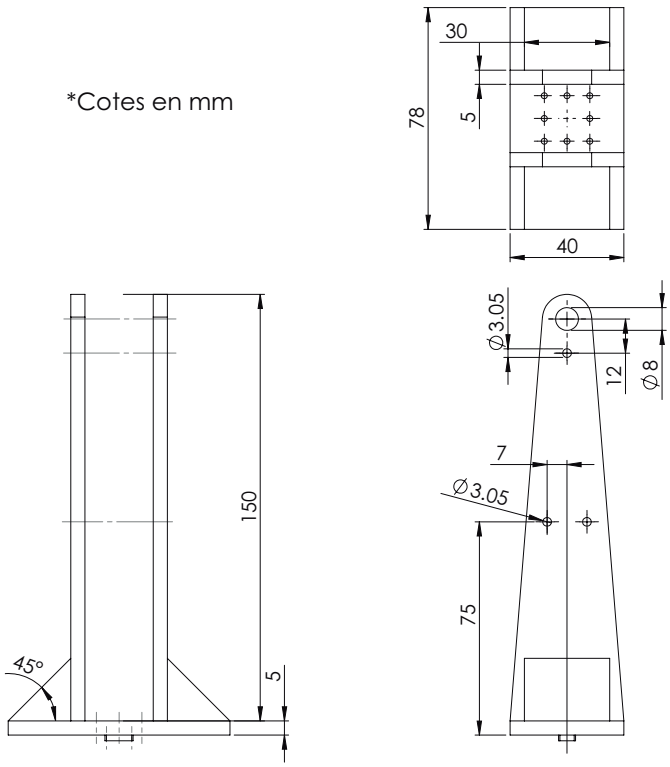


Figura 9: Plànol de les mides del braç

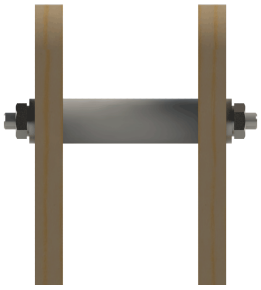


Figura 10: Estabilitzador muntat

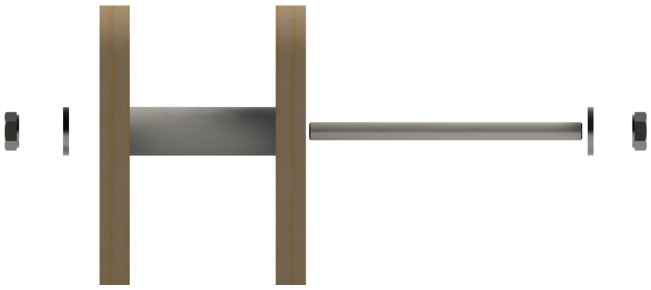


Figura 11: Muntatge estabilitzador

2.4 Braç - final

El braç inicial era massa llarg així que es va haver de fer un nou model més curt, el nou model és més senzill ja que es va veure que un model massa elaborat era difícil de construir correctament i amb les mides especificades.

Figura 12: Nou braç

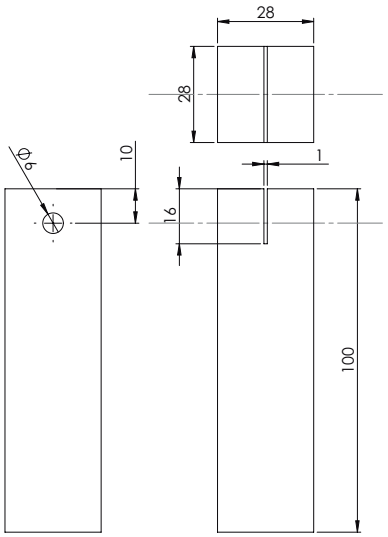


Figura 13: Nou braç

2.5 Avantbraç

L'avantbraç ha de connectar el braç amb la pinça i ha d'estar fet de tal manera que les dues rectes que hi ha entre els eixos sempre siguin paral · leles, a part la unió amb el braç i la pinça ha de ser mitjançant una junta esfèrica. En aquest robot s'ha separat la junta esfèrica en dos eixos per tal que faci la mateixa funció i sigui més fàcil de fabricar.

Figura 14: Avantbraç muntat

Figura 15: Muntatge avantbraç

2.5.1 Vara unió

És la que uneix l'eix situat a la pinça i l'eix situat al braç. És d'alumini que és un metall bastant lleuger i, a més a més, s'ha pensat en fer-la buida per dins per tal d'estalviar pes i així evitar errors en el posicionament final del robot.

2.5.2 Eix Braç

És el que es troba situat al braç de cada servo, el material utilitzat també ha estat l'alumini ja que és un material prou resistent com per fer d'eix i a la vegada també és fàcil de perforar.

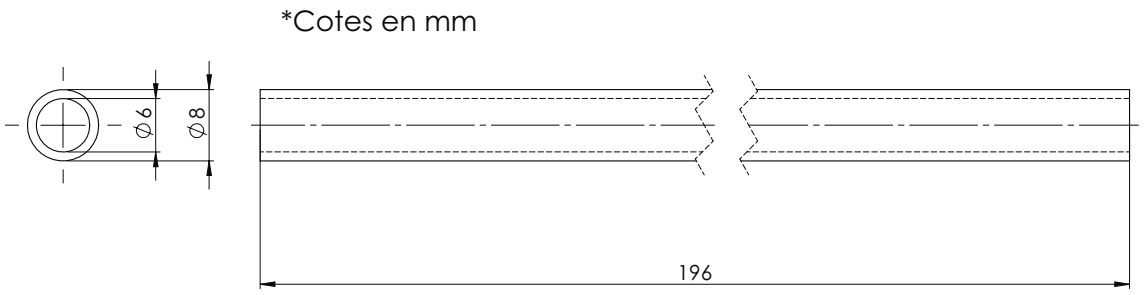


Figura 16: Plànol de la vara

Aquest eix té un petit forat just al mig per tal de poder posar-hi un passador i que així quedin units l'eix i un tub de plàstic que estarà situat entre les dues columnes del braç; d'aquesta manera s'espera que l'eix es mantingui centrat i lateralment. El tub de plàstic tindrà les mateixes mides que la separació entre les columnes.

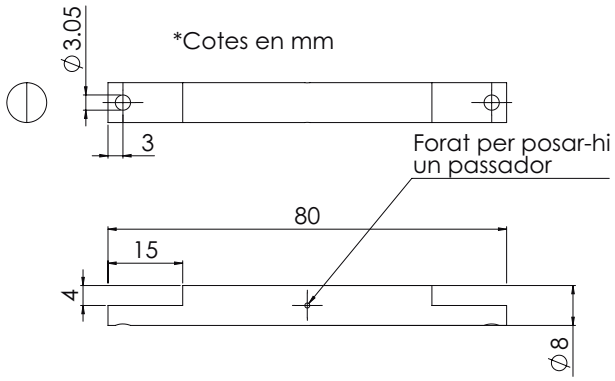


Figura 17: Plànol de l'eix

2.5.3 Eix Pinça

És l'eix que estarà situat al suport de la pinça, és exactament igual a l'eix del braç a excepció que aquest no estarà centrat mitjançant un passador. Un cop muntat al suport de la pinça, hi haurà una goma a cada costat de l'eix del suport de la pinça per evitar el moviment lateral.

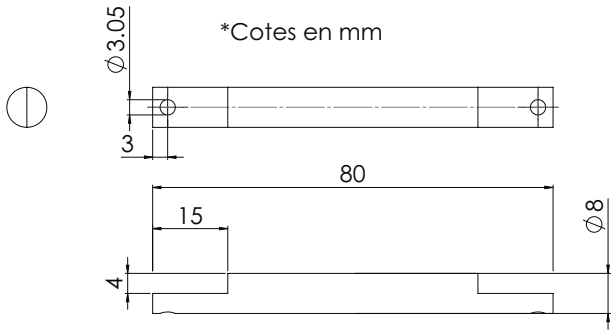
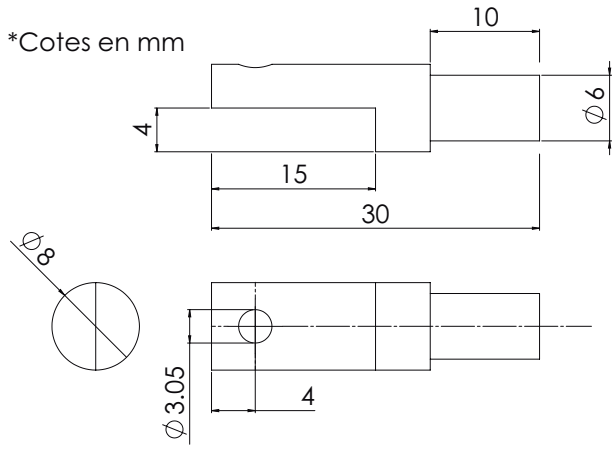


Figura 18: Plànol de l'eix de la pinça

2.5.4 Unió

Amb aquesta peça es pretén unir la vara a l'eix. Està feta de manera que la part que té un radi de 6 mm entri dins del forat interior de la vara i quedi fixat allà. D'aquesta manera s'acaba

tenint el mateix resultat a tenir una sola vara amb els forats d'unió a cada costat però amb un pes inferior.



2.6 Pinça

De moment només s'ha pensat el suport de la pinça ja que fins que no estigui aquesta part muntada i provat el seu correcte funcionament no es pot estar segur a seguir afegint més components. El suport serà de plàstic, imprès en 3D ja que la fusta aquí resulta ser un element massa dèbil i en el moment de fer els forats per on ha de passar l'eix, es trenca.

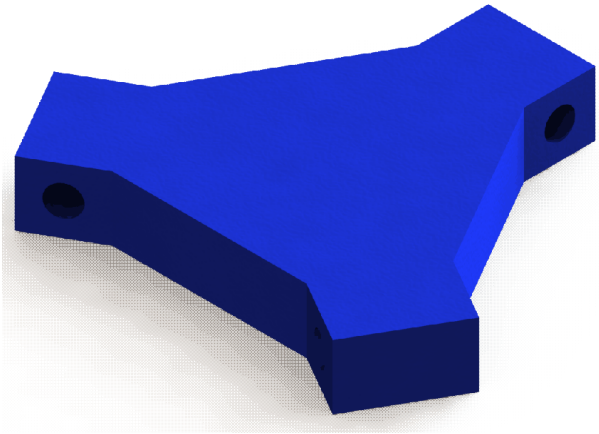


Figura 19: Representació 3D del suport de la pinça

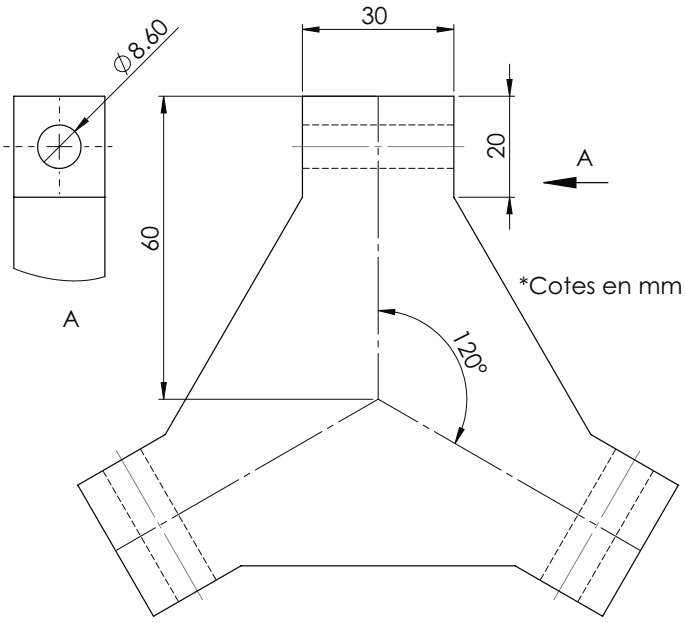


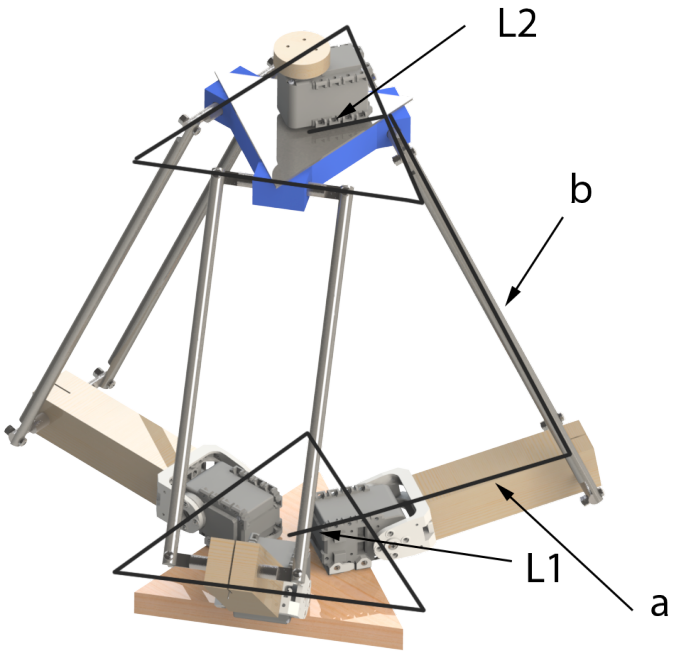
Figura 20: Plànol del suport de la pinça

3 Informe cinemàtic

3.1 Cinemàtica inversa

El càlcul invers és el que serveix per trobar els angles a partir de la posició a la que es vol situar la plataforma. Es pot fer el càlcul per cada motor de manera separada. Primer s'han de definir les mides principals del robot que s'usaran en el càlcul.

3.1.1 Definicions de variables



a és la mida total del braç, des de l'eix del motor fins a l'eix de la connexió amb l'avantbraç.

b és la mida de tot l'avantbraç des de la connexió amb el braç fins a la unió amb la plataforma.

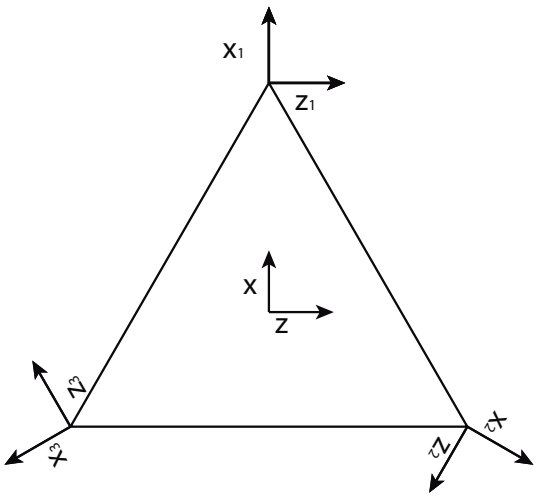
L1 és la distància entre el centre de la base als eixos dels motors.

L2 és la distància entre el centre de la plataforma a l'eix de connexió amb l'avantbraç.

3.1.2 Canvis de base

Com el càlcul de cada angle és independent de la resta, es poden fer canvis de base per poder fer-ho tot amb una sola funció a l'hora de programar. La base inicial $\{x_0, y_0, z_0\}$ està al centre de la base, amb la x en la direcció del motor 1. Les bases $\{x_i, y_i, z_i\}$ que s'utilitzaran per calcular l'angle del motor i estan posicionades al centre del eix de cada motor, i la seva x apunta en la direcció perpendicular al eix del motor. També es suma $L2$ a x_i per fer que la posició objectiu sigui el punt de connexió entre la plataforma i l'avantbraç en lloc del centre de la plataforma.

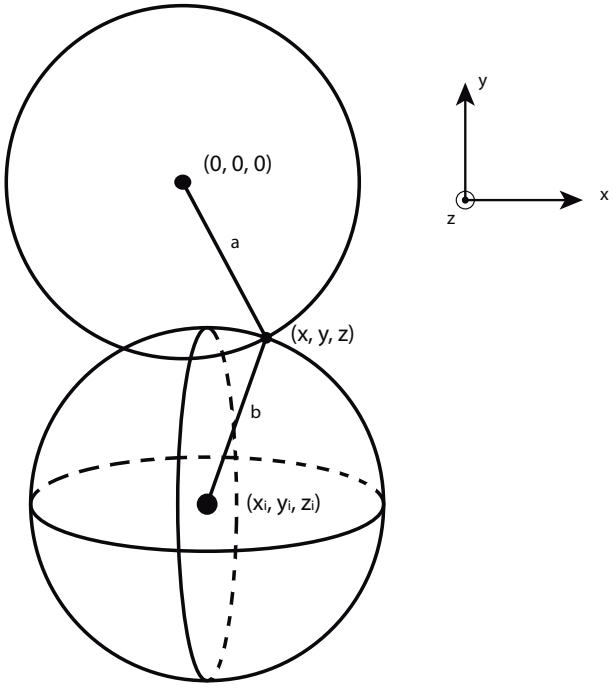
$$\{x_1, y_1, z_1\} = \{x_0 + L2 - L1, y_0, z_0\}$$
$$\{x_2, y_2, z_2\} = \{z_0 sin(60) - x_0 cos(60) + L2 - L1, y_0, -z_0 cos(60) - x_0 sin(60)\}$$
$$\{x_3, y_3, z_3\} = \{-z_0 sin(60) - x_0 cos(60) + L2 - L1, y_0, -z_0 cos(60) + x_0 sin(60)\}$$



3.1.3 Càlcul d'un angle

El motor només pot moure el final del braç en un cercle, gràcies a això es poden deduir dues formules:

$$x^2 + y^2 = a^2 \quad \text{i} \quad z = 0$$



També es pot veure que, com ha d'estar connectat a la plataforma amb una distancia b mitjançant l'avantbraç, s'ha de complir la formula:

$$(x - x_i)^2 + (y - y_i)^2 + (z - z_i)^2 = b^2$$

Ara només cal resoldre el sistema d'equacions.

$$x^2 - 2xx_i + x_i^2 + y^2 - 2yy_i + y_i^2 + z_i^2 = b^2$$

$$-2xx_i - 2yy_i = \underbrace{b^2 - a^2 - x_i^2 - y_i^2 - z_i^2}_{n}$$

$$-2x_i\sqrt{a^2 - y^2} = n + 2yy_i$$

$$4a^2x_i^2 - 4y^2x_i^2 = n^2 + 4yy_in + 4y^2y_i^2$$

$$y^2(x_i^2 + y_i^2) + y(y_in) + (\frac{n^2}{4} - a^2x_i^2) = 0$$

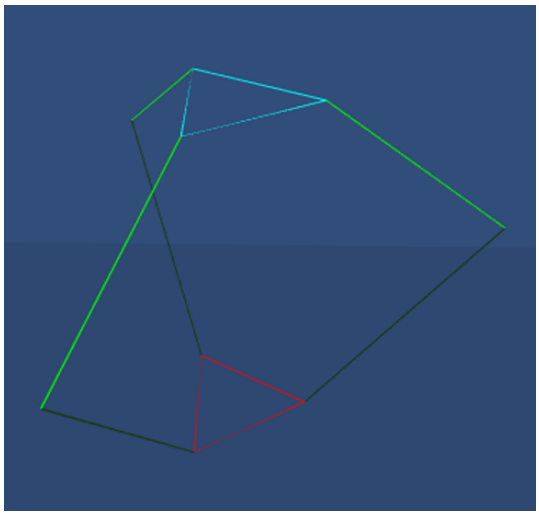
$$y = \frac{-y_i \pm \sqrt{y_i^2n^2 - 4(x_i^2 + y_i^2)(\frac{n^2}{4} - a^2x_i^2)}}{2(x_i^2 + y_i^2)}$$

$$x = \pm\sqrt{a^2 - y^2}$$

$$\text{Finalment, } \theta = atan(\frac{y}{x})$$

3.2 Comprovació dels càlculs

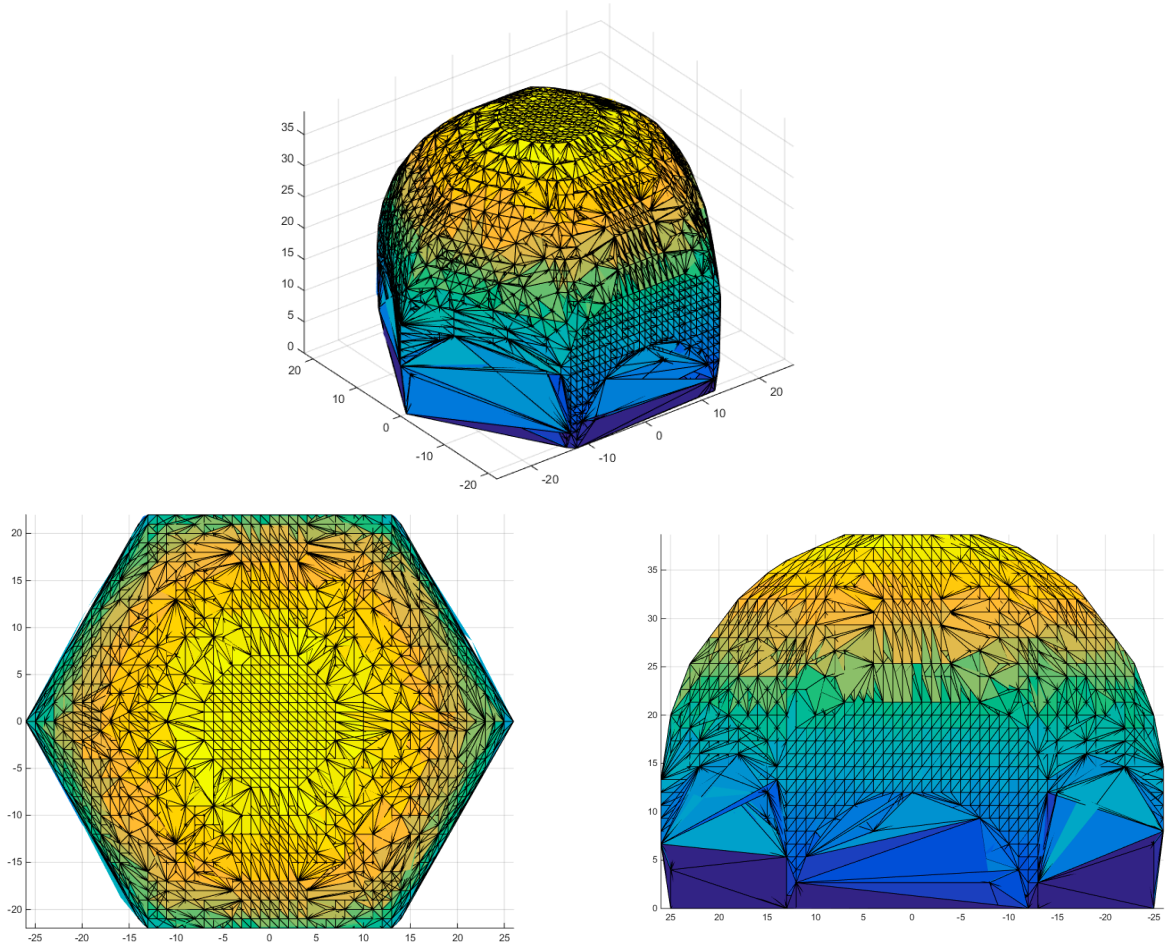
Per poder provar les nostres funcions sense trencar el robot, es va decidir fer una simulació en del Robot en Unity. La simulació és molt simple, Unity s'encarrega de dibuixar un esquema 3D del robot utilitzant línies a partir de la posició desitjada de la plataforma i els angles del robot calculats amb la funció trobada.



Aquesta aplicació també es va usar per determinar quin símbol s'ha de posar abans de les dos arrels. Per la primera arrel es va determinar que havia de anar acompanyada d'un signe negatiu només quan x_i és negatiu. La segona arrel només ha de ser negativa a partir de quan el ha d'estar completament cap a dalt. La condició exacta es: $b^2 - (y_i + a)^2 < x_i^2 + z_i^2$

3.3 Rang de treball

Per calcular el rang de treball s'ha utilitzat la fórmula de l'apartat anterior i buscant una gran quantitat de punts, d'aquests els que donaven un resultat possible s'han agafat com a vàlids i els altres s'han descartat. Tot seguit s'han passat els punts a Matlab® i s'ha generat la següent superfície.



Aquesta superfície està calculada amb tots els punts possibles teòrics però el robot te moltes limitacions mecàniques que no es tenen en compte en aquest càlcul. Per exemple els paral · lelograms dels avantbraços no poden tenir un angle qualsevol, ja que les barres de metall xoquen contra les plaques de fusta del braç si l'angle es molt petit.

3.4 Implementació en Matlab

La implementació de Matlab té tres parts, dues per al càlcul dels angles de treball i la tercera per poder calcular el rang de treball del robot.

3.4.1 Càlcul d'un angle

```
% Rep com a parmetres:
% - x, y, z de la posicio a calcular en la base adequada
% - a la llargada del brac
% - b la llargada de l'avantbrac
function angle = singleAngle(x0, y0, z0, a, b)

n = b^2 - a^2 - z0^2 - x0^2 - y0^2;
root = sqrt (n^2*y0^2 - 4*(x0^2 + y0^2)*(-x0^2*a^2 + n^2/4));

if (x0 < 0)
    root = root * -1;
end

y = (-n*y0 + root ) / (2*(x0^2 + y0^2));

sign = 1;
if ((b^2 - (y0 + a)*(y0 + a)) < (x0^2 + z0^2) && x0 < 0)
    sign = -1;
end

x = sqrt(a^2 - y^2)*sign;

if (isreal(x) && isreal(y))
    angle = atan2(y, x);
else
    angle = NaN;
end

end
```

3.4.2 Càlcul de tots els angles

```
% Rep com a parametre la posicio x, y, z on es vol saber els tres angles
% del robot que es el que retorna la funcio.
function D = setAngles(x, y, z)

% Mides del robot
%a = 17.233;     % Llargada brac
a = 12;
b = 22.648;     % Llargada avantbrac
L1 = 6.374;     % Distancia al centre del triangle de la base
L2 = 6;         % Distancia al centre del triangle de la pinca

% Definicions de constants
sin60 = sqrt(3)/2;
cos60 = 1/2;

% Calcul primer angle
x1 = x + L2 - L1;
y1 = -z;
z1 = y;
D(1) = singleAngle(x1,y1,z1, a, b);

% Calcul segon angle
x2 = y*sin60 - x*cos60 + L2 - L1;
y2 = -z;
z2 = -y*cos60 - x*sin60;
D(2) = singleAngle(x2,y2,z2, a, b);

% Calcul tercer angle
x3 = -y*sin60 - x*cos60 + L2 - L1;
y3 = -z;
z3 = -y*cos60 + x*sin60;
D(3) = singleAngle(x3,y3,z3, a, b);

for  i = 1:3
    D(i) = 150 - D(i)*180/pi;
end

end
```

3.4.3 Càlcul del rang de treball

```
% Es van provant tots els punts a l'espai definit per [-x, x], [-y, y] i
% [0, z] i si no retorna NaN (Not a Number) es considera com a valid i es
% guarda als vectors, tot seguit es genera una superficie en 3D junt amb el
% grafic.
function M = calcWorkspace(x, y, z, steps)
i = 1;
for dz = 0:z/(2*steps):z
   for dx = -x:x/steps:x
      for dy = -y:y/steps:y
         D = setAngles(dx, dy, dz);
         if (~isnan(D))
            bool = 1;
            for j=1:3
               if(D(j) > 250 || D(j) < 80)
                   bool = 0;
               end
            end

            if(bool == 1)
                X(i) = dx;
                Y(i) = dy;
                Z(i) = dz;
                i = i + 1;
            end
         end
      end
   end
end

tri = delaunay(X, Y, Z);
trisurf(tri,X, Y, Z, 'EdgeColor', 'black', 'LineWidth', 0.05);
axis('equal')

M(:, 1) = X;
M(:, 2) = Y;
M(:, 3) = Z;
end
```

4 Informe de programació

La programació esta dividida en dos programes, el de Control i el de Unity. El primer és el que fa "moure el robotï el segon és el que permet dibuixar el circuit que posteriorment serà col · locat. Tot el codi es pot trobar al següent repositori: https://github.com/jmigual/deltaRobot. Per descarregar els programes cal anar a l'apartat de `releases` i allà s'ha d'escollir la versió que es vulgui descarregar.

4.1 Control automàtic

4.1.1 Descripció del programa

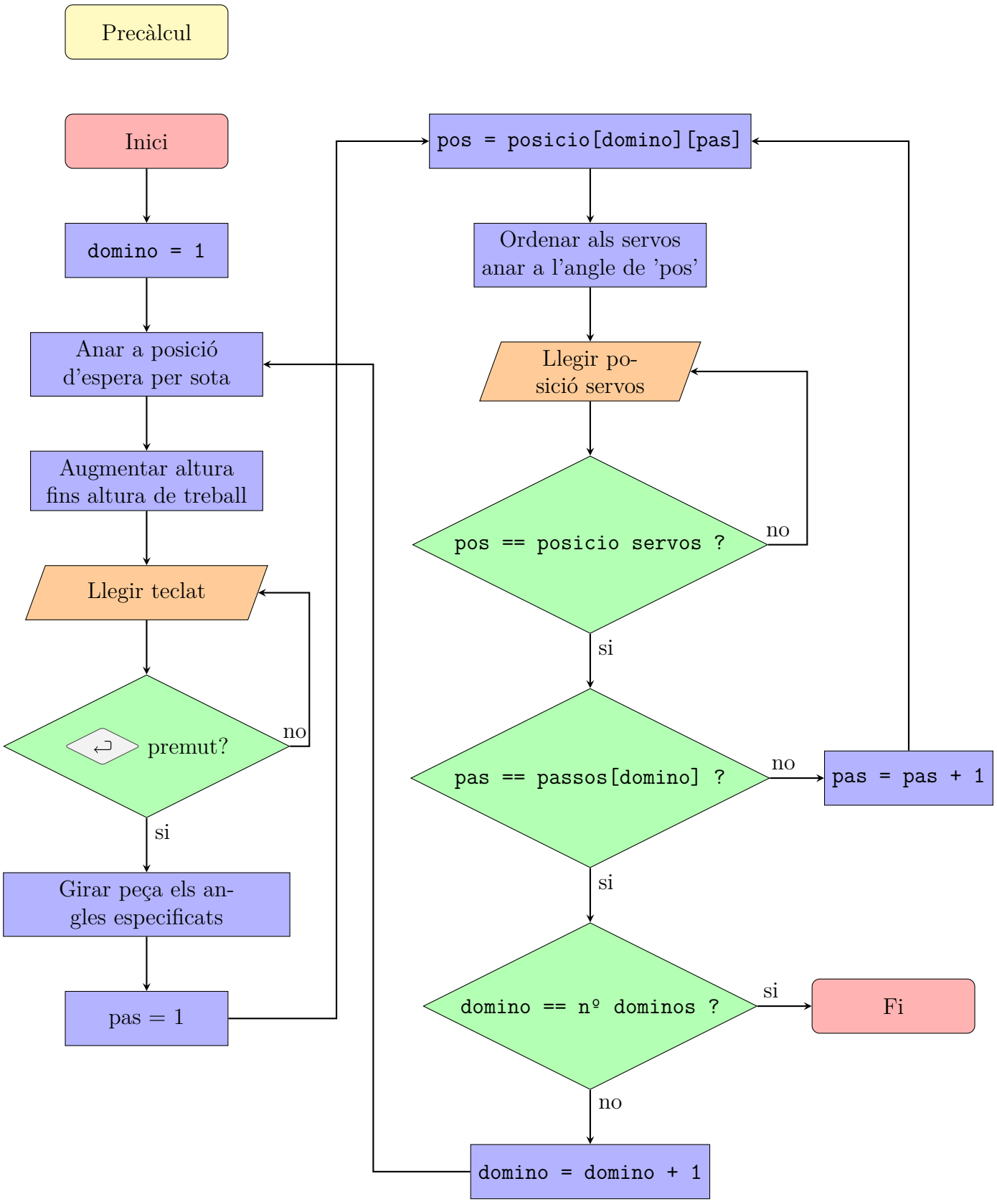
Per fer el control automàtic s'ha utilitzat Qt 5.4 i també la API en C de Dynamixel de comunicació amb els servos. En aquest informe no es detalla molt aquesta part ja que a l'annex hi ha la documentació completa.
Al programa se li carrega un arxiu que conté totes les peces de dominó (extensió `.df`) que s'han de col · locar i executar el programa. Aquest llegeix l'arxiu i, mitjançant l'algoritme descrit a continuació, les va posant al seu lloc d'una en una. L'arxiu generalment l'haurà generat la part de Unity.
Per col · locar una peça es divideix la trajectòria en múltiples passos, aquí cada posició en un pas concret per a un dominó en concret es denota `posicio[domino][pas]`.

4.1.2 Ús del programa

Per fer anar el programa de control primer cal anar a Edit > Options i allà seleccionar els ID dels servos que s'utilitzen per a cada braç, el braç que està a sobre la plataforma és el 1 i els altres dos són el 2 i el 3 en sentit antihorari. Un cop seleccionat els servos llavors es pot seleccionar el mode:

Manual permet controlar el robot mitjançant les tecles W, A, S, D per moure'l; Q, E per pujar i baixar i H, J per girar la punta del robot.

Automàtic començarà a executar el programa que se li hagi carregat prèviament, per carregar un programa anar a File > Import. Cada vegada que se li posa una peça a la posició marcada s'ha de prémer ↵.



4.2 Unity

En Unity s'han fet dos escenes, la principal (Main) i la del simulador del robot (`SimuladorRobot`). Els scripts que s'han usat al Main són:

- `CameraController`: Permet moure la càmera i fer zoom.

```
1  using UnityEngine;
2  using System.Collections;
3
4  public class CameraController : MonoBehaviour {
5
6    public GameObject center;
7    public bool centered = true;
8    public float distance=10f;
9    public float distanceMin=3f;
10   public float distanceMax=30f;
11   public float zoomspeed=500f;
12   public float theta;
13   public float phi;
14   public float cameraspeed=2000f;
15   public float camRayLength=100f;
16   public float objectiveSwitchSpeed=10f;
17   public float dragSpeed=10f;
18   public float movementSpeed=20f;
19   public float size = 5f;
20
21   public static bool onlyZoom = false;
22
23
24   private Transform ObjectiveInitial;
25   private Vector3 obj_pos;
26   private const float rad=2*Mathf.PI/360;
27   private Vector3 ObjectiveDesired;
28   private Vector2 LastMouse;
29   private bool switchingobjective=false;
30
31   private float desiredDistance;
32
33   void Start () {
34     desiredDistance=distance;
35     ObjectiveInitial=center.transform;
36     obj_pos = ObjectiveInitial.position;
37     ObjectiveDesired=obj_pos;
38   }
39
40   void Update () {
41     if (!onlyZoom) update_objective ();
42     update_angles ();
43     if (!onlyZoom) update_transform();
44   }
45
46
47   void update_objective (){
48     if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Mouse2)){
49       Ray CamRay = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
50       RaycastHit floorHit;
51       if (Physics.Raycast (CamRay, out floorHit, camRayLength, 1)) {
52         switchingobjective=true;
53         centered=true;
54         center=floorHit.collider.gameObject;
55       }
56     }
57     if (Input.GetKey(KeyCode.A)){
58       if (centered){
59         centered=false;
60         switchingobjective=false;
61         ObjectiveDesired=obj_pos;
62       }
63       Vector3 desp=new Vector3 (Mathf.Sin(theta*rad),0,-Mathf.Cos(theta*rad));
64       obj_pos+=desp*movementSpeed*Time.fixedDeltaTime;
65     }
66     if (Input.GetKey(KeyCode.D)){
67       if (centered){
68         centered=false;
69         switchingobjective=false;
70         ObjectiveDesired=obj_pos;
71       }
72       Vector3 desp=new Vector3 (-Mathf.Sin(theta*rad),0,Mathf.Cos(theta*rad));
73       obj_pos+=desp*movementSpeed*Time.fixedDeltaTime;
74     }
75     if (Input.GetKey(KeyCode.W)){
76       if (centered){
```

```
77          centered=false;
78          switchingobjective=false;
79          ObjectiveDesired=obj_pos;
80        }
81        Vector3 desp=new Vector3 (-Mathf.Cos(theta*rad),0,-Mathf.Sin(theta*rad));
82        obj_pos+=desp*movementSpeed*Time.fixedDeltaTime;
83      }
84      if (Input.GetKey(KeyCode.S)){
85        if (centered){
86          centered=false;
87          switchingobjective=false;
88          ObjectiveDesired=obj_pos;
89        }
90        Vector3 desp=new Vector3 (Mathf.Cos(theta*rad),0,Mathf.Sin(theta*rad));
91        obj_pos+=desp*movementSpeed*Time.fixedDeltaTime;
92      }
93      if (centered)ObjectiveDesired=center.transform.position;
94      if (switchingobjective){
95        Vector3 error=ObjectiveDesired-obj_pos;
96        obj_pos=Vector3.Lerp(obj_pos, ObjectiveDesired, objectiveSwitchSpeed*Time.fixedDeltaTime
              /(Mathf.Pow (error.magnitude,0.5f)));
97        if (error.magnitude<0.02)switchingobjective=false;
98      }
99      else{
100       if (centered)obj_pos=ObjectiveDesired;
101     }
102   }
103   void update_angles (){
104     desiredDistance = Mathf.Clamp(desiredDistance - Input.GetAxis("Mouse␣ScrollWheel")*
            zoomspeed*Time.fixedDeltaTime, distanceMin, distanceMax);
105     distance=Mathf.Lerp (distance,desiredDistance,10*Time.fixedDeltaTime);
106     size -= zoomspeed*Time.fixedDeltaTime*Input.GetAxis("Mouse␣ScrollWheel");
107     size = Mathf.Clamp(size,1f,100f);
108     Camera.main.orthographicSize=size;
109
110     if (!onlyZoom) {
111             if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Mouse1))
112                 LastMouse = Input.mousePosition;
113             if (Input.GetKey (KeyCode.Mouse1)) {
114                 Vector2 dist = Input.mousePosition;
115                 dist -= LastMouse;
116                 theta -= dist.x * dragSpeed;
117                 phi += dist.y * dragSpeed;
118                 LastMouse = Input.mousePosition;
119             }
120             theta = theta % 360;
121             phi = Mathf.Clamp (phi, 0.05f, 179.95f);
122         }
123   }
124   void update_transform (){
125     Vector3 despl = new Vector3(Mathf.Sin(phi*rad)*Mathf.Cos(theta*rad),
126                                 Mathf.Cos(phi*rad),
127                                 Mathf.Sin(phi*rad)*Mathf.Sin(theta*rad));
128     despl*=distance;
129     transform.position = obj_pos + despl;
130     transform.rotation = Quaternion.LookRotation (-despl);
131   }
132
133 }
```

- `dominoPosition`: Mou les peces de domino mentre les estas col · locant.

```
1  using UnityEngine;
2  using System.Collections;
3
4  public class dominoPosition : MonoBehaviour {
5    public float height;
6    public bool forceApplyer;
7    public bool adding = false;
8    public float speed = 10f;
9
10   private bool shot = false;
11
12   void Start () {
13   }
14
```

```
15    void Update () {
16      if (adding) {
17            Ray camRay = Camera.main.ScreenPointToRay (Input.mousePosition);
18            RaycastHit floorHit;
19
20            if (Physics.Raycast (camRay, out floorHit, 100f, LayerMask.GetMask ("Floor"))) {
21              transform.position = floorHit.point + height*Vector3.up;
22            }
23      }
24
25      if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Mouse0)){
26              adding = false;
27
28      }
29
30      if (forceApplyer && !shot && Time.timeScale==Editor.timescale) {
31        GetComponent<Rigidbody>().velocity = transform.forward * speed;
32      }
33    }
34
35    void OnCollisionEnter (Collision collision){
36      if (forceApplyer && collision.gameObject.tag == "Player") {
37              gameObject.SetActive(false);
38          }
39    }
40  }
```

- `Draw`: Afegeix tota la funcionalitat de dibuixar circuits de domino.

```
1   using UnityEngine;
2   using System.Collections;
3
4   public class Draw : MonoBehaviour {
5     public GameObject canvas;
6     public GameObject dominoPiece;
7     public float distance = 1.5f;
8
9     private bool drawing = false;
10    private Vector3 lastPosition;
11    private bool first = true;
12    private GameObject lastDomino;
13
14    void Start () {
15      canvas.SetActive (false);
16    }
17
18    void Update () {
19      canvas.SetActive (false);
20      if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Mouse0))
21      {
22        drawing = !drawing;
23        first = true;
24        lastPosition = new Vector3(100,100,100);
25      }
26
27      if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Escape) || Input.GetKeyDown (KeyCode.Return))
28      {
29        CameraController.onlyZoom = false;
30        Camera.main.orthographic = false;
31        GetComponent<Editor> ().enabled = true;
32
33        canvas.SetActive (true);
34
35        GetComponent<Draw> ().enabled = false;
36      }
37
38      if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Delete))
39      {
40        GameObject[] pieces = GameObject.FindGameObjectsWithTag ("Player");
41        for (int i = 0; i<pieces.Length; ++i) Destroy (pieces[i]);
42      }
43
44      if (drawing)
45      {
46        Ray camRay = Camera.main.ScreenPointToRay (Input.mousePosition);
47        RaycastHit floorHit;
```

```
48
49        if (Physics.Raycast (camRay, out floorHit, 1000f, LayerMask.GetMask ("Floor")))
50        {
51          if (Vector3.Distance(floorHit.point, lastPosition)>= distance)
52          {
53            if (!first) {
54              lastDomino.transform.rotation = Quaternion.LookRotation(floorHit.point-
                    lastPosition);
55              lastDomino = Instantiate (dominoPiece, lastPosition+(floorHit.point-lastPosition).
                    normalized*distance + 1.2f*dominoPiece.transform.localScale.y*Vector3.up,
                    Quaternion.LookRotation(floorHit.point - lastPosition)) as GameObject;
56              lastPosition = lastPosition+(floorHit.point-lastPosition).normalized*distance;
57            }
58            else {
59              first = false;
60              lastDomino = Instantiate (dominoPiece, floorHit.point + 1.2f*dominoPiece.transform
                    .localScale.y*Vector3.up, Quaternion.LookRotation(Vector3.forward)) as
                    GameObject;
61              lastPosition=floorHit.point;
62            }
63          }
64        }
65      }
66    }
67  }
```

- `Editor`: Permet moure i rotar els objectes ja col · locats.

```
1  using UnityEngine;
2  using System.Collections;
3  using UnityEngine.UI;
4  using System.IO;
5  using System;
6
7  public class Editor : MonoBehaviour {
8
9    public Color selectedColor = Color.red;
10   public GameObject X,Y,Z;
11   public GameObject RX, RY, RZ;
12   public float arrowlength = 10f;
13   public float translateSpeed = 25f;
14   public string mode = "t";
15   public bool relativeRotation = true;
16   public GameObject DominoPiece;
17   public GameObject Force;
18   public GameObject Stair;
19   public string path;
20   public Slider slider;
21   static public float timescale = 2f;
22
23   private GameObject selected;
24   private bool selectedExists;
25   private float camRayLength;
26   private Color lastColor;
27   private bool dragging=false;
28   private GameObject draggingAxis,draggingRotator;
29   private Vector2 LastMouse;
30   private Vector3 toLastMouseR;
31   private string lastMode;
32   private Quaternion RXinitial, RYinitial, RZinitial;
33
34   void Start () {
35     Physics.gravity = 19.6f * Vector3.down;
36     Time.timeScale=0f;
37     selected = Camera.main.GetComponent<CameraController>().center;
38     selectedExists = false;
39     camRayLength = GameObject.FindGameObjectWithTag("MainCamera").GetComponent<
           CameraController>().camRayLength;
40     if (relativeRotation){
41       RXinitial=RX.transform.rotation;
42       RYinitial=RY.transform.rotation;
43       RZinitial=RZ.transform.rotation;
44     }
45     X.SetActive (true); Y.SetActive (true); Z.SetActive (true); RX.SetActive (true); RY.
           SetActive (true); RZ.SetActive (true);
46     X.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color = Color.red;
```

```
47      Y.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color = Color.green;
48      Z.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color = Color.blue;
49      RX.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color = Color.red;
50      RY.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color = Color.green;
51      RZ.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color = Color.blue;
52    }
53
54
55    void Update () {
56      align_tools ();
57      update_mode ();
58      update_selected();
59      align_tools ();
60    }
61
62    void align_tools (){
63      X.SetActive(mode=="t" & selectedExists);
64      Y.SetActive(mode=="t" & selectedExists);
65      Z.SetActive(mode=="t" & selectedExists);
66      RX.SetActive(mode=="r" & selectedExists);
67      RY.SetActive(mode=="r" & selectedExists);
68      RZ.SetActive(mode=="r" & selectedExists);
69      if (selectedExists) {
70        X.transform.position = selected.transform.position;
71        Y.transform.position = selected.transform.position;
72        Z.transform.position = selected.transform.position;
73        RX.transform.position = selected.transform.position;
74        RY.transform.position = selected.transform.position;
75        RZ.transform.position = selected.transform.position;
76        if (relativeRotation){
77          RX.transform.rotation = selected.transform.rotation*RXinitial;
78          RY.transform.rotation = selected.transform.rotation*RYinitial;
79          RZ.transform.rotation = selected.transform.rotation*RZinitial;
80        }
81      }
82    }
83
84    void update_mode (){
85      if (Time.timeScale==0){
86        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.T)){
87          if (mode=="t")mode="-";
88          else if (selectedExists) mode="t";
89        }
90        if (Input.GetKeyDown(KeyCode.R)){
91          if (mode=="r")mode="-";
92          else if (selectedExists) mode="r";
93        }
94      }
95    }
96
97    void update_selected (){
98      if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Delete)) {
99        Destroy (selected);
100       selectedExists = false;
101       mode = "-";
102       Camera.main.GetComponent <CameraController>().centered = false;
103     }
104     if (Input.GetKeyDown (KeyCode.Mouse0)){
105       Ray CamRay = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
106       RaycastHit floorHit;
107       if (Physics.Raycast (CamRay, out floorHit, camRayLength, 1)) {
108         if (floorHit.collider.gameObject.CompareTag("Axis")){
109           LastMouse = Input.mousePosition;
110           dragging = true;
111           char auxc = floorHit.collider.gameObject.name[0];
112           if (auxc == 'X')draggingAxis = X;
113           if (auxc == 'Y')draggingAxis = Y;
114           if (auxc == 'Z')draggingAxis = Z;
115         }
116         else if (floorHit.collider.gameObject.CompareTag("Rotator")){
117           dragging = true;
118           char auxc = floorHit.collider.gameObject.name[0];
119           if (auxc == 'X')draggingRotator = RX;
120           if (auxc == 'Y')draggingRotator = RY;
121           if (auxc == 'Z')draggingRotator = RZ;
122           Ray MouseRay = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
```

```
123           float t=Vector3.Dot (draggingRotator.transform.position,draggingRotator.transform.
                  forward)-Vector3.Dot (draggingRotator.transform.forward,MouseRay.origin);
124           t=t/Vector3.Dot (draggingRotator.transform.forward,MouseRay.direction);
125           toLastMouseR=MouseRay.origin+t*MouseRay.direction-draggingRotator.transform.position
                  ;
126         }
127         else{
128           if (selectedExists) selected.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color =
                  lastColor;
129           if (floorHit.collider.gameObject.CompareTag("EditorOnly")) selected = floorHit.
                  collider.transform.parent.gameObject;
130           else selected = floorHit.collider.gameObject;
131           lastColor = selected.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color;
132           Renderer[] letsColor = selected.GetComponentsInChildren<Renderer>();
133           for (int i=0; i<letsColor.Length; ++i) letsColor[i].material.color = selectedColor;
134           selectedExists = true;
135         }
136       }
137     }
138     if (Input.GetKeyUp(KeyCode.Mouse0))dragging = false;
139
140     if (Input.GetKey (KeyCode.Mouse0) && dragging && mode=="t"){
141       Vector2 despMouse = Input.mousePosition;
142       despMouse -= LastMouse;
143       LastMouse=Input.mousePosition;
144       Vector2 axisScreenTip = Camera.main.WorldToScreenPoint(draggingAxis.transform.position+
              draggingAxis.transform.up*arrowlength);
145       Vector2 axisScreenBase = Camera.main.WorldToScreenPoint(draggingAxis.transform.position)
              ;
146       Vector2 axisScreen = axisScreenTip-axisScreenBase;
147       float res = Vector2.Dot (despMouse,axisScreen)/Mathf.Pow(axisScreen.magnitude,2);
148       selected.transform.position+=draggingAxis.transform.up*res*translateSpeed;
149     }
150     if (Input.GetKey (KeyCode.Mouse0) && dragging && mode=="r"){
151       Ray MouseRay = Camera.main.ScreenPointToRay(Input.mousePosition);
152       float t=Vector3.Dot (draggingRotator.transform.position,draggingRotator.transform.
              forward)-Vector3.Dot (draggingRotator.transform.forward,MouseRay.origin);
153       t=t/Vector3.Dot (draggingRotator.transform.forward,MouseRay.direction);
154       Vector3 toPos=MouseRay.origin+t*MouseRay.direction-draggingRotator.transform.position;
155       float dAngle = Vector3.Angle(toLastMouseR , toPos);
156       if (Vector3.Dot (draggingRotator.transform.forward,Vector3.Cross (toLastMouseR,toPos))
              <0)dAngle=-dAngle;
157       toLastMouseR=toPos;
158       selected.transform.Rotate(draggingRotator.transform.forward*dAngle,Space.World);
159     }
160   }
161
162   public void PausePlay (){
163     if (Time.timeScale == timescale) {
164             Time.timeScale = 0;
165             GameObject.FindGameObjectWithTag ("Pause").GetComponentInChildren <Text> ().text =
                    "Play";
166             mode = lastMode;
167             loadState();
168         }
169     else {
170             if (selectedExists) selected.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color =
                    lastColor;
171             selectedExists = false;
172             Time.timeScale = timescale;
173             GameObject.FindGameObjectWithTag("Pause").GetComponentInChildren <Text>().text = "
                    Pause";
174             lastMode = mode;
175             mode = "-";
176
177       string aux=path;
178       path="./temp.df";
179       saveState();
180       path=aux;
181     }
182   }
183
184   public void AddD (){
185     if (Time.timeScale == 0) {
186             GameObject piece = (GameObject)Instantiate (DominoPiece, DominoPiece.transform.
                    position, DominoPiece.transform.rotation);
```

```
187             piece.GetComponent<dominoPosition> ().adding = true;
188         }
189
190     }
191
192     public void AddF (){
193       if (Time.timeScale == 0) {
194             GameObject piece = (GameObject)Instantiate (Force, Force.transform.position, Force
                  .transform.rotation);
195             piece.GetComponent<dominoPosition> ().adding = true;
196         selected=piece;
197           }
198     }
199
200     public void AddS (){
201       if (Time.timeScale == 0) {
202         GameObject piece = (GameObject)Instantiate (Stair, Stair.transform.position, Stair.
              transform.rotation);
203         piece.GetComponent<dominoPosition> ().adding = true;
204       }
205     }
206
207     public void LetsDraw (){
208       if (selectedExists) selected.GetComponentInChildren<Renderer>().material.color = lastColor
            ;
209       selectedExists = false;
210       mode = "-";
211       GetComponent<Draw> ().enabled = true;
212       CameraController.onlyZoom = true;
213       Camera.main.orthographic = true;
214       Camera.main.transform.position = new Vector3 (0, 100, 0);
215       Camera.main.transform.rotation = Quaternion.LookRotation (Vector3.down);
216       GetComponent<Editor> ().enabled = false;
217     }
218
219     public void TimeScale (){
220       timescale = slider.value;
221       Time.timeScale = slider.value;
222     }
223
224     public void saveState (){
225       GameObject[] pieces = GameObject.FindGameObjectsWithTag ("Player");
226       string content = pieces.Length.ToString() + Environment.NewLine;
227       for (int i = 0; i<pieces.Length; ++i)
228             content = content + pieces [i].transform.position.x.ToString("F2") +"␣" +
229                 pieces [i].transform.position.z.ToString("F2") + "␣" +
230                 pieces[i].transform.rotation.eulerAngles.y.ToString("F2") + Environment.
                      NewLine;
231       System.IO.File.WriteAllText(path, content);
232     }
233
234     void loadState (){
235       GameObject[] pieces = GameObject.FindGameObjectsWithTag("Player");
236       foreach (GameObject piece in pieces) Destroy (piece,0.0f);
237       selectedExists=false;
238       StreamReader sr = new StreamReader("./temp.df");
239       string fileContents = sr.ReadToEnd();
240       sr.Close();
241
242       string[] lines = fileContents.Split(new char[] {'\n'});
243       for (int i=1; i<lines.Length-1; i++) {
244         string[] vars = lines[i].Split(new char[] {' '});
245         Vector3 newpos= new Vector3 (float.Parse (vars[0]),0.5f,float.Parse(vars[1]));
246         Instantiate (DominoPiece, newpos+ 1.2f*DominoPiece.transform.localScale.y*Vector3.up,
              Quaternion.Euler(0,float.Parse(vars[2]),0));
247       }
248     }
249 }
```

Els scripts que s'han usat a `SimuladorRobot` són:

- `CameraController`: (el mateix que a Main).
- `RobotCreator`: Dibuixa el robot en 3D a partir dels paràmetres públics que se li passin.

```
using UnityEngine;
using System.Collections;

public class RobotCreator : MonoBehaviour {

  public float L1=3f,a=7f,b=10f,L2=2f;
  public Vector3 O;
  public Color Base, arms, forearms, platform;
  public float theta1=60f,theta2=60f,theta3=60f;
  public bool controlled=false;
  public bool calculateWorkspace=true;

  public Vector3 Ocontrolled;
  public bool valid=true;

  private const float rad = 2f*Mathf.PI/360f;
  private LineRenderer[] Lines;
  private int line;
  //plataforma base
  private Vector3 P,D1,D2,D3;
  //braç
  private Vector3 J1,J2,J3;
  //plataforma pinça
  private Vector3 E1,E2,E3;

  void Start () {
    line=0;
    Lines = GetComponentsInChildren <LineRenderer> ();
    for (int i=0; i<Lines.Length; ++i)Lines[i].enabled = false;
  }

  void addLine (Vector3 a, Vector3 b, Color col){
    Lines[line].SetVertexCount(2);
    Lines[line].enabled=true;
    Lines[line].SetColors(col,col);
    Lines[line].SetPosition(0,a);
    Lines[line].SetPosition(1,b);
    line++;
  }
  void addTriangle (Vector3 a, Vector3 b, Vector3 c, Color col){
    Lines[line].SetVertexCount(4);
    Lines[line].enabled=true;
    Lines[line].SetColors(col,col);
    Lines[line].SetPosition(0,a);
    Lines[line].SetPosition(1,b);
    Lines[line].SetPosition(2,c);
    Lines[line].SetPosition(3,a);
    line++;
  }
  void Update () {
    if (controlled)O=Ocontrolled;
    line=0;
    P=transform.position;
    drawBase ();
    drawPlatform();
    setAngles ();
    drawArms ();
    drawForearm();
  }
  public void setAngles (){
    if (calculateWorkspace)O=Ocontrolled;
    float cos60=Mathf.Cos (60*rad);
    float sin60=Mathf.Sin (60*rad);

    float x0,y0,z0;
    x0=O.z-P.z;
    y0=O.y-P.y;
    z0=O.x-P.x;

    float x1,y1,z1;
    x1=x0+L2-L1;
    y1=y0;
    z1=z0;
    theta1=singleAngle (x1,y1,z1,a,b);

    float x2,y2,z2;
```

```
    x2=z0*sin60-x0*cos60+L2-L1;
    y2=y0;
    z2=-z0*cos60-x0*sin60;
    theta2=singleAngle (x2,y2,z2,a,b);

    float x3,y3,z3;
    x3=-z0*sin60-x0*cos60+L2-L1;
    y3=y0;
    z3=-z0*cos60+x0*sin60;
    theta3=singleAngle (x3,y3,z3,a,b);


    valid=(!float.IsNaN(theta1) && !float.IsNaN(theta2) && !float.IsNaN(theta3));
  }
  float singleAngle (float x0, float y0, float z0, float r1, float r2){
    float n = r2 * r2 - r1 * r1 - z0 * z0 - x0 * x0 - y0 * y0;
    float y = -Mathf.Sqrt ((n*n+4*r1*x0*x0)/(4*(x0*x0-y0*y0)));
    int signe=1;
    if ((r2*r2-(y0+r1)*(y0+r1))<(x0*x0+z0*z0) && x0<0)signe = signe * -1;
    float x = Mathf.Sqrt(r1 * r1 - y * y)*signe;
    return -Mathf.Atan2 (y,x)*180/Mathf.PI;
  }
  void drawBase(){
    D1.Set(0,0,L1);
    D1+=P;
    D2.Set(L1*Mathf.Sin(60f*rad),0,-L1*Mathf.Cos(60f*rad));
    D2+=P;
    D3.Set(-L1*Mathf.Sin(60f*rad),0,-L1*Mathf.Cos(60f*rad));
    D3+=P;
    addTriangle (D1,D2,D3, Base);
  }
  void drawArms(){
    J1.Set (0,-a*Mathf.Sin (theta1*rad),a*Mathf.Cos(theta1*rad));
    J1+=D1;
    addLine(D1,J1, arms);
    J2.Set (a*Mathf.Cos(theta2*rad)*Mathf.Sin(60f*rad),-a*Mathf.Sin (theta2*rad),-a*Mathf.Cos
        (60f*rad)*Mathf.Cos(theta2*rad));
    J2+=D2;
    addLine(D2,J2, arms);
    J3.Set (-a*Mathf.Cos(theta3*rad)*Mathf.Sin(60f*rad),-a*Mathf.Sin (theta3*rad),-a*Mathf.Cos
        (60f*rad)*Mathf.Cos(theta3*rad));
    J3+=D3;
    addLine(D3,J3, arms);
  }
  void drawPlatform(){
    E1.Set(0,0,L2);
    E1+=0;
    E2.Set(L2*Mathf.Sin(60f*rad),0,-L2*Mathf.Cos(60f*rad));
    E2+=0;
    E3.Set(-L2*Mathf.Sin(60f*rad),0,-L2*Mathf.Cos(60f*rad));
    E3+=0;
    addTriangle (E1,E2,E3, platform);
  }
  void drawForearm(){
    addLine (J1,E1, forearms);
    addLine (J2,E2, forearms);
    addLine (J3,E3, forearms);
  }
}
```

- `Movements`: Modifica els paràmetres públics del robot per provar moviments determinats.

```
using UnityEngine;
using System.Collections;
using System.IO;
using System;

public class Movements : MonoBehaviour {

  public float height=10f;
  public float radius=20f;
  public float w=3f;
  public RobotCreator robot;
  private float t=0f;
  public string path;

```

```
15    public float rangexz, rangey, steps;
16
17    public void Start(){
18      StartCoroutine(calc());
19    }
20
21    public IEnumerator calc(){
22      if (robot.calculateWorkspace){
23
24        string content="";
25        Transform trans = robot.GetComponentInParent<Transform>();
26
27        for (float dy=0; dy<rangey; dy+=rangey/steps){
28          for (float dx=-rangexz/2; dx<=rangexz/2; dx+=rangexz/steps){
29            for (float dz=-rangexz/2; dz<=rangexz/2; dz+=rangexz/steps){
30              Vector3 d= new Vector3 (dx,-dy, dz);
31              robot.Ocontrolled=trans.position+d;
32              robot.setAngles();
33              if (robot.valid){
34                Vector3 res=robot.Ocontrolled-trans.position;
35                content = content + res.x.ToString("F2") +"␣" +
36                  res.z.ToString("F2") + "␣" +
37                    res.y.ToString("F2") + Environment.NewLine;
38              }
39              yield return new WaitForSeconds(0.000000f);
40            }
41          }
42        }
43
44        System.IO.File.WriteAllText(path, content);
45        robot.calculateWorkspace=false;
46      }
47      yield return new WaitForSeconds(2);
48    }
49
50    void Update () {
51      t+=Time.deltaTime;
52      if ((w*t)>(2*Mathf.PI))t-=2*Mathf.PI/w;
53      if (!robot.calculateWorkspace)robot.Ocontrolled.Set (radius*Mathf.Sin (w*t),height,radius*
          Mathf.Cos (w*t));
54    }
55  }
```