

---

# Proyecto Mecatrónico: Claw machine

---

Carlos Prados Sesmero  
Diego Sánchez Marcos

---

Mecatrónica, 2017-18

---



## Índice

|     |  |    |
|-----|--|----|
| 1.  | Descripción de utilidad por parte del cliente .....    | 3  |
| 2.  | Justificación del diseño.....                          | 3  |
| 3.  | Especificaciones iniciales.....                        | 3  |
| 4.  | Análisis del problema .....                            | 4  |
| 5.  | Análisis del mercado .....                             | 5  |
| 6.  | Búsqueda de soluciones .....                           | 6  |
|     | Generación de la estructura .....                      | 6  |
|     | Movimiento de la Pinza Ejes X e Y: .....               | 7  |
|     | Movimiento en eje Z de la pinza .....                  | 10 |
|     | Solución Hardware para el control del movimiento ..... | 11 |
|     | Solución Software para el control del movimiento ..... | 12 |
| 7.  | Autodesk Inventor.....                                 | 12 |
| 8.  | Primera aproximación del coste del equipo. ....        | 16 |
| 9.  | Generación de la estructura.....                       | 17 |
|     | Base de madera .....                                   | 17 |
|     | Generación de la estructura metálica .....             | 20 |
|     | Movimiento X e Y.....                                  | 24 |
|     | Soporte Pinza + Movimiento Z .....                     | 25 |
|     | Arduino + Joystick.....                                | 29 |
|     | Cableado .....   | 30 |
| 10. | Cálculos. ....   | 33 |
| 11. | Análisis de resultados.....                            | 34 |
| 12. | Presupuesto final.....                                 | 34 |
| 13. | Prototipado rápido .....                               | 35 |
| 14. | Programación. ....                                     | 36 |
| 15. | Localización de puertos.....                           | 40 |
| 16. | Verificación del funcionamiento. ....                  | 41 |
| 17. | Corrección de errores.....                             | 42 |
| 18. | Especificaciones finales. ....                         | 43 |
| 19. | Elaboración del catalogo comercial del equipo. ....    | 44 |
| 20. | Agradecimientos .....                                  | 45 |
|     | Bibliografía .....                                     | 46 |

### **1. Descripción de utilidad por parte del cliente**

El proyecto consiste en diseñar y construir un juego arcade, conocido como juego de garras o merchandiser, encontrado tanto en centros comerciales como en cines, ferias, etc.

El objetivo de esta máquina será a propósito particular, de propósito lúdico, es decir, estará destinado a un entorno familiar y sin objetivo económico, por lo que no será necesaria la incorporación de una ranura para introducir monedas con su correspondiente lógica. El tamaño de la máquina deberá ser lo suficientemente grande como para permitir toda la maquinaria y para optimizar la diversión durante el juego, pero no deberá excederse de tamaño puesto que, como hemos mencionado, estará destinado a un entorno familiar y deberá ocupar lo menos posible.

La máquina podrá ser autónoma (alimentación independiente) o podrá ser mediante alimentación a la red eléctrica, ya decidiremos sobre este tema, teniendo en cuenta los diferentes aparatos eléctricos de los que dispondremos.

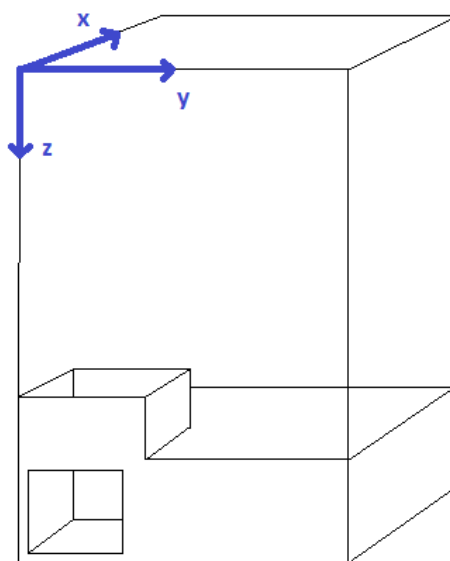
### **2. Justificación del diseño**

El equipo que se pretende diseñar está destinado a la venta en tiendas accesibles por cualquier usuario, con el objetivo de formar parte del colectivo de juegos y juguetes comerciales.

Nuestra máquina será portátil y de un peso relativamente bajo, por lo que podrá ser movido fácilmente, sin ayuda de ninguna máquina auxiliar.

### **3. Especificaciones iniciales**

Para explicar ciertos aspectos debemos definir los ejes de nuestra máquina, los estarán definidos de la siguiente manera:



*Imagen 1: Definición de ejes en nuestra máquina*

Su funcionamiento será básicamente el mismo que las máquinas de la feria (con alguna pequeña variante), es decir, el usuario podrá mover libremente la posición de la pinza hasta llegar a un punto  $(x,y)$  en  $z=0$  durante un tiempo establecido o hasta que el usuario crea conveniente; una vez que el punto donde se encuentra la pinza es el deseado o que el tiempo permitido se ha acabado, el usuario presionará un botón de manera que la pinza comenzará a bajar ( $z$  positiva) hasta que alcance la zona de premios; en ese momento la pinza se cerrará con o sin premio, subiendo la posición de la pinza hasta  $z=0$  y colocándose en un punto  $(x,y)$  correspondiente al dispensador de premios (véase Imagen 1). Una vez que el usuario presiona el botón de bajar la pinza, la máquina realizará sus funciones correspondientes independientemente de las acciones que haga el usuario sobre el joystick o sobre el botón.

La diferencia entre nuestra máquina y las máquinas comerciales tienen su raíz en la no inserción de monedas en nuestro dispositivo, para lo cual deberemos implementar otro mecanismo. Este mecanismo será puramente programado, es decir, mientras la máquina permanece encendida, esta inicializará un nuevo juego cuando el anterior haya terminado.

Para ello dispondremos de un botón de encendido y apagado, lo que conllevará a la alimentación o no de toda nuestra electrónica.

#### **4. Análisis del problema**

En este proyecto nos centraremos en el desarrollo, programación y puesta en marcha de una máquina de gancho mediante Arduino. Todos conocemos estas máquinas de feria que consisten en obtener un premio de entre los que nos ofrece la misma, como pudiera ser la siguiente:



*Figura 2: Claw machine*

Realmente, estas máquinas están programadas para que su gancho o pinza no se cierre con la fuerza suficiente para atrapar ninguno de los premios durante el periodo de tiempo seleccionado por el dueño de la máquina. Dicho dueño también podrá configurar otra serie de parámetros, como podrían ser la habilidad de la caída del gancho (es decir, tras una serie de

intentos por parte del usuario, el gancho tenderá a caer sobre la posición de uno de los premios que el usuario ha estado tratando de coger) y la cantidad de premios entregados (se limita dicho número). Esto quiere decir que la habilidad del usuario no importa, importaría únicamente cómo haya programado el dueño la máquina.

En nuestro proyecto mecatrónico no nos centraremos en la programación estadística de la máquina, que nos daría para un proyecto único y extenso, sino en el funcionamiento principal de la máquina. Nuestra primera idea del proyecto sería la siguiente:

*“Como Unidad de Control funcionará nuestro Arduino, alimentado mediante una o varias pilas, las cuales darán soporte de energía a los diferentes elementos de potencia de la máquina. Para controlar la posición ‘x’ e ‘y’ de la pinza (véase la Figura 2) utilizaremos dos motores paso a paso que moverán una estructura en forma de puente grúa. Para controlar la subida y bajada de la pinza (eje ‘z’) utilizaremos otro motor paso a paso. En el caso del control de la pinza, abrir y cerrar, utilizaremos un servomotor que nos dispondrá de dos posiciones: pinza abierta y pinza cerrada.”*

## 5. Análisis del mercado

Las máquinas comerciales “Claw machine” oscilan entre los 300 y 4000€, dependiendo de su robustez, materiales, tamaño, tecnología, etc. Sin embargo, las máquinas comerciales destinadas al uso particular oscilan entre los 20 y 140€, dependiendo también de diferentes parámetros. Dentro de éstas últimas mostraremos alguna en detalle:



Electronic Claw Machine Candy Grabber Arcade Kids Toy Music Crane

Tamaño pequeño, un joystick para cada movimiento en cada eje, capacidad para introducir monedas (tamaño único).

60.98€



Toy crane/claw machine. Alarm clock Table Watch Digital Slot Electronic Free Shi.

Tamaño muy pequeño, un solo joystick para los movimientos en x e y. Botón para bajar la pinza. Pantalla que muestra el tiempo restante para finalizar el juego.

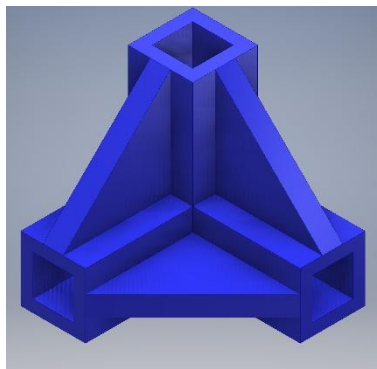
33.80€

## 6. Búsqueda de soluciones

Para comenzar se comentarán el conjunto de soluciones adoptado para los diferentes problemas surgidos a la hora de llevar a cabo el proyecto, así como las diferentes posibles soluciones en orden cronológico y un pequeño comentario de porque se descartaron.

### Generación de la estructura

Como primera idea se planteó la generación de un cubo mediante técnicas de impresión 3D y tubos de aluminio, de esta forma se generaría una estructura sólida y mediante una única pieza modelada en 3D y replicada para cada esquina del cubo se podría crear nuestra estructura.



Introduciendo los tubos de forma que impidan el desplazamiento de estos se formaría un cubo que sería tomado como base para nuestra estructura, acoplándole las planchas de madera.

Se descarto debido a que a la hora de realizar las uniones podrían no ser lo suficientemente sólidas si no se incrementa el tamaño de la pieza diseñada para la unión y debido a que no se disponían de los tubos con la forma deseada y que en la parte superior de la estructura se necesitarían cuatro tubos extra para que funcionasen de guías para el puente móvil.

Al generar las piezas en 3D cuando queramos generar la parte cerrada de la estructura tendremos problemas ya que deberíamos o bien hacer la forma de las piezas en la madera o bien anclarlas a las piezas, tendiendo que modificar estas para poder acoplarlas a nuestro diseño.

Como alternativa se planteó la utilización de maderas y tubos acoplados mediante tornillos, lo cual reduciría el coste y también el tiempo de diseño puesto que es mucho más sencillo realizarlo “insitu” en lugar de tener que diseñar las dimensiones de cada pieza con sus respectivas características.

La parte inferior del proyecto estaría fabricada con placas de madera para realizar la caja donde irán alojados los componentes electrónicos, esta zona servirá como base para la estructura de metal que estará compuesta por los tubos que elevarán la estructura que soportará los carriles por donde se deslizarán los puentes para su correcto funcionamiento.

## Movimiento de la Pinza Ejes X e Y:

### - 1 Varilla roscada + 2 Motores de corriente continua:

Fue la primera opción ya que en principio parecía la más simple puesto que con dos varillas roscadas para los ejes x e y se pretendía realizar el movimiento guiando por un conjunto de tuercas.

#### Ventajas

- Sencillez del mecanismo.
- Como no se pretendía realizar control alguno sobre los motores esto incrementaría la dificultad de juego de forma similar al modelo real.
- Bastante económico

#### Inconvenientes

- Ajustar los ejes de los motores a la varilla roscada, ya que al tener esta un paso muy pequeño no era viable aplicar una reductora, ya que reduciría mucho la velocidad de avance de la pinza en gran medida.

### - 2 Varillas roscada + Motores de paso a paso:

La opción surgió como alternativa para poder conectar los ejes de los motores a la varilla ya que era una dificultad prácticamente insalvable, ya que venden acopladores para los ejes de los paso a paso a varilla roscada.

La idea continuó cambiando puesto que la varilla roscada tenía un paso muy pequeño y se propuso cambiarlas por las utilizadas en los ejes z de las impresoras 3d ya que estas tenían un paso mucho mayor y el paso a paso no tendría que girar tan deprisa para alcanzar una velocidad de desplazamiento aceptable.

#### Ventajas

- Sencillez del mecanismo.
- Mayor control sobre la posición final de la pinza
- Muy robusto

#### Inconvenientes

- Aunque hallamos cambiado el paso de la varilla puede que todavía no sea lo suficiente rápido
- Más caro que el anterior

### - 3 correas + 3 Motores de paso a paso:

Para tratar de solucionar el problema de la velocidad del carrito se cambió la varilla roscada por correas, de esta forma ganamos en velocidad, aunque perdemos un poco en precisión, siendo esto asumible ya que como se pretendía en un principio para añadir dificultad al juego.

Al aumentar la velocidad del movimiento de la pinza era posible que al tirar solo de uno de los extremos en el puente grúa el otro extremo se retrasase o torciese aumentando el rozamiento y dificultado su correcto funcionamiento.



Por lo que se optó por montar dos correas a cada lado del puente para asegurar que el movimiento era fluido y sin limitaciones.

#### Ventajas

- Movimiento rápido
- Robusto
- más barato

#### Inconvenientes

- ligeramente menos preciso
- necesidad de tener 3 correas y acoplar los cierres de las correas a las piezas móviles del puente grúa y del carrito (posibles torceduras del puente grúa)

#### **- 1 correa + 2 Motores de paso a paso:**

En un principio fue descartada debido a que presentaba mayor complejidad, pero comparándolo con el resto de opciones es la mejor puesto que aunque creamos más problemas solucionamos otros de forma elegante y funcional.

Puesto que al utilizar una única correa el movimiento estará ligado a la variación de la longitud de correa con un eje, para poder variarla utilizando únicamente dos motores controlados de forma simultánea; ya que para movernos en un eje será necesario el movimiento de los dos motores, lo cual nos interesa ya que de esta forma estamos repartiendo la carga de forma más uniforme.

Evitamos el problema del arrastre del carril ya que cuando teníamos un motor por eje existía la posibilidad que el otro extremo del carril fuera arrastrado en lugar de conducido, dando lugar a rozamientos indeseados e incluso llegar a impedir el correcto funcionamiento del proyecto como tal.

Con este sistema los empujes y tracciones se realizan desde la plataforma que transporta la pinza de forma que impide que los carriles se puedan torcer.

Para poder llevar a cabo el movimiento de forma correcta es necesario que existan dos motores, un punto móvil que permita el movimiento de la correa libremente y un punto fijo que será utilizado como final de la correa.

#### Ventajas

- Movimiento rápido
- Robusto
- más barato
- montaje de una única correa
- movimiento fluido y armónico
- sin problemas de torceduras de los puentes

#### Inconvenientes

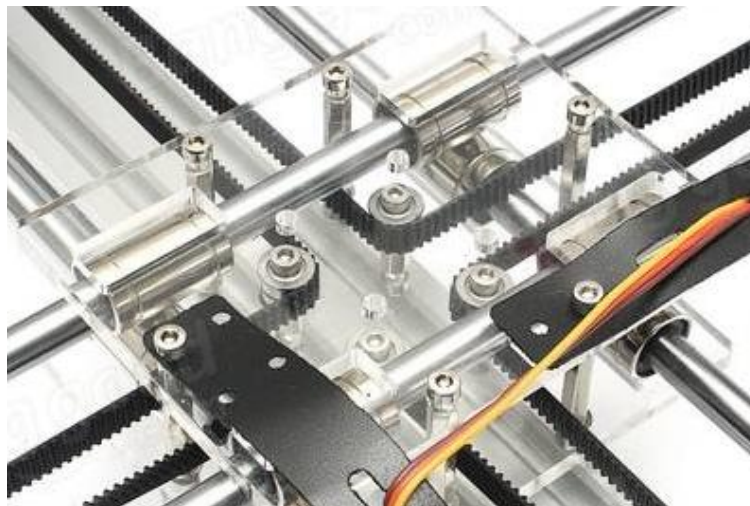
- mayor complejidad a la hora del desarrollo de la estructura portadora de la pinza.

Para poder llegar a la idea final que vamos a utilizar en nuestro proyecto primero nos fijamos en el mecanismo de funcionamiento de la DrawingMachine. La máquina utiliza además de un controlador cnc shield y un Arduino UNO al igual que se pretende para nuestro proyecto.



Como se aprecia en la imagen el movimiento de los ejes es generado por una única correa y dos paso a paso que generan el movimiento relativo al punto móvil y al punto fijo, que están situados donde se acopla el bolígrafo y el opuesto respectivamente.

Otra de las claves del movimiento esta en la parte central ya que está compuesta por cuatro ejes libres que permiten el movimiento de la correa libremente.



Como se puede apreciar en la imagen la correa recorre los cuatro ejes dando así una posible ilusión de que existen dos correas distintas una para cada eje el lugar de una que recorre los cuatro caminos de ida y vuelta.

Aun así, nuestro diseño no será del todo como la DrawMachine puesto que la pinza no ira en voladizo, sino que estará situada en la zona de cruce de correas donde incluiremos otro motor paso a paso este será el encargado de realizar el movimiento de subida y bajada de la pinza.

No se consideró como una opción viable colocar la pinza en voladizo ya que esto implicaría que el momento en el eje en la situación más crítica podría provocar que el conjunto de partes móviles colapsase.

El punto idóneo para colocar la pinza es donde se cruzan los dos ejes puesto que de esta forma logramos mayor estabilidad en los movimientos de subida y bajada de la pinza, sencillez puesto que si se situara en otro punto sería necesario generar una estructura para sujetar el motor y estético ya que la pinza estará siempre en el cruce de los ejes.

Será necesario realizar algunas modificaciones con respecto al diseño original de la DrawMachine ya que los ejes vienen dados por carriles de perfil u y el desplazamiento por estos se realiza mediante rodamientos.

Al colocar la pinza en el cruce de la correa nos obliga a permitir que los motores también se desplacen de esta forma el eje que contiene los dos motores se desplazará en sentido perpendicular al puente, y el puente que no tiene los motores que en la DrawMachine tiene permitido el movimiento en movimiento en los dos puentes vamos a restringir el perpendicular al puente, de esta forma conseguimos que los dos ejes que contiene los motores y el que no se muevan de forma simultánea si fuera necesario o independiente cuando el movimiento sea lineal.

Resumiendo, nuestro sistema tiene dos puentes grúa, en la intersección de ambos estará situada la estructura que permite el movimiento y que soporta la pinza, un puente contiene los dos motores y el otro puente tiene un eje fijo y otro móvil por donde será guiada la correa.

### Movimiento en eje Z de la pinza

El movimiento de subir y bajar la pinza no se contemplaron tantas opciones puesto que como primera idea surgió moverla mediante un motor paso a paso en cuyo eje tuviera una especie de recogedor de cable con una forma similar a dos conos enfrentados.

Una cuerda o hilo sería el encargado de sujetar el peso de la pinza. Cuando se pretenda realizar el movimiento de subida y bajada de pinza se girará el paso a paso en un sentido y soltará cuerda que permitiendo que descienda la pinza, después se accionarán los pines necesarios para abrir la pinza. Una vez la pinza este en posición se invertirá el sentido del motor de la pinza y el del paso a paso para obtener el premio.

Por lo que se necesitará un cable que permita descender la pinza de forma que soporte todo el peso y un mecanismo que permita alojar el cable, que será generada mediante impresora 3D, además del cable encargado de soportar el peso de la pinza será necesarios dos cables a mayores que serán los encargados de proporcionar la tensión para abrir y cerrar la pinza, estos cables no pueden ir enrollados, ya que si lo fueran se retorcerían de forma reiterada provocando su desgaste y posible rotura provocando la caída de la pinza y posibles daños mayores.

Para poder saber cuándo parar se instalará un final de carrera de forma que cuando la pinza llegue al final este se activará dando la señal para que no se produzcan más pulsos.

Otra posible solución pasaría por utilizar un sistema con una polea móvil en la pinza de esta forma conseguiríamos mover el mas peso con el paso a paso, pero esto se ha descartado ya que el peso que tendrá que mover no será muy grande, pero si el sistema fuera más grande y movilizara cargas mayores seria una forma de aumentar el peso útil que podría desplazar con un mismo motor, aunque se aumentaría el tiempo necesario para subir la carga, no se ha desarrollado porque aumentaría el tiempo de desarrollo del proyecto.

## Solución Hardware para el control del movimiento

Se comentarán las posibles opciones de cara al control de movimiento en la parte correspondiente al hardware.

Generación de un circuito impreso e implantación de los componentes en una placa de forma que mediante un microcontrolador y transistores podamos controlar de forma directa los motores, se descartó, ya que incrementaría enormemente el tiempo de desarrollo.

Utilización de un microcontrolador con una tarjeta de expansión específica, también es usada para la DrawMachine lo cual la hace una solución totalmente válida.

Para la primera solución del movimiento de los ejes con motores de continua se pretendía utilizar un módulo de expansión de SparkFun para controlar motores de corriente continua, esto nos permitía tener disponibles salidas para los finales de carrera, pero como la opción con los motores de corriente continua quedo descartada nos vimos obligados a cambiar de modulo.

Para el resto de ideas incluida la final utilizaremos el módulo cncshield que es el que también se utiliza en algunas DrawMachine, de esta forma podemos controlar hasta 4 cuatro motores paso a paso, como solo necesitamos control para 3 motores, podemos utilizar las entradas del cuarto motor para entradas de control de la posición mediante finales de carrera.

Al utilizar Arduino existen un conjunto grande de beneficios ya que como no ocupa mucho tamaño podremos alojarlo en la parte inferior de nuestra estructura de forma que quede oculto a la vista, pero integrado en la propia estructura. Otra gran ventaja es la existencia de una gran bibliografía de consulta accesible, además de un lenguaje de programación relativamente sencillo.

El control de la pinza por parte del usuario se realizará mediante un joystick que incorporará un botón para el movimiento del conjunto, con el joystick controlaremos el posicionamiento de la pinza con los ejes X e Y, el eje Z vendrá definido por el boton, que cuando se pulsen desencadenarán los movimientos de bajar la pinza, abrir la pinza, cerrar, subir y sacar el premio.

Para el movimiento de abrir y cerrar la pinza se ejecutará el control mediante software ya que introducir finales de carrera en la pinza incrementaría el número de cables necesarios puesto que necesitaríamos al menos un cable por cada final de carrera y otro más que utilizaríamos como común lo cual incrementa el número de cables que tendrían que bajar a la pinza de esta

de forma innecesaria, además de que no existe una posición idónea donde se puedan alojar los finales de carrera.

Como posiblemente la utilización de un Arduino UNO para nuestro proyecto podría ser insuficiente ya que al utilizar el cnc Sheild gastamos un gran numero de pines en controlar lo motores paso a paso dejando pines insuficientes para el control de la pinza.

Se optó por utilizar un Arduino MEGA ya que este tiene un mayor número de entradas y podemos acoplar el Sheild y continuar teniendo pines suficientes para el resto de la lógica.

### **Solución Software para el control del movimiento**

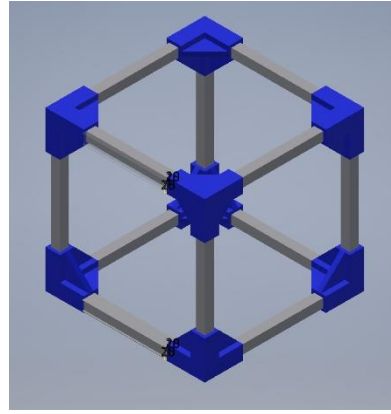
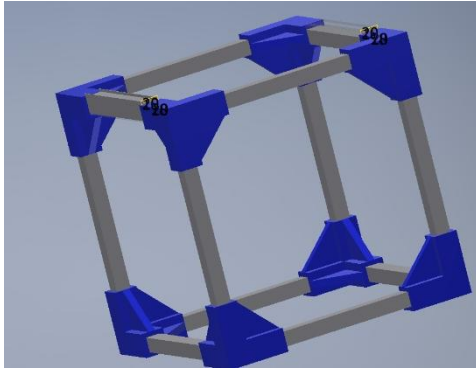
Como primera opción se optó por generar los pulsos de control para los motores paso a paso mediante una función que generase un pulso cada vez que fuera llamada, por lo que se debería de llamar cada determinado tiempo si quisiéramos obtener una velocidad constante, tras varias pruebas usando los motores sin estar situados en la maquina se observo que no era un método muy deseable ya que producía vibraciones en los motores, lo cual no nos interesaba, ya que se al estar situados en la parte más alta de la estructura es la menos estable luego las vibraciones pueden incrementarse con el montaje. Además existe el problema añadido de que para controlar de forma adecuada más de un motor los pulsos al no darse de forma simultánea provoca la disminución de la velocidad con cada motor que necesitemos controlar.

Como el movimiento de los motores deseamos que sea lo más fluido y preciso posible nos vemos obligados a mover de forma simultánea los dos motores, para ello usaremos librerías específicas para el control de varios motores paso a paso. Las librerías a utilizar son: "BasicStepperDriver.h", "MultiDriver.h" y "SyncDriver.h"

Cada vez que leamos una variación en las variables, se comprobará si se ha modificado comparado con los valores medios si estos son distintos entonces generaremos un nuevo movimiento, mediante las librerías de Arduino. El conjunto de librerías nos permite controlar de forma más exacta y cómoda los motores paso a paso, ya que únicamente tendremos que especificar dos parámetros globales a la hora de declarar las librerías, estos son el número de pasos que necesita un motor para dar una vuelta completa y la velocidad a la que queremos que se mueva nuestro motor. Cada vez que llamemos a la función tendremos que especificar el número de pasos que queremos que de nuestro motor y el sentido de giro. Además con la librería "MultiDriver.h", podemos controlar los 3 motores de forma simultánea.

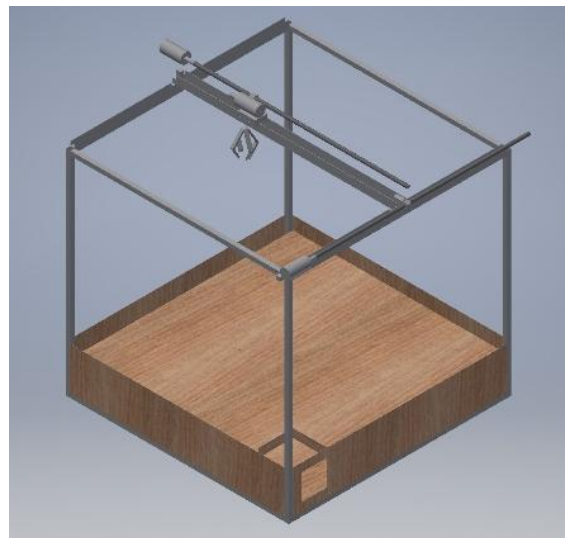
## **7. Autodesk Inventor**

Como primera idea para el diseño de la caja se tomó la posibilidad de generar un cubo al que se le añadirían elementos tal como carriles, maderas para realizar el cajón, demás elementos para su correcto funcionamiento, para realizar el cubo se optó por la generación de piezas impresas en 3D que permitieran unir las 3 barras de forma que se generase un cubo perfecto.



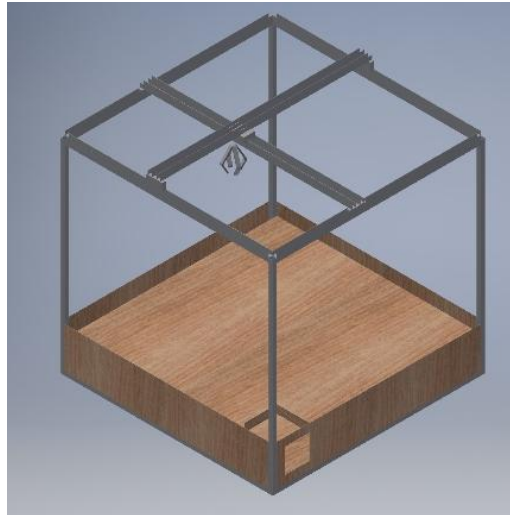
Se generó un modelo con la idea con los motores de corriente continua y con las varillas roscadas fue la usada en la primera exposición en grupo, en el modelo se tuvieron en cuenta los materiales que ya disponíamos y como se iba a realizar el resto del proyecto, también la parte inferior de la estructura de madera para alojar la parte electrónica y aportar le solidez al proyecto, sujetando y dando las vigas que llevan toda la parte de las guías con los puentes.

Se añadió como detalle la pinza únicamente para mostrar cómo quedaría ya que no influye para nada en el funcionamiento, también las chapas que tienen acabado en madera, así como el roscado de la varilla, los motores y las tuercas que todo en conjunto aporta mayor realismo al diseño facilitando así su interpretación.



Los agujeros presentes en los listones de madera están ideados de forma que cuando se obtenga un premio se pueda extraer fácilmente.

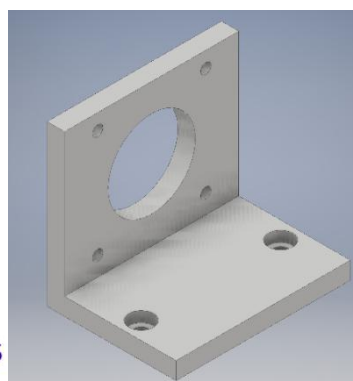
Para el segundo modelo se tuvo en cuenta los cambios realizados en cuanto al modelo de tal forma que se utilizó el modelo anterior añadiendo ciertas modificaciones para adaptarlo a nuestra ultima versión de diseño, añadiendo un puente más y reemplazando los motores de corriente continua por motores paso a paso y el sistema para transmitir el movimiento una correa en lugar de varillas roscadas.



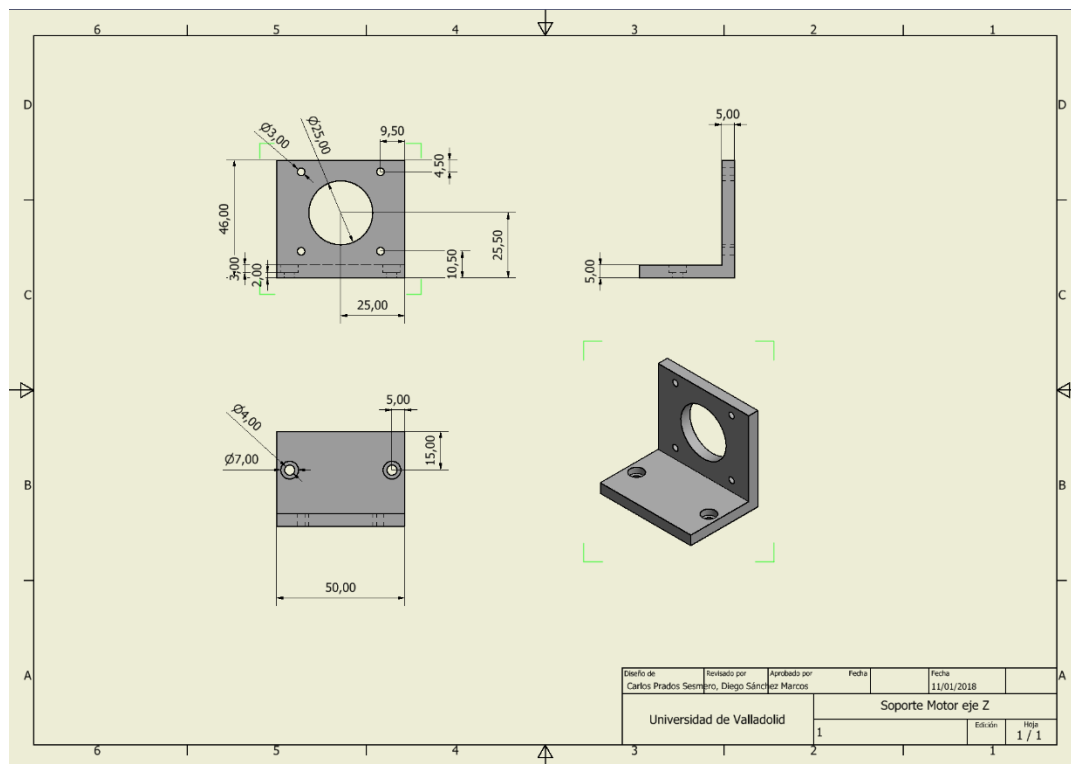
En este diseño únicamente se ha optado por eliminar los elementos pertenecientes al modelo anterior y añadir el puente. No se han incorporado los motores paso a paso y el sistema de transmisión del movimiento puesto que se consideraba que podrían provocar mayor confusión a la hora de interpretar el modelo.

Para la generación del ultimo modelo en el movimiento para el eje Z presenta ciertas dificultades mecánicas por lo que se ha decidido generar 2 piezas en 3D para su posterior utilización en el proyecto.

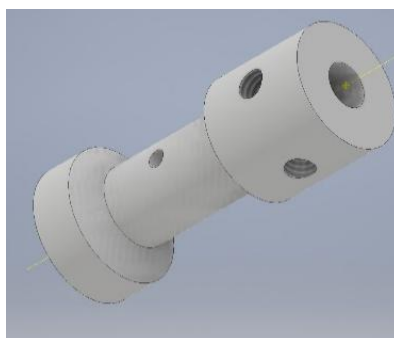
La primera pieza consiste en un soporte para el motor paso a paso de tal forma que se acople a estructura superior modificando esta lo menor posible, por lo que se optado por una pieza en forma de L con un agujero para salvar así la parte saliente del motor y permitir que los tornillos queden pegados y sujetos a la estructura de forma que el motor no se pueda mover, para la fijación al carrito se ha realizado un agujero con avellanado para alojar la tuerca que esta presente para alojar el eje, de tal forma que sea lo suficientemente alta para que no sobresalgan las tuercas con los tornillos.



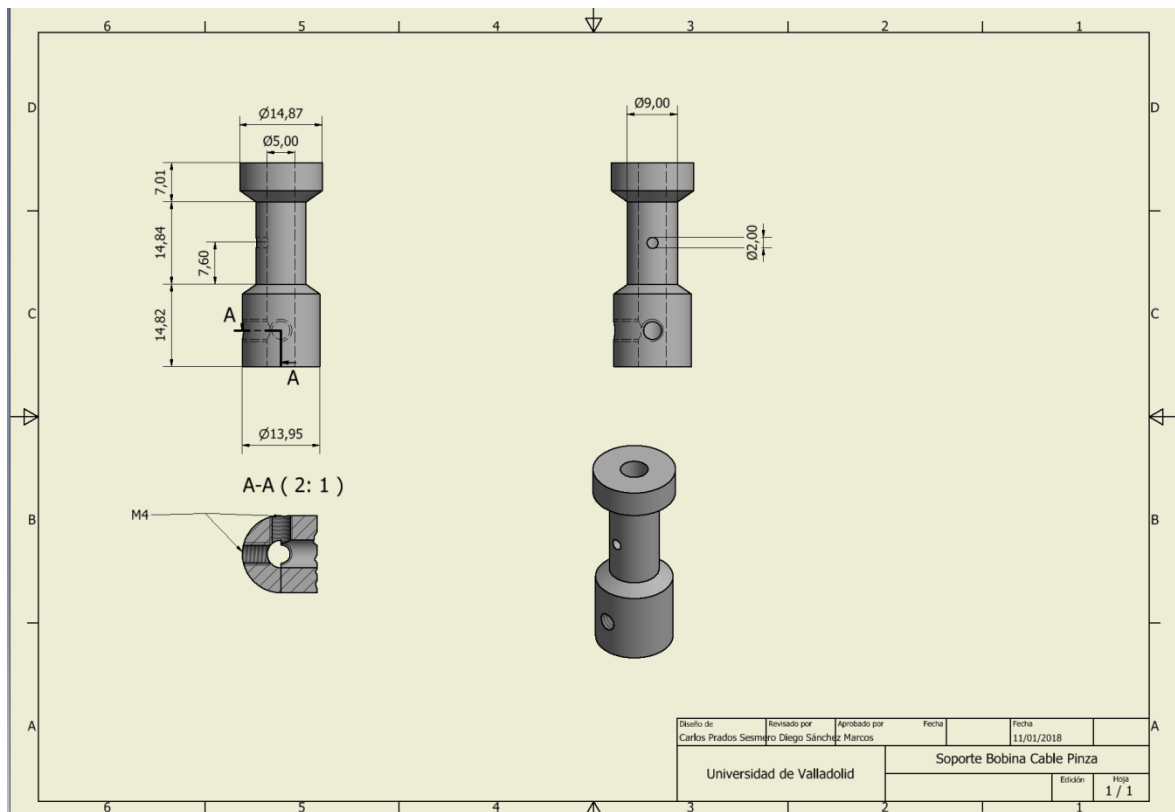




La otra pieza también se utiliza para generar el movimiento en el eje Z esta pieza permite enrollar el cable desde el cual colgará la pinza de forma que permanecerá enrollado, en los límites de la bobina, mediante un cilindro y dos troncos de conos en los extremos generaremos la pieza, para asegurar la perfecta sujeción del cable y en el centro del cilindro existirá un agujero para facilitar el fijado del cable, el cilindro será hueco por dentro ya que es necesario introducirlo en el eje del paso a paso. El cono que será el encardado de fijarse al eje del motor tendrá una parte más ancha para asegurar que se utiliza todo el recorrido posible del eje como apoyo, también cuenta con dos orificios para introducir tornillos para asegurar la perfecta fijación del eje e impedir posibles deslizamientos indeseados.







La pieza fue modificada en la inclinación de los conos ya que estos para su correcta impresión necesitaban de una gran cantidad de puentes auxiliares para soportar la estructura, al cambiar el ángulo de estos se permitió imprimir la pieza con la forma deseada.

## 8. Primera aproximación del coste del equipo.

Como primera aproximación del coste del equipo hemos tenido en cuenta todo lo que teníamos pensado gastar para el desarrollo del proyecto, puesto que en un inicio la idea no correspondía con la idea final adoptada, hay bastantes componentes que varían. La primera aproximación es la siguiente:

| Artículo                             | Descripción  | Precio unitario (€) | Cantidad | Precio       |
|--------------------------------------|--|---------------------|----------|--------------|
| Taco Fischer N-7 Nylon               | Taco de unión con encaje de tornillo                                 | 0,07                | 8        | 0,56         |
| Tuercas 8mm                          | Tuerca que encaja en la varilla roscada                              | 0,08                | 8        | 0,64         |
| Tornillos Spax-S 5,0                 | Tornillo de unión  | 0,10375             | 8        | 0,83         |
| Final de carrera                     | Detector de posición final e inicial de la pinza                     | 0,3                 | 6        | 1,80         |
| Varilla roscada 8mm                  | Varilla roscada conectada al motor (1m)                              | 1,36                | 1        | 1,36         |
| Rueda C/Rodamiento metálico          | Rueda con rodamiento para el desplazamiento del puente grúa          | 1,7                 | 8        | 13,60        |
| Montack Ceys Express Blist           | Pegamento extrafuerte para diferentes materiales                     | 4,4                 | 1        | 4,40         |
| Tubos huecos cuadrados               | Tubos cuadrados huecos con dimensiones (2,56m)                       | 6,1                 | 1        | 6,10         |
| Perfil U aluminio 19x10x1            | Perfil U que sostendrá el puente grúa (2,56m)                        | 6,25                | 1        | 6,25         |
| Perfil U aluminio resistente 20x20x1 | Perfil U que dará soporte a la estructura (2,56m)                    | 6,75                | 1        | 6,75         |
| Aglomerado DM 4mm                    | Aglomerado de madera del soporte y contenedor de circuitería (en m2) | 10,1714             | 0,7      | 7,12         |
| Motor CC                             | Motor CC   | 0,8                 | 2        | 1,60         |
| Motor paso                           | Motor paso a paso  | 1,85                | 1        | 1,85         |
| Pinza mecánica                       | Pinza mecánica con capacidad de apertura y cierre                    | 2,25                | 1        | 2,25         |
| Pulsador                             |  | 0,25                | 1        | 0,25         |
| Joystick Arduino                     |  | 3,5                 | 1        | 3,50         |
| <b>TOTAL</b>                         |  |                     |          | <b>58,86</b> |

Obteniendo que la estimación del gasto iba a ser de 58.86€, teniendo en cuenta que todo está referido a compras al por menor.

## 9. Generación de la estructura

### Base de madera

Haciendo referencia a la *Imagen 1* nos damos cuenta de que nuestra máquina tendrá una parte inferior, con su correspondiente orificio de salida de premios. Esta parte inferior funcionará como soporte de toda la estructura (será su base) y como contenedor de toda la electrónica de control. Para ello estará formado por un aglomerado de madera de 4mm de espesor (aislante, resistente y robusto). Tendrá unas dimensiones de 500x500x100mm.

Para realizar esta base de madera contaremos con una chapa de madera de 500x500mm que nos servirá de base. Para dar más consistencia al bloque hemos decidido colocar tacos de madera de 30x40x100mm en las esquinas de la madera, de tal manera que la unión con las paredes sea más rígida y consistente. La unión la hemos realizado con cola blanca y nos hemos ayudado mediante gatos para la sujeción y correcta colocación como se observa en la siguiente imagen:



Uno de los tacos tendrá un vértice cortado debido a una mejor presentación de la ranura de salida de premios.

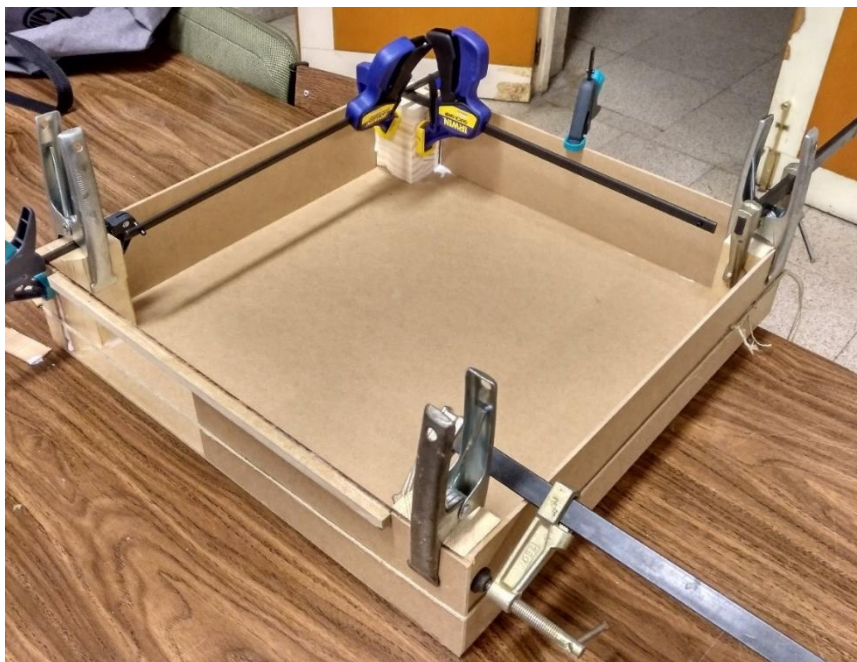
Posteriormente hemos pasado a acondicionar las paredes del cubo, las cuales tienen unas dimensiones de 500x100. Dos de ellas deberemos de reducirles en dos veces el grosor de dichas planchas de madera, para un correcto encuadre. A una de ella la deberemos realizar un cuadrado para la ranura de premios. Una vez realizado dicho corte hemos decidido colocarle un apoyo localizado entre los tacos para una mayor resistencia (debido a la pérdida de resistencia por pérdida en superficie). Para ello lo hemos pegado con cola como se muestra en la siguiente imagen:



Una vez hecho esto y aprovechando el viaje a la carpintería de la Escuela (lugar donde hemos realizado los cortes y los tacos) hemos realizado un corte de sección cuadrada en la plancha de madera de arriba, la cual será el lugar por el que se introducen los regalos, obteniendo el siguiente resultado:



Una vez pegados los tacos procedemos a pegar los listones que servirán para darle forma a la caja donde ira alojada toda la electrónica de forma que quedará oculta dándole un mayor aspecto de unificación al proyecto.

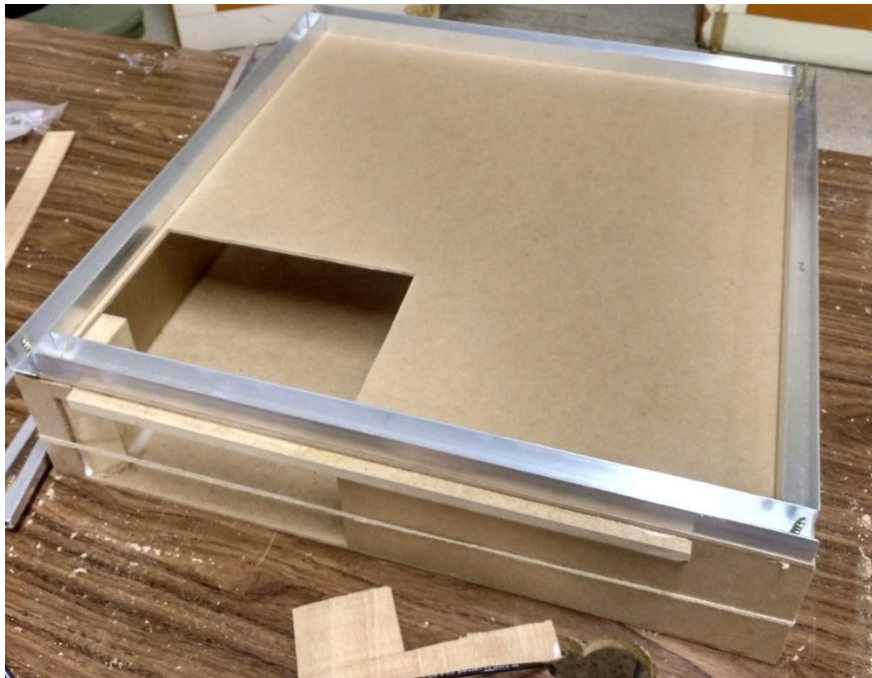


Hemos usado gatos y sargentos para fijar las paredes a los listones además de cola blanca para realizar las uniones como se puede ver en la imagen también se usó una cuerda de forma que añadiera algo de presión en la parte media baja de los listones de madera, para asegurarnos de que se ejercía presión a lo largo de todos los listones quedan en ángulos rectos tal y como se pretendía.

Una vez estaban prácticamente pegados los listones continuamos con el desarrollo del proyecto mecanizando la tapa de arriba y los soportes para la estructura de abajo, de forma que la “tapa superior” es posible retirarla para facilitar el montaje de los componentes electrónicos y podrá ser colocada ya para el diseño final.

### Generación de la estructura metálica

Una vez completada la base de madera procedemos a montar encima los perfiles que soportarán la estructura y le darán la rigidez inicial.



Con dos agujeros pasantes hacia los tacos nos aseguramos que no se moverán los perfiles ya que estos son los encargados de dar forma al resto de la estructura, para unir las vigas que elevan la estructura se utilizarán los tornillos salientes que se ven en la imagen, a continuación procedernos a explicar como vamos a realizar dicha unión.

Sobre la base de madera deberemos colocar 4 pilares verticales (varillas de sección cuadrada) sobre los cuales se encontrará el puente grúa. Para la correcta unión base/pilares hemos decidido colocar 4 varas de aluminio perfil U 20x20x1. La primera idea de unión base/varas perfil U era mediante un pegamento extrafuerte (Montack Ceys Express Blist) mientras que la unión varas perfil U/varillas sección cuadrada será mediante una unión taco/tornillo. Finalmente se optó por que ambas uniones sean mediante taco/tornillo para aportar una mayor rigidez. Las varas de perfil U definidas anteriormente tendrán el siguiente aspecto:





Estas varas de perfil U 20x20x1 tienen una longitud de 0.64m, las cuales debemos cortar para que tengan las dimensiones propias de la caja de madera (base). Para ello deben tener una longitud igual a:

$$L = L_{CAJA} - L_{VARA} = 500 - 20 = 480\text{mm}$$

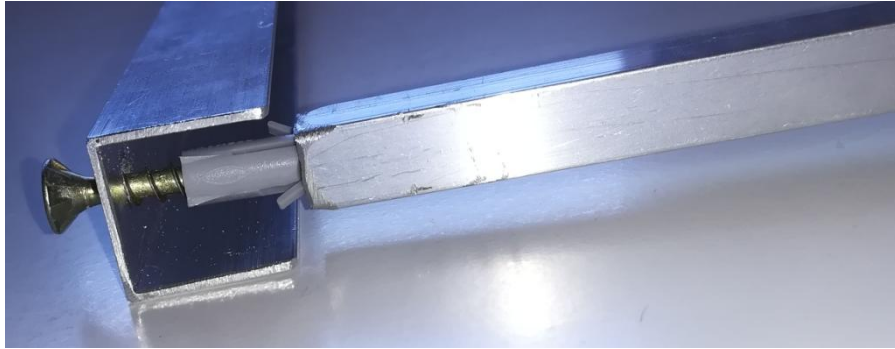
Una vez cortadas con la ayuda de un serrucho, realizaremos los agujeros para los tornillos. Para ello utilizaremos un taladro de las dimensiones del tornillo. Obteniendo el siguiente resultado:



Para un mejor acople del tornillo hemos decidido aplicarle al taladro unas pequeñas reseñas de sección hexagonal para que dicho tornillo encaje de una manera más eficiente, obteniendo el siguiente acabado:



Una vez hecho esto deberemos acoplar a nuestras varas de perfil U, los pilares verticales (varillas de aluminio de perfil cuadrado), para ello lo realizaremos de la siguiente manera:



Donde se observa el tornillo y el taco.

De forma similar utilizaremos en la zona superior para unir los dos carriles donde irán las guías que permitirán el movimiento del puente.

Una vez realizados los taladros necesarios para avellanar donde irán alojadas las cabezas de los tornillos procedemos al montaje de la estructura completa siguiendo con la idea de la utilización del tornillo + taco para fijar las barras a la estructura de tal forma que el resultado obtenido es el siguiente.



Se ha utilizado un tornillo un poco más largo en la parte de arriba para permita unir los dos tubos de forma que queden los cuatro paralelos y a la misma altura los carriles paralelos, también nos permite generar un tope de forma simple para evitar que se salgan los puentes de los carriles.



Los carriles son los encargados de aportar la rigidez final a la estructura y evitar que la estructura se mueva y convierta en inestable pudiendo provocar su mal funcionamiento, se comprobó una vez realizado el montaje que es estable y rígida.

En algunos de los carriles se ha producido una deformación del carril debido al exceso de fuerza a la hora de apretar los tornillos esto no es preocupante salvo desde el punto de vista estético ya que no afecta para nada a la parte del carril interior.

Para reforzar la estructura inferior se decidió colocar un listón a mayores que permitirá que la parte superior no se conve cuando tenga que soportar los posibles premios ya que estos podrian ser en su conjunto pesados y acabar convando la estructura ya que no es muy resistente.





## Movimiento X e Y

Una vez formados los carriles de arriba podemos comenzar a realizar los puentes que se deslizarán por los carriles.

Para el puente en el que están situados los paso a paso vamos a utilizar 2 carriles que permitirán el desplazamiento de la plataforma y así es mucho más estable y podemos colocar el eje del motor en el centro, acoplaremos también rodamientos para el desplazamiento del carril de tal forma que el resultado será un puente que se desliza con los dos paso a paso.



En los motores paso a paso se tuvo que añadir una tuerca al montaje de los tornillos para salvar así el saliente que presenta el paso a paso alrededor del eje, lo cual nos produce que perdamos recorrido del eje del paso a paso.

El otro lado del carril tendremos una estructura simétrica, cabe destacar que a la hora de colocar los rodamientos es muy importante asegurar de que están colocados en perpendicular con el carril puesto que al tener un solo tornillo que lo soporta es posible que no estén rectos, esto es para que este no se desvíe a la hora de avanzar, ya que esto produciría un rozamiento indeseado sobre el carril y se provocaría un esfuerzo innecesario en los motores.

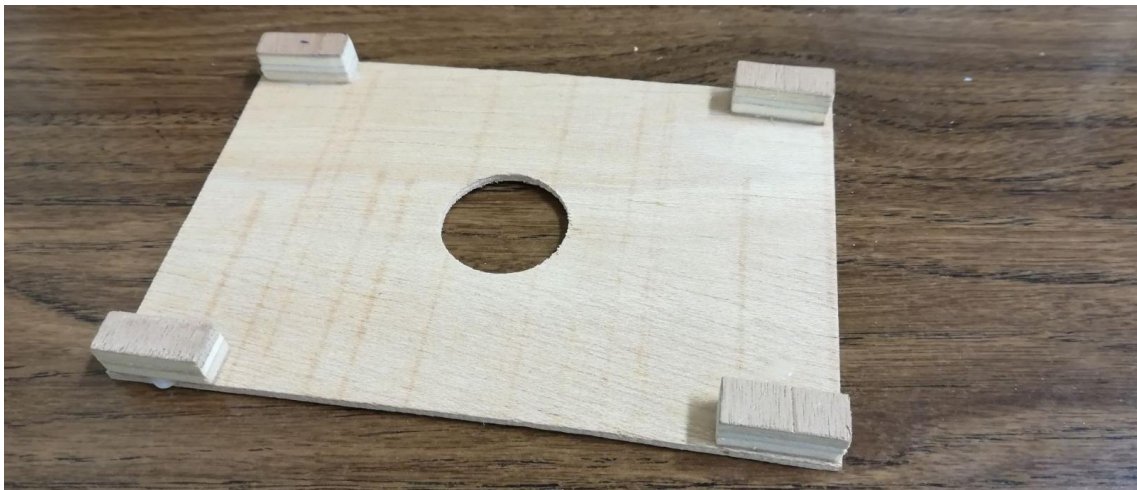


Como los ejes estarán situados con la misma altura relativa es posible que el eje que está situado encima puede rozar con el situado más abajo debido a que al incorporar el peso de la

pinza y el resto de elementos puede ceder un poco y provocar que roce de forma excesiva por lo que se ha optado por elevar ligeramente el eje situado más arriba mediante 2 arandelas eliminando así cualquier roce posible al incorporar el resto de los elementos que añadirán un peso extra a la estructura.

### Soporte Pinza + Movimiento Z

Para soportar la pinza se generará una estructura donde alojará los cuatro rodamientos que permiten el movimiento de la correa. Esta estructura también será la encargada de transportar la pinza a lo largo de todo el espacio de trabajo.



Primero pegaremos cuatro listones que permitirán mantener la distancia con todo el conjunto puesto que vamos a incorporar los elementos al mecanismo.

Es decir, para hacer el carrito (parte superior de nuestro proyecto, en donde localizaremos el motor paso a paso que gobernará la pinza) hemos decidido colocar dos planos paralelos de madera, que incluirán internamente cuatro rodamientos por los que pasará la correa, de tal manera que una vez montado todo ello hemos obtenido el siguiente resultado:

- Por la parte superior:



- Por la parte inferior:



- Por el interior del carrito, donde podemos observar los rodamientos. Para conseguir el correcto giro de la correa en el eje del rodamiento debemos poner dos arandelas (una por debajo y otra por encima) puesto que la parte estática y la parte dinámica del rodamiento tienen la misma altura y en caso de no poner dichas arandelas el rodamiento no podrá girar, obteniendo:

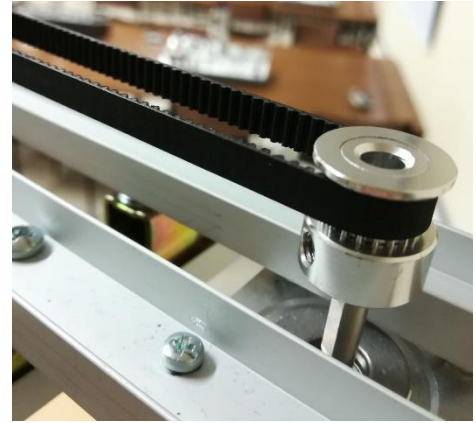


Como se puede observar hemos utilizado el agujero realizado para colocar los rodamientos para amarrar las diferentes ruedas del carrito a dicho carrito. Gracias a estas ruedas se podrá desplazar a lo largo de los carriles superiores de la estructura del puente grúa. De manera que dentro de los rodamientos podremos encontrar un tornillo de longitud necesaria para traspasar ambas placas. Puesto que las ruedas utilizadas son ruedas destinadas a persianas ha sido necesaria la realización de taladros en cada una de ellas.

Para conseguir un carrito que no varíe la posición de las ruedas ni de los rodamientos hemos colocado tuercas que fijen la distancia entre ambas placas (la cual quedaba definida por el tamaño de los rodamientos y las arandelas).

También hemos realizado un trabajo de ajuste de las ruedas (al igual que en casos anteriores), de manera que circule con el menor rozamiento posible sobre el carril superior.

Una vez generado el carrito será necesario pasar la correa por los rodamientos y el resto de los elementos móviles de tal forma que se pueda mover todo el conjunto de la estructura de forma solidaria como conjunto, para esto es imprescindible que la correa este lo suficientemente tensa para no permitir desplazamientos no deseados.



El movimiento de la pinza se realiza gracias a un hilo que soportará el peso de la pinza este será enrollado en una bobina diseñada en 3D para poder acoplarla directamente al eje del motor paso a paso que se situará sobre el carrito. Esta bobina tiene la siguiente apariencia:

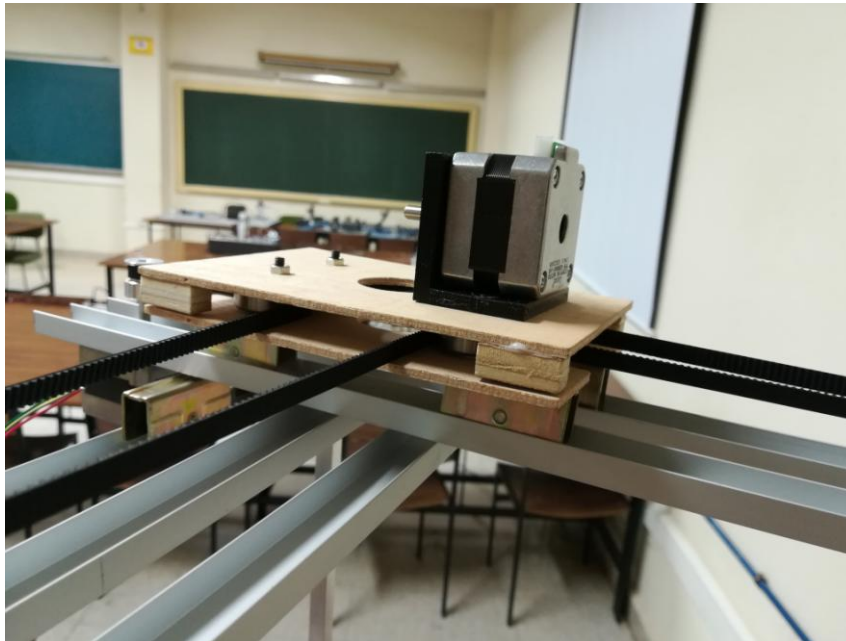
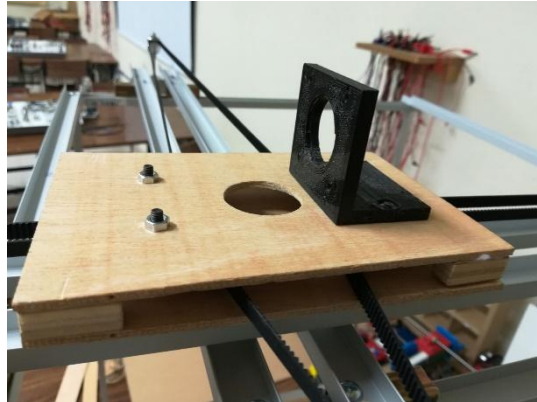
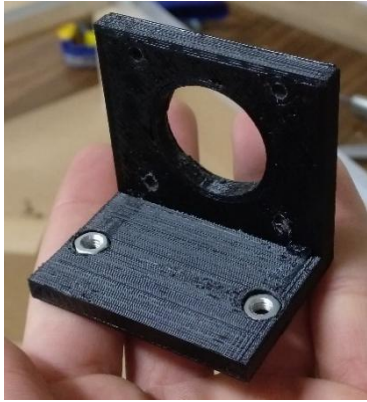


Donde se puede observar a la izquierda de la imagen el orificio donde irá localizado el eje de motor. Para mayor fijación se han realizado otros dos agujeros para poder introducir un tornillo y de esta manera fijar de una manera segura el eje del motor a la bobina diseñada en 3D. Como cuarto orificio lo hayamos en la parte de menos grosor de la bobina, su función será el permitir el paso del hilo que sostendrá la pinza, para poder realizar un nudo y de esta manera que no se descuelgue de ninguna de las maneras la pinza.

La primera vez que mandamos a imprimir en 3D esta pieza tuvimos problemas debido a que las guías de ayuda para la impresión que se colocaron eran tan gordas que no se podían distinguir de la pieza en sí. De esta manera tuvimos que imprimir de nuevo la pieza, consiguiendo los resultados deseados.



El motor paso a paso se fijará al carrito con una pieza 3D que aprovecha los tornillos ya existentes para fijarse y sujetar el motor mediante cuatro tornillos que coinciden con las roscas presentes en el paso a paso.



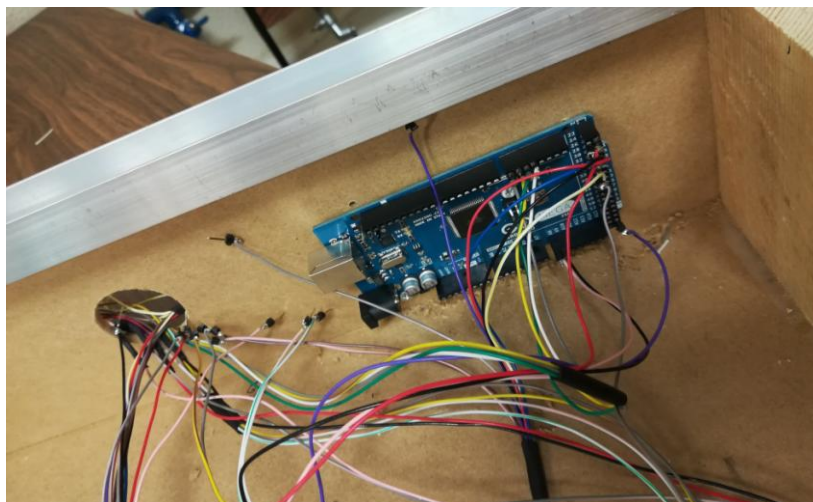
La impresión de la pieza tapó los agujeros encargados de sujetar el paso a paso por lo que fue necesario realizar taladros para limpiarlos del material sobrante, una vez limpios los agujeros los tornillos se acoplaban de forma exacta al motor paso a paso.

Una vez sujeto el paso a paso y la bobina con el cable para soportar el peso de la pinza es necesario colocar un final de carrera que indique que la pinza ha llegado al final de su recorrido para esto se colocará un final de carrera en el extremo superior de pinza de esta forma podremos asegurarnos de que el paso a paso no continúa haciendo fuerza para subir la pinza, ya que podría dañar el motor.



### Arduino + Joystick

El Arduino se acopló mediante tornillos a uno de los laterales de la caja ya que así nos permite poder montarlo y desmontarlo de forma más sencilla que si estuviera situado en la parte inferior de la base añadiendo un problema debido a que los tornillos sobresaldrían ligeramente por el fondo.



Para el joystick se utilizó una técnica similar, pero colocándolo en la parte exterior de la caja en el lateral que tendrá la puerta para obtener los diferentes premios. Se optó por esta configuración porque se consideró la más sencilla y funcional de todas ya que de otra forma sería necesaria generar una estructura de apoyo para el mismo, los cables se pasan a través de un agujero mayor situado justo debajo que cumple esa función.

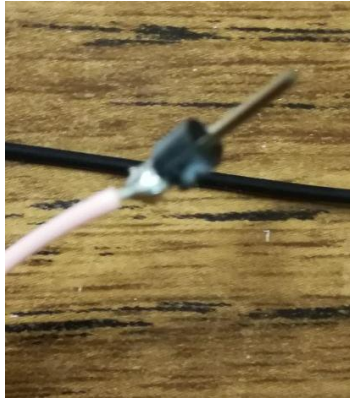


## Cableado

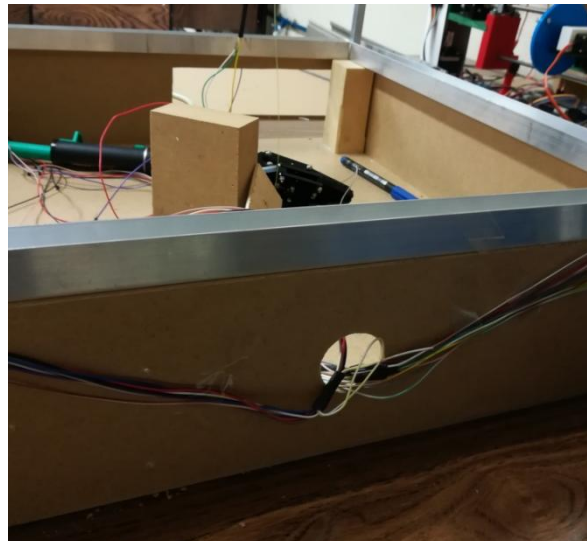
Llevar la tensión necesaria a los motores se ha creado 3 grupos de cables que permiten llevar los pulsos a los motores, un grupo que lleva hasta la pinza y otro más destinado a finales de carrera. Para realizar las conexiones se ha utilizado plástico termorretractil, que permite realizar uniones eléctricamente seguras y no permanentes.



Las conexiones con Arduino serán posibles gracias a la soldadura de pines en los finales de los cables de esta forma podremos cambiarlas si fuera necesario También para agrupar los diferentes grupos de cables de cara facilitar su identificación cuando se proceda a su conexión en el Arduino y en el Shield.



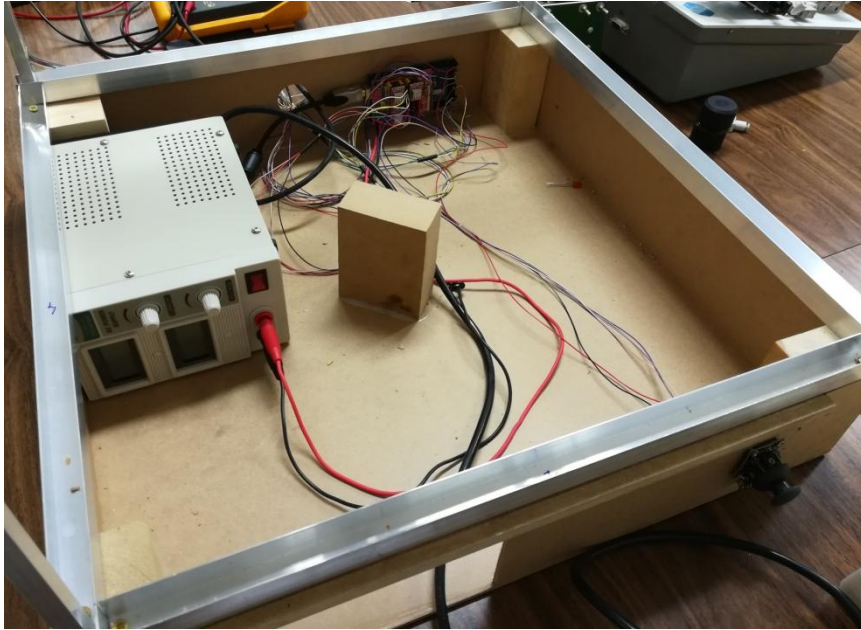
Los cables bajarán por la estructura en su parte posterior de esta forma podemos guiarlos para que no permanezcan sueltos en la medida de lo posible para introducirlos en la base se ha realizado un agujero que permite que pasen todos sin problema.



Como mencionamos al principio del proyecto, toda la electrónica irá sobre el “cajón” de madera ubicado en la parte inferior del proyecto por dos motivos: la madera es aislante y de esta manera protegemos al aparato de cortocircuitos; por estética, ya que de esta manera el usuario no puede observar la electrónica (lo que incluye un tercer motivo, el de seguridad).

El resultado final obtenido de la colocación de todos los componentes necesarios para que nuestro proyecto cobre vida se muestran en la siguiente imagen:





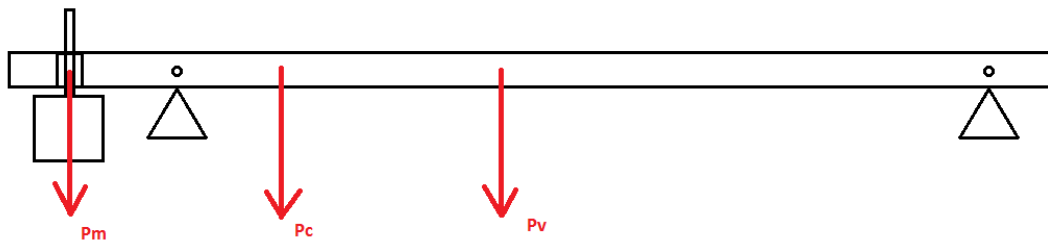
Ahora para finalizar la construcción de nuestro proyecto solo hace falta colocar la tapa superior de la “caja” de madera, para lo cual será necesario desatornillar la estructura completamente y volver a atornillar con la tapa puesta. Obteniendo el siguiente resultado:



Donde se pueden observar todos los componentes descritos anteriormente: La estructura desarrollada, el plotter para poder mover la pinza en los ejes x e y, los tres motores, el joystick, etc.

## 10. Cálculos.

Como primer cálculo que podemos realizar, se puede destacar el cálculo de la estabilidad de cada una de las vigas. Para ello realizaremos un estudio de los momentos de las vigas, es decir, partiendo de la siguiente viga, con sus determinadas fuerzas aplicadas:



Donde se muestran los pesos asociados a tres elementos: Motor (Pm), Carrito (Pc) y centro de gravedad de la viga (Pv). El peso del carrito ha sido situado en el caso más desfavorable, caso en el que sería posible que la estructura vuelque debido al peso del motor. El momento que tenemos en el punto 'O' será:

$$M_o = P_m \cdot d_m - P_c \cdot d_c - P_v \cdot d_v = 0.2\text{kg} \cdot 8\text{cm} - 0.4\text{kg} \cdot 8\text{cm} - 0.1\text{kg} \cdot 25\text{cm} < 0$$

Claramente el momento en dicho punto será menor que cero (con un valor bastante elevado) por lo que la viga se va a sostener sin ningún problema incluso en los casos más desfavorables.

Otro cálculo a realizar será el relacionado con el torque aportado por el motor. Ahora vamos a calcular la masa que será capaz de levantar nuestro motor. Para ello partimos de que nuestro motor tiene un torque de 40N·cm y el radio de nuestra pieza realizada en 3D (encargada de recoger el hilo que sostiene la pinza) es de 6mm. De esta manera la masa máxima que podrá levantar el motor será:

$$M = m \cdot r \Rightarrow m = 40 \cdot 10^{-2} / (9/2) \cdot 10^{-3} = 88.9\text{N} / 9.8 = 9.07\text{kg}$$

De esta manera podremos ascender premios de hasta 9.07kg (quitando la masa de la pinza). En el caso de los motores encargados del movimiento en los ejes 'x' e 'y' el único impedimento al desplazamiento será el rozamiento. Este rozamiento no será en ningún caso tan elevado como para evitar el movimiento, de manera que concluimos que los motores del "plotter" tendrán el suficiente torque para garantizar el correcto movimiento y funcionamiento del mecanismo.

## 11. Análisis de resultados.

Los resultados obtenidos nos aportan una serie de conclusiones:

- La masa máxima que podrá levantar el motor encargado del ascenso y descenso de la pinza será de 6.3kg. Este valor ha sido calculado sin tener en cuenta la potencia de la pinza, la cual no nos permite el agarre de tanto peso (aunque dependerá en gran medida de cómo agarre la pinza al objeto, tamaño del objeto, forma del objeto, etc.). Es decir, no se garantiza en todo momento que nuestro proyecto sea capaz de obtener elementos con esa masa, sino que dependerá exclusivamente de las características de cada objeto.
- La estructura será estable en todo momento y las vigas podrán soportar todos los pesos correspondientes incluso en los casos más desfavorables.

## 12. Presupuesto final

El presupuesto final, una vez incorporados todos los elementos utilizados en el proyecto final, varía en gran medida del presupuesto inicial, tomando valores muy elevados:

| Artículo                             | Descripción  | Precio unitario (€) | Cantidad | Precio        |
|--------------------------------------|--|---------------------|----------|---------------|
| Taco Fischer N-7 Nylon               | Taco de unión con encaje de tornillo   | 0,07                | 8        | 0,56          |
| Tuercas al por mayor                 | Tuercas de fijación  | 0,028               | 32       | 0,90          |
| Tornillos al por mayor               | Tornillo de unión  | 0,03                | 32       | 0,96          |
| Tornillos Spax-S 5,0                 | Tornillo de unión  | 0,10375             | 8        | 0,83          |
| Final de carrera                     | Detector de posición final e inicial de la pinza   | 0,3                 | 6        | 1,80          |
| Correa                               | Correa dentada para el puente grúa (5m). Se incluyen rodamientos para las poleas y enganches a los motores paso a paso | 6,56                | 1        | 6,56          |
| Rueda C/Rodamiento metálico          | Rueda con rodamiento para el desplazamiento del puente grúa  | 1,7                 | 12       | 20,40         |
| Rodamientos                          | Rodamientos para el paso de la correa por el carrito   | 2,4                 | 4        | 9,60          |
| Tubos huecos cuadrados               | Tubos cuadrados huecos con dimensiones (2,56m)   | 6,1                 | 1        | 6,10          |
| Perfil U aluminio 19x10x1            | Perfil U que sostendrá el puente grúa (2,56m)  | 6,25                | 2        | 12,50         |
| Perfil U aluminio resistente 20x20x1 | Perfil U que dará soporte a la estructura (2,56m)  | 6,25                | 1        | 6,25          |
| Aglomerado DM 4mm                    | Aglomerado de madera del soporte y contenedor de circuitería (en m2)   | 10,1714             | 0,7      | 7,12          |
| Motor paso                           | Motor paso a paso  | 9,76                | 3        | 29,28         |
| Pinza mecánica                       | Pinza mecánica con capacidad de apertura y cierre  | 2,25                | 1        | 2,25          |
| Pulsador                             |  | 0,25                | 1        | 0,25          |
| Hilo de nylon                        | Hilo de pescar, poco peso y resistente   | 0                   | 0        | 0,00          |
| Joystick Arduino                     |  | 1,32                | 1        | 1,32          |
| <b>TOTAL</b>                         |  |                     |          | <b>106,68</b> |

De esta manera podemos observar que a medida que hemos ido realizando nuestro proyecto nos hemos dado cuenta de que necesitábamos distintos componentes, encareciendo el producto final hasta 106.68€.

### 13. Prototipado rápido

A la hora de conectar los motores tenemos que tener en cuenta que al programar un sentido que suponemos que realizará el motor debido a que desconocemos en principio el sentido que luego tomará el motor sin antes probarlo en nuestro proyecto, ya que, dependiendo de la orientación del motor, el orden de los cables y de los controladores. Luego para determinar el sentido primero reducimos la velocidad de los motores para evitar posibles choques ya que también desconocíamos el valor que podrá tener la pinza. Al cargar el programa debemos ver si los sentidos seleccionados son los correctos, si no es así no deberemos modificar el signo del desplazamiento y volver a comprobar los parámetros.

Para la velocidad de los paso a paso optamos por usar una velocidad de 300 RPM ya que es la más rápida y provoca menos vibraciones en la estructura.

La comprobación de los pines encargados de abrir y cerrar la pinza se realizo de forma manual ya que desconectando los pines y conectándolos uno a alimentación y otro a tierra se podía observar el sentido correcto del patrón a seguir para primero abrir la pinza y después cerrarla.

## 14. Programación.

Para comenzar cada vez que indiquemos que queremos mover en una dirección la pinza tendremos que medir el conjunto de las dos componentes la “x” e “y”, para generar los movimientos correspondientes de los dos motores. Cuando tengamos la pinza posicionada de forma que es la posición a la que queremos hacer que baje la pinza, únicamente deberemos presionar el control ya que este cuenta con un pulsador que cuando se acciona se produce el cambio en una variable y esta provocará que se abra, baje, cierre y suba la pinza por ese orden de forma que estos movimientos tendrán un tiempo necesario, que vendrá definido mediante la programación, una vez se haya recogido la pinza ya sea con premio o no se dirigirá de forma autónoma a la parte donde se encuentra para obtener el premio.

Como los límites de los motores se generan de forma interna mediante dos variables que indican el máximo número de pasos que podrá dar como máximo cualquiera de los 3 motores que componen el mecanismo. El origen vendrá definido con la variación de las entradas a las que están conectados los tres finales de carrera, uno para cada dirección. Cuando se encienda la máquina, esta se posicionará de forma hasta que detecta que se activan los finales de carrera el siguiente límite se generará mediante programación, es decir, conociendo el número de pasos que da el motor paso a paso desde que se termina la función que busca los ceros hasta que se llega al final de los carriles y que la pinza llegue hasta la zona donde se encuentren los premios de la estructura.

La lectura de los valores del se realizarán mediante dos entradas analógicas estas entradas para los valores “x” e “y” de la pinza. La lectura de los valores nos proporcionarán dos valores variables entre “0-1023” siendo “512” el valor medio aproximadamente, esto quiere decir, que cuando se lea que el joystick está en su posición de descanso (no debemos mover los motores), para el Arduino las entradas tendrán un valor teórico de 512, luego nos vemos obligados a utilizar la función “map” esta función sirve para redimensionar una variable, de forma que hemos tomado que cuando el joystick se encuentre en una de sus posiciones extremo (0 ó 1023) el paso a paso completará una vuelta completa.

Una vez conocemos el número de pasos que tenemos que dar llamaremos a una función que se encargará de en función de las coordenadas “x” e “y” calcular el número de pasos que tendrá que dar cada motor y el sentido de estos, esta función será “move\_axis()”.

La función “move\_axis()” generará los pasos llamando a una función de las librerías antes comentadas que se encarga de producir las salidas para los controladores de cada motor,

luego para enviar los pasos que tendrá que dar cada motor para la “y” los motores tendrán que girar en el mismo sentido un valor de “ $y/2$ ” y para moverse “x” tendrán que girar “ $x/2$ ” en sentidos opuestos de esta forma obtendremos los movimientos igual que los indicamos por el joystick, como no siempre se indican movimientos en único eje es necesario calcular el movimiento de los dos motores de forma previa, de la siguiente manera podremos obtener los pasos con únicamente una función, produciendo que el movimiento sea fluido en cualquier dirección o combinación de estas. La función además de realizar el movimiento tendrá que añadir los pasos dados para calcular la posición en coordenadas “x” e “y” del carrito con la pinza.

Una vez hallamos seleccionado de forma visual donde queremos que la pinza descienda y tome el objeto pulsamos el joystick ya que esto desencadenará la llamada a un conjunto de funciones, primero abriremos la pinza para ello tendremos que cambiar los pines asociados al motor de la pinza, ya que este es un motor de continua para abrir o cerrar el motor únicamente tenemos que modificar el pin al que le asociaremos el valor de tensión alto. El descenso de la pinza se realiza mediante un paso a paso por lo tanto indicaremos al motor asignado al “eje z” que se desplace hasta su límite preestablecido en la programación. Una vez que la pinza se encuentre en la parte baja esta tendrá que cerrarse, para ello cambiaremos el sentido de los pines asociados a la apertura de la pinza, esta volverá a elevarse hasta que detecte de nuevo el final de carrera asociado al eje.

Para obtener los premios es necesario redirigir la pinza hasta donde se encuentra el agujero en la chapa de madera destinado para ello, el proceso se realizará de forma autónoma y de acuerdo a una programación similar a la comentada anteriormente para tomar los premios del fondo, en este caso comenzará por bajar la pinza, abrirla, volver a subirla, cerrarla y dirigirse a la posición de inicio donde se encuentran activados los finales de carrera.

```
#include <Arduino.h>
#include "BasicStepperDriver.h"
#include "MultiDriver.h"
#include "SyncDriver.h"

#define STEP_X 2
#define STEP_Y 3
#define STEP_Z 4

#define DIR_X 5
#define DIR_Y 6
#define DIR_Z 7

#define PINZ_1 40
#define PINZ_2 41

#define Fin_Com_X 22
#define Fin_Com_Y 26
#define Fin_Com_Z 50

#define Fin_Med_X 24
#define Fin_Med_Y 28
#define Fin_Med_Z 51

#define MOTOR_STEPS 200

BasicStepperDriver stepperX1(MOTOR_STEPS, DIR_X, STEP_X);
BasicStepperDriver stepperX2(MOTOR_STEPS, DIR_Y, STEP_Y);
BasicStepperDriver stepperZ(MOTOR_STEPS, DIR_Z, STEP_Z);

MultiDriver controller(stepperX1, stepperX2, stepperZ);
```

```

int EN = 8;
int SW = 32;

int RPM_MAX = 200;
int pulso_Max;
int mov_x, mov_y;
int aux, aux_x, aux_y;
bool sw;

int pos_x;
int pos_y;
int pos_z;

int end_x = 2000;
int end_y = 2000;
int end_z = 5200; //posicion final mediante lógica

void setup() {

    pinMode(EN, OUTPUT);
    pinMode(PINZ_1, OUTPUT);
    pinMode(PINZ_2, OUTPUT);

    pinMode(Fin_Med_X, INPUT_PULLUP);
    pinMode(Fin_Med_Y, INPUT_PULLUP);
    pinMode(Fin_Med_Z, INPUT_PULLUP);

    pinMode(SW, INPUT_PULLUP);

    digitalWrite(Fin_Com_X, LOW);
    digitalWrite(Fin_Com_Y, LOW);
    digitalWrite(Fin_Com_Z, LOW);

    digitalWrite(EN, LOW);

    stepperX1.begin(RPM_MAX, 1);
    stepperX2.begin(RPM_MAX, 1);
    stepperZ.begin(RPM_MAX, 1);
    move_zeros();
}

void loop() {

    mov_x = analogRead(A8); // para el mega cambiar x a A8 y A9
    mov_y = analogRead(A9);

    aux_x = map(mov_x, 0, 1023, -RPM_MAX, RPM_MAX); //Transformamos la medida en los dos ejes en
    aux_y = map(mov_y, 0, 1023, -RPM_MAX, RPM_MAX); //una bidireccional con velocidad maxima

    move_axis(aux_x, aux_y);

    sw = digitalRead(SW);

    if (sw == LOW)
    {
        move_z(end_z);
    }
}

```



```

void move_axis(int x, int y)
{
    controller.rotate(-x/2+y/2,x/2+y/2,0);    // calculamos en función de las entradas el movimiento
                                              // de los dos motores

    pos_x = pos_x + x;

    pos_y = pos_y + y;                        //recalculamos la posicion de la pinza
}

void move_z(int z)
{
    digitalWrite(PINZ_1,HIGH);
    digitalWrite(PINZ_2,LOW);
    delay(5000);

    digitalWrite(PINZ_1,LOW);
    digitalWrite(PINZ_2,LOW);

    controller.rotate(0,0,z);

    digitalWrite(PINZ_1,LOW);
    digitalWrite(PINZ_2,HIGH);
    delay(6000);                            // tiempo de prueba

    digitalWrite(PINZ_1,LOW);
    digitalWrite(PINZ_2,LOW);

    controller.rotate(0,0,-z);
}

void mov_pinz()
{
    //open
    digitalWrite(PINZ_1,HIGH);
    digitalWrite(PINZ_2,LOW);
    delay(5500);                            //tiempo de prueba

    //close
    digitalWrite(PINZ_1,LOW);
    digitalWrite(PINZ_2,HIGH);
    delay(5500);                            // tiempo de prueba

    digitalWrite(PINZ_1,LOW);
    digitalWrite(PINZ_2,LOW);
}

void move_zeros()
{
    bool x, y, z;

    x= digitalRead(Fin_Med_X);
    y= digitalRead(Fin_Med_Y);
    z= digitalRead(Fin_Med_Z);

    do{
        if (x == LOW)
            controller.rotate(-MOTOR_STEPS,MOTOR_STEPS,0);

        else if (y == LOW)
            controller.rotate(MOTOR_STEPS,MOTOR_STEPS,0);
        else if (z == LOW)
            controller.rotate(0,0,-MOTOR_STEPS);

    }while(x==LOW || y==LOW || z==LOW);
}

```





## 15. Localización de puertos.

Para este apartado se procederá a comentar el proceso llevado a cabo para asignar los pines de Arduino a los actuadores y a los sensores. Como se ha decidido en etapas anteriores del diseño utilizar un Arduino Mega, no existirá problema a la hora del número de pines a utilizar, ya que contamos con 54 entradas/salidas Digitales y 10 entradas Analógicas.

Al añadir el módulo CNC shield a la primera parte del Arduino Mega esto es posible debido a que la distribución de pines del Arduino Mega comienza de forma idéntica a un Arduino Uno.

También debido a esto no dispondremos de los primeros 13 pines digitales ya que estarán destinados para el control de los motores paso a paso estos pines, junto con dos pines para poder realizar las medidas de los finales de carrera ya que necesitaremos dos por cada final de carrera conectando cada extremo a un pin, donde realizamos la medida en el Arduino tendremos que colocar una resistencia Pull-Up para poder cerrar el circuito, además tenemos que ser capaces de controlar el sentido del motor encargado de abrir y cerrar la pinza luego tendremos que asignar otros dos pines para dicha función. Una vez descritos todos los pines Digitales necesarios quedarán de la siguiente manera:

```
#define STEP_X 2
#define STEP_Y 3
#define STEP_Z 4

#define DIR_X 5
#define DIR_Y 6
#define DIR_Z 7

#define PINZ_1 40
#define PINZ_2 41

#define Fin_Com_X 22
#define Fin_Com_Y 26
#define Fin_Com_Z 50

#define Fin_Med_X 24
#define Fin_Med_Y 28
#define Fin_Med_Z 51
```

Siendo “STEP” el pin destinado a través del shield para conectarlo a las entradas de los controladores de los Motores. “DIR” indicará únicamente la dirección a la cual giraría el motor, comportándose de forma binaria, “0” girará en un sentido y cuando valga “1” girará en el sentido opuesto.

“PINZ\_1 y PINZ\_2” se usarán de forma complementaria para alimentar el motor de la pinza, ya que se trata de un motor de pequeñas dimensiones no es necesaria una fuente de tensión externa para que el motor se pueda mover (con el Arduino es suficiente). Cuando no sea preciso el movimiento de este motor pondremos los dos a valor bajo para asegurarnos que no se produce movimiento de la pinza, esta situación también se podría dar colocando los dos a

nivel alto, pero por seguridad del conjunto es más apropiado mantener las dos salidas a un nivel bajo cuando se pretenda mantener la pinza en una posición.

“Fin\_Med” será el pin donde realizaremos la lectura del final de carrera, que estos están conectados a la patilla normalmente cerrada. La otra patilla se conectará a “Fin\_Com” que se conectará a un valor lógico bajo. A la hora de medir tendremos que, cuando no están pulsados los finales de carrera leeremos a través del pin destinado a la medida un valor bajo.

Además de todos estos valores de los pines digitales tendremos que usar la salida digital 8 como “enable” del shield, también como entradas del joystick tendremos usados los pines analógicos “A8” y “A9”, por practicidad ya que otras entradas analógicas están tapadas por el shield, también usaremos una entrada digital para el pulsador situado en el joystick.

| Nº pin Digital | PinMode      | descripción                 |
|----------------|--------------|-----------------------------|
| 2              | Output       | pulsos para el motor x      |
| 3              | Output       | pulsos para el motor y      |
| 4              | Output       | pulsos para el motor z      |
| 5              | Output       | direccion motor x           |
| 6              | Output       | direccion motor y           |
| 7              | Output       | direccion motor z           |
| 8              | Output       | Enable                      |
| 40             | Output       | Apertura/Cierre pinza       |
| 41             | Output       | Apertura/Cierre pinza       |
| 22             | Output/LOW   | Final de carrera x          |
| 26             | Output/LOW   | Final de carrera y          |
| 50             | Output/LOW   | Final de carrera z          |
| 24             | Input_PullUp | Final de carrera x (medida) |
| 28             | Input_PullUp | Final de carrera y (medida) |
| 51             | Input_PullUp | Final de carrera z (medida) |
| 32             | Input_PullUp | pulsador joystick           |

| Nº pin Analógico | descripción                                |
|------------------|--|
| A8               | valor anaógico entrada valor de la pinza x |
| A9               | valor anaógico entrada valor de la pinza y |

## 16. Verificación del funcionamiento.

Una vez que hemos subido nuestro programa al Arduino Mega colocado sobre el prototipo del proyecto, pasaremos la comprobación del funcionamiento. Inicialmente, el programa no va a funcionar correctamente, puesto que requiere de algunos ajustes y variación de parámetros.

Para conseguir que funcione el programa, hemos tenido que modificar parámetros como: velocidad de los motores, límites de giro (y por lo tanto límites hacia a los que irá la pinza), límite de bajado de la pinza, etc. Estos cambios los hemos realizado sobre el prototipo y son cambios de deberán de ajustarse según la máquina en la que nos encontremos (para más prototipos o puesta en el mercado).

Una vez realizado el ajuste de parámetros y modificación de variables del programa, hemos podido comprobar el correcto funcionamiento de la aplicación y con ella el correcto funcionamiento del prototipo.

En modo de ampliación hemos pensado en la adición de un último parámetro en la programación. Como ya habíamos explicado al principio del proyecto, las máquinas comerciales cuentan con una pequeña “trampa” a la hora de coger los parámetros, esta consiste en la fuerza aplicada por la garra. Para evitar que el usuario se lleve en numerosas ocasiones premios y de esta manera salga poco rentable para el propietario la compra de la máquina únicamente habrá que incluir una variación en la programación. Esta variación consiste en introducir, mediante un número aleatorio, un valor de PWM al accionamiento de la pinza (en vez de ser digital, lo pasamos a analógica). De esta manera, según el valor de PWM introducido al accionamiento, la pinza cerrará durante más o menos tiempo y con más o menor fuerza, consiguiendo el objetivo que nos habíamos planteado.

## 17. Corrección de errores.

A lo largo del desarrollo del proyecto ha habido una serie de errores que se han ido subsanando a la hora del montaje del dispositivo, entre los que se incluyen:

- A la hora de la colocación de las guías del carrito, estas no siempre se deslizaban a través de las ruedas de la manera más optima y en muchas ocasiones rozaban con las pareces de los carriles. Para corregir este error ha sido necesario en varias ocasiones el desatornillar parte de la estructura superior para realizar los orificios de algunos tornillos con una mayor holgura, y de esta manera permitir el ajuste de la distancia entre los carriles.  
Esto se ha producido en varias ocasiones y nos ha permitido la correcta posición de las ruedas con respecto a los carriles.
- A la hora de colocar los motores paso a paso sobre las guías, como se ha indicado anteriormente, un tornillo se rompió mientras lo estábamos manipulando con el taladro. Obteniendo que uno de ellos se quedó dentro del motor paso a paso sin permitirnos una fijación completa. Para evitar que nos pasará lo mismo con el resto y de esta manera no poder asegurar la correcta fijación del motor, decidimos seguir sin un tornillo y quitarlo una vez finalizado el proyecto.
- Cabe destacar como mayor corrección de errores, la cambiante dinámica a la hora de desarrollar el trabajo, ya que a medida que íbamos desarrollando el trabajo algunas de nuestras ideas se hacían inviables y las íbamos desechando.
- A la hora de comprobar el funcionamiento del programa realizamos hemos realizado una depuración de errores hasta conseguir el resultado deseado (explicado en el apartado anterior).

## 18. Especificaciones finales.

Se presenta el proyecto como una “Claw Machine”, una máquina de garra propia de las ferias y bares a lo largo del mundo. Nuestra máquina ha sido diseñada y desarrollada de manera original, sin apoyarnos o basarnos en ninguna otra máquina similar, aumentando el aprendizaje y la originalidad del proyecto.

La máquina estará compuesta por tres partes claramente diferenciadas: Parte de madera (encargada de almacenar los cableado y la electrónica), Parte estructural (encargada del soporte de la parte superior y del almacenaje de los premios), y Parte superior (formada por un puente grúa en forma de “Plotter” donde se encuentran los motores paso a paso, el carrito y al que se encuentra sujeta la pinza).

Entre las cosas a destacar en las dos primeras partes del proyecto, son la electrónica y el transporte de cables desde dicha electrónica hasta los actuadores localizados en la tercera zona. Las dos primeras partes han sido laboriosas de construir debido a que han sido cuidadosamente construidas, con materiales de alta calidad, y entrando en cada detalle de su construcción, consiguiendo una estructura fuerte, compacta, resistente, robusta y estéticamente conseguida.

Todo el proyecto está realizado gracias a taladros, tornillos, tuercas, etc. Aportando una mayor robustez al prototipo y consiguiendo un mejor resultado (aunque nos ha solicitado una gran carga de trabajo y tiempo empleado, hemos obtenido unos resultados más que buenos).

Dentro de la parte superior, hemos conseguido un diseño complejo basado en un “plotter” que nos permitirá el movimiento de un carrito en dos ejes. El carrito se encuentra apoyado por dos guías, una en cada sentido, todo lo cual se mueve relativamente frente al resto de componentes gracias a ruedas ancladas a cada componente. Sobre el carrito se encuentra un motor paso a paso y una serie de piezas en 3D que nos servirán para fijar todo y para conseguir el recogido y suelta de la pinza.

Desde todos los actuadores (pinza y motores paso a paso) y desde todos los sensores (finales de carrera, joystick, etc.) se tirarán cables hasta el cerebro del proyecto (el Arduino Mega). Para ello se han ido empalmando cables con termo retráctil por los lugares considerados más oportunos (minimizando el cableado y evitando que los cableados se vean desde la parte frontal).

Una vez desarrollada la estructura, conectado parte con parte y conectado todos los sensores y actuadores, únicamente habrá que alimentar al dispositivo y disfrutar del juego. Para alimentar el dispositivo se parte de una fuente de alimentación interna al proyecto (en la parte de madera). Esta fuente de alimentación se conectará fácilmente desde fuera ya que tiene un pequeño saliente para el interruptor (la tensión se encuentra ajustada y el Arduino Mega se encuentra alimentado y con el programa cargado). La fuente de alimentación se alimenta de la corriente, estando el cable conector situado por la parte de atrás (a través de un orificio practicado para el resto de cables).

Todos y cada uno de los parámetros del proyecto han sido cuidadosamente diseñados y puestos en marcha. El prototipo nos ha llevado alrededor de 80 horas de diseño, construcción y puesta en marcha, pero se calcula que para futuros proyectos este tiempo disminuirá y junto a él, el coste de los materiales debido a la mayor compra de los mismos.

## 19. Elaboración del catalogo comercial del equipo.

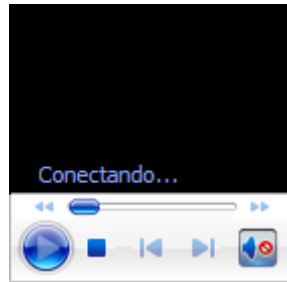
De cara a la comercialización del producto se deberá realizar un presupuesto especializado cuando la compra de materiales sea al por mayor, reduciéndose de esta manera los gastos y entrando en el mercado con un precio más asequible. El prototipo del producto final será el siguiente:



Y como todo prototipo deberá sufrir alguna modificación respecto al producto final de cara al mercado. Como modificaciones que podemos incorporar son las siguientes:

- Incorporación de cristaleras para evitar robos.
- Aumentar la seguridad de cara al cliente.
- Aumento de la robustez del producto.
- Mejora de los mecanismos.
- Incorporación de una ranura para monedas y un depósito para guardarlas.
- Etc.

Una muestra del funcionamiento (similar al de las comerciales) se podrá observar en el siguiente video:



## 20. Agradecimientos

Queríamos agradecer la ayuda de Luis, debido a la gran prestación de materiales, herramientas y ayuda logística a la hora del desarrollo del proyecto. Nos ha ayudado a la hora de realizar todo tipo de trabajos, poniendo a nuestra disposición todas las facilidades posibles que estaban en su mano.





## Bibliografía

- Apuntes aportados por el profesorado
- Gran cantidad de páginas de internet para el acceso a información
- Páginas de internet para la compra de productos para el proyecto