

UNIVERSIDAD DE ALMERIA

ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA

“Sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento basado en la propuesta Farmbot”

Curso 2016/2017

Alumno/a:

Pedro Rubio Salvador

Director/es:

Dr. Francisco de Asís Rodríguez Díaz
Dr. José Luis Torres Moreno



UNIVERSIDAD DE ALMERÍA
ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA



SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA DE UN HUERTO
DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN LA PROPUESTA FARBOT

TRABAJO FIN DE GRADO
GRADO EN INGENIERÍA MECÁNICA

AUTOR

PEDRO RUBIO SALVADOR

TUTORES

Dr. FRANCISCO DE ASÍS RODRÍGUEZ DÍAZ

Dr. JOSÉ LUIS TORRES MORENO

“Cuando todo parezca estar en tu contra, recuerda que los aviones despegan con el viento en contra, no a favor”

Agradecimientos

Me gustaría que estas líneas sirvieran para agradecer a todas aquellas personas que han compartido conmigo estos últimos años.

En primer lugar, a mis tutores Paco y José Luis, por haber apostado por mí para la realización de este proyecto, al igual que por su implicación y dedicación, sin los cuales no hubiera sido posible superar estos meses de duro trabajo.

Quisiera también agradecer a todos los compañeros los cuales más que compañeros son amigos; Bogas, el cual ha sido como mi otra mitad, Juan, Massa, Antolín, Víctor, Javi, Felipe, etc., por sus apoyos incondicionales y todos los días de estudio en la biblioteca.

Y como dicen que lo bueno se deja para el final, me gustaría agradecer a mi familia el apoyo incondicional que he recibido. En especial, agradecer a mis padres Pedro y M.^a Lola y a mis hermanos, sin olvidarme nunca del cariño y apoyo que todos estos años he recibido de Rocío García Hernández, que ha estado día tras día aguantando buenos y malos momentos y siempre ha estado a mí lado.

Solo puedo decir GRACIAS.

Resumen

El crecimiento de las ciudades en los últimos decenios, sobre todo en los países en desarrollo, ha hecho que se busquen nuevos modelos en la agricultura, que permitan resolver los problemas para aumentar la calidad de vida y seguridad alimentaria. Con el auge de la agricultura urbana, se ha podido demostrar que puede constituir una de las principales vías para solventar estos problemas.

Muchos participantes de la agricultura urbana reportan que prefieren el sabor de esos productos locales, o alimento orgánico, que los de la producción industrial. También, la agricultura urbana apoya una producción más sustentable de alimentos que intenta hacer decaer el uso de pesticidas peligrosos. Los agricultores urbanos y locales también eliminan la necesidad de conservantes, ya que sus productos no tienen que viajar largas distancias.

Con el objetivo de cambiar el sistema actual de producción de alimentos en favor del medio ambiente y de la salud de las personas, la empresa Farmbot ha desarrollado un robot con el cual quiere trasladar los últimos avances en cultivo de precisión a pequeños huertos particulares. FarmBot es un robot que puede encargarse de las necesidades de un huerto casero de forma remota y automática. Funciona con unos paneles solares, así que se puede decir que es 100% sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

En este Trabajo Fin de Grado se detalla paso a paso como construir un sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento. Todo lo necesario para la construcción de dicho sistema puede encontrarse aquí, desde la parte mecánica y estructural hasta la parte electrónica con la descripción de los componentes utilizados. El trabajo concluye con el resultado de un robot cartesiano cumpliendo con las especificaciones definidas.

Palabras Clave: Mecatrónica, Agricultura

Abstract

The growth of cities over the past decades, especially in developing countries, has led to the search for new models in agriculture that can solve problems to increase quality of life and food security. With the rise of urban agriculture, it has been demonstrated that it can be one of the main ways to solve these problems.

Many participants in urban agriculture report that they prefer the taste of these local products, or organic food, than those of industrial production. Also, urban agriculture supports a more sustainable production of food that attempts to discourage the use of dangerous pesticides. Urban and local farmers also eliminate the need for preservatives, as their products do not have to travel long distances.

With the aim of changing the current system of food production in favor of the environment and the health of people, the company Farmbot has developed a robot with which it wants to transfer the last advances in precision culture to our small private orchards. FarmBot is a robot that can handle almost all the needs of a home garden remotely and almost automatically. It works with solar panels, so it is 100% sustainable and respectful of the environment.

In this project is detailed step by step how to build a mechatronic system for the automatic management of a self-supplying orchard. Everything necessary for the construction of such a system can be found here, from the mechanical and structural part to the electronic part with the description of the components used. The work concludes with the result of a Cartesian robot complying with the defined specifications.

Keywords: Mechatronics, Agriculture

Índice

ÍNDICE.....	11
ÍNDICE DE FIGURAS.....	13
ÍNDICE DE TABLAS.....	15
SIGLAS Y ACRÓNIMOS.....	17
CAPÍTULO 1 INTRODUCCIÓN.....	19
1.1. MOTIVACIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO.....	19
1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO.....	20
1.3. CONTEXTO DEL PROYECTO.....	21
1.4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS.....	21
1.5. PLANIFICACIÓN TEMPORAL.....	23
1.6. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA DEL TFG.....	24
CAPÍTULO 2 MATERIALES Y MÉTODOS.....	25
2.1. ARQUITECTURA FARMBOT.....	25
2.2. ESPECIFICACIONES.....	27
2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL.....	27
2.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL.....	29
2.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SENSORIAL.....	31
2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS ACTUADORES.....	32
2.7. DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO TERMINAL.....	34
2.8. CONTROLADOR.....	35
2.9. HERRAMIENTAS SOFTWARE UTILIZADAS.....	39
2.9.1. SOFTWARE DE CONTROL.....	39
2.9.2. SOFTWARE DE DISEÑO.....	40
2.10. DISEÑO DE LAS PIEZAS A REALIZAR.....	41
2.11. INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL ROBOT.....	47
2.11.1. ELECTRÓNICA.....	47
2.11.2. MONTAJE EN LA ESTRUCTURA.....	51
2.11.3. ZONA DE CULTIVO.....	52
CAPÍTULO 3 RESULTADOS Y DISCUSIÓN.....	55
3.1. RESULTADOS OBTENIDOS.....	55
3.2. COMPROBACIÓN DE ESPECIFICACIONES.....	56
3.3. COSTE DE LA INVERSIÓN.....	59
3.3.1. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD.....	60
3.3.2. ESTIMACIONES.....	61
3.3.3. ANÁLISIS DE COSTES.....	62
3.3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO.....	65
CAPÍTULO 4 CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS.....	67
BIBLIOGRAFÍA.....	69
ANEXO I: PLANOS.....	71
ANEXO II: FINANCIACIÓN.....	89

Índice de figuras

Figura 1.1 Elementos terminales, a la izquierda un accesorio para riego y a la derecha un accesorio de siembra	22
Figura 1.2 Estructura sistema mecatrónico	22
Figura 1.3 Cronograma temporal	23
Figura 2.1 FarmBot	25
Figura 2.2 Ejes de coordenadas.....	28
Figura 2.3 Vista alzado del perfil de aluminio	29
Figura 2.4 Vista lateral del perfil de aluminio.....	29
Figura 2.5 Elemento angular para la unión de los perfiles.....	29
Figura 2.6 Unión de los perfiles de aluminio.....	29
Figura 2.7 Sistema Estructural.....	30
Figura 2.8 Elemento terminal robot.....	31
Figura 2.9 Final de carrera Telemecanique ZCP	32
Figura 2.10 Motores PAP NEMA 17.....	34
Figura 2.11 Diseño del accesorio para riego	35
Figura 2.12 Diseño del inyector de semillas.....	35
Figura 2.13 Accesorio para riego.....	35
Figura 2.14 Inyector de semillas.....	35
Figura 2.15 Arduino Mega 2560.....	36
Figura 2.16 RAMPS Shield 1.4	37
Figura 2.17 Controladores DRV8825	37
Figura 2.18 Fuente de alimentación ATX	38
Figura 2.19 Pronterface.....	39
Figura 2.20 SolidWorks.....	40
Figura 2.21 Modelo CAD motor NEMA 17	42
Figura 2.22 Soporte motor eje X	42
Figura 2.23 Posición del soporte del motor del eje X	42
Figura 2.24 Soporte motor eje Y	42
Figura 2.25 Posición del soporte del motor del eje Y.....	42
Figura 2.26 Engranaje con rosca de M4.....	43
Figura 2.27 Engranaje unido al motor.....	43
Figura 2.28 Casquillo para el eje del motor	43
Figura 2.29 Engranaje unido al motor junto con el casquillo.....	43
Figura 2.30 Motor eje Z junto al elemento terminal.....	44
Figura 2.31 Soporte motor eje Z	44
Figura 2.32 Separador para el soporte del motor Z.....	44
Figura 2.33 Soporte eje Z	45
Figura 2.34 Ensamblaje eje Z.....	45
Figura 2.35 Colocación eje Z.....	46
Figura 2.36 Diseño de la zona de cultivo.....	46
Figura 2.37 Anclaje de la Placa Arduino	47

Figura 2.38 Conexión RAMPS 1.4	47
Figura 2.39 Controladores conectados en la RAMPS	48
Figura 2.40 Cables Jumpers.....	49
Figura 2.41 Conexión motores PAP en la RAMPS	49
Figura 2.42 Conexión finales de carrera en la RAMPS	49
Figura 2.43 Paso de corriente entre los dos pines de la fuente de alimentación.....	50
Figura 2.44 Conexión fuente de alimentación en la RAMPS.....	50
Figura 2.45 Motor eje X.....	51
Figura 2.46 Motor eje Y.....	51
Figura 2.47 Motor eje Z junto al elemento terminal.....	51
Figura 2.48 Acoplamiento eje Z.....	52
Figura 2.49 Motor eje Z.....	52
Figura 2.50 Colocación eje Z.....	52
Figura 2.51 Estructura con Zona de Cultivo	53
Figura 3.1 Robot resultante.....	55
Figura 3.2 Ensayo de los motores en vacío	56
Figura 3.3 Motor lado izquierdo eje X.....	57
Figura 3.4 Posición motor lado izquierdo eje X.....	57
Figura 3.5 Motor lado derecho eje X.....	57
Figura 3.6 Posición motor lado derecho eje X	57
Figura 3.7 Colocación final motor eje X	58
Figura 3.8 Gráfica de estimación de ventas	61

Índice de tablas

Tabla 1.1 Planificación temporal.....	23
Tabla 2.1 Característica final de carrera.....	32
Tabla 2.2 Comandos Pronterface	40
Tabla 2.3 Propiedades aluminio 6061.....	41
Tabla 3.1 Rango de velocidades	59
Tabla 3.2 Recorrido de los ejes	59
Tabla 3.3 Estimación de ventas.....	61
Tabla 3.4 Presupuesto Materiales.....	62
Tabla 3.5 Presupuesto General del Prototipo.....	64
Tabla 3.6 Inversión inicial.....	64
Tabla 3.7 Presupuesto por unidad	65
Tabla 3.8 Amortización a 3 años	65
Tabla 3.9 Amortización a 5 años	65
Tabla 3.10 Cálculo VAN	66

SIGLAS Y ACRÓNIMOS

SIGLAS Y ACRÓNIMOS	
TFG	Trabajo fin de grado
CNC	Control Numérico Computarizado
RAMPS	RepRap Arduino Mega Pololu Shield
PAP	Paso a Paso
CAD	Diseño Asistido por Ordenador
ATX	Advanced Technology Extended
DC	Corriente Continua
VAN	Valor Actual Neto
TIR	Tasa Interna de Retorno

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

En este capítulo se ofrece una explicación breve de las razones y motivos por los cuales se ha llevado cabo la realización de este Trabajo Fin de Grado, así como un resumen de la organización y los resultados obtenidos.

1.1. MOTIVACIÓN DEL DESARROLLO DEL PROYECTO

El autoabastecimiento es el estado en el que el abastecimiento de bienes económicos o bienes de consumo depende de uno mismo, de modo, que no se requiere ayuda ni apoyo externo para la supervivencia, a lo que se le puede denominar agricultura sostenible [1]. Actualmente la alimentación sana está muy presente en la sociedad, puesto que cada vez son más las personas que se interesan en una dieta saludable. La solución puede estar en la producción para el autoconsumo, es decir, que se produzcan algunos alimentos en los hogares que, aunque posiblemente no representen todos los productos de las dietas cotidianas, puede asegurar la obtención de productos sanos, de buena calidad y a un precio mínimo. Si se posee una superficie de jardín o una ventana, es posible. Para ello se pretende aumentar la comodidad de la producción para el autoconsumo mediante ayuda de la Robótica y la mecatrónica [2], ya que muchas personas no tienen la posibilidad de tener un autoabastecimiento en el ámbito de la agricultura por culpa de la falta de tiempo y de no poder prestarle la atención suficiente a su plantación.

La robótica intenta sustituir a un operario humano en su trabajo físico y realizar las tareas de coger y situar, justo lo que se necesita para las tareas de agricultura de abastecimiento puesto que esta consiste en coger las semillas y plantarlas, al igual que luego estar pendiente al riego de estas. La Robótica abarca campos tan aparentemente distintos como el diseño de máquinas, teoría de control, electrónica, programación de computadores, inteligencia artificial, factores humanos y teoría de producción. Los robots se han convertido en herramientas indispensables para producir, trabajar y realiza tareas peligrosas, tediosas y repetitivas en la tierra y fuera de ella, transformando la forma de vida y trabajo de los humanos [3].

En el marco de la robótica de manipulación existen una serie de configuraciones que tienen de por sí denominaciones universalmente aceptadas debido a su mayor uso en robots industriales. Una de estas configuraciones son los robots cartesianos los cuales son los que mejor se adaptan a las características de las cuales va a estar dotado el sistema mecatrónico. Se tratan de tres ejes de movimiento lineal perpendiculares entre sí. Esta configuración da lugar a robots de alta precisión, gran capacidad de carga, amplia zona de trabajo y simplificación del sistema de control. Se usan en aplicaciones que requieren movimientos lineales de alta precisión y en los casos en que la zona de trabajo sea básicamente un plano [4].

Los robots de cualquier tipo, industrial o no industrial no son tan rápidos ni tan eficientes como las máquinas automatizadas de uso especial. Sin embargo, estos robots pueden fácilmente reentrenarse o reprogramarse para realizar un sinnúmero de tareas, mientras que una máquina automatizada de uso o propósito especial, incluso una máquina de control numérico computarizado (CNC), solo puede realizar una serie de labores muy limitadas. Es el grado de reprogramabilidad lo que distingue un robot de una máquina-herramienta de CNC. A pesar de ello, no hay ninguna línea de demarcación internacionalmente reconocida. Queda la pregunta, pues, sobre cuándo debe considerarse que un determinado trabajo ha de ser ejecutado por una persona, un robot o una máquina especial. La respuesta a esta pregunta no es sencilla. En todo el mundo, los robots se usan más extensiva y ampliamente en la industria automotriz. En los últimos años, sin embargo, además de este sector, una fuerte demanda de la industria de componentes electrónicos, de la industria de equipos de comunicación y de la de computadoras están reforzando el incremento de la participación en el mercado [5].

Actualmente a estos sectores se está uniendo el sector de la agricultura, y más concretamente el sector de la agricultura sostenible.

La agricultura sostenible es el resultado del debate de como continuar incrementando la producción para satisfacer la necesidad de alimentos y fibras de una población creciente, conservando los recursos utilizados para dicha producción.

La agricultura sostenible integra tres objetivos fundamentales:

- Conservación de los recursos naturales y protección del medio ambiente.
- Viabilidad económica.
- Equidad social.

La sostenibilidad agrícola es concebida de forma muy distinta por las diferentes culturas y sociedades [6].

Lo que se pretende hoy en día, es unir estos dos ámbitos en uno. En este ámbito de trabajo, la empresa Farmbot ha desarrollado el Farmbot, el cual consiste en un robot cartesiano con el que se puede plantar, regar y realizar todas las tareas de la agricultura de autoabastecimiento. Lo que se pretende con este proyecto final de grado es reproducir la experiencia del Farmbot para mejorar la producción para el autoconsumo, e intentar mejorar sus prestaciones y abaratar los costes para que sea más accesible a todo el mundo.

1.2. OBJETIVOS DEL PROYECTO

El objetivo principal del Trabajo Fin de Grado es el desarrollo de un sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento basado en la arquitectura del Farmbot.

Para ello hay que cumplir los siguientes subobjetivos:

- Desarrollo del espacio de trabajo del que va a disponer el robot. Se debe definir el espacio de trabajo en el cual va a trabajar el robot, ya que se debe saber el recorrido que va a tener el robot en cada uno de sus ejes.

- Diseño de la estructura del robot. Una vez que se conoce el espacio de trabajo del robot, se procede al estudio de su estructura, sabiendo que debe ser resistente y debe tener una altura adecuada para que no ponga impedimento al crecimiento de las plantas. Además, es necesario conocer qué actuadores y elementos terminales es el que va a llevar el robot, en este caso va a llevar boquillas con las cuales el robot va a ser capaz de plantar, regar y realizar todas las acciones. Estas deben ser capaz de intercambiarse automáticamente.
- Programación del robot para el cultivo automático y autosuficiente. Para terminar, se debe programar el robot para su funcionamiento y su movimiento automático. Por otro lado, hay que poner en funcionamiento los sensores para que se pueda estimar la posición del robot en todo momento. También hay que tener en cuenta donde se sitúa toda la parte electrónica puesto que, si el robot se sitúa al aire libre, puede ser malo para toda la parte electrónica.

1.3. CONTEXTO DEL PROYECTO

El presente Trabajo Fin de Grado (TFG) supone para su autor la culminación de los estudios de Grado en Ingeniería Mecánica por la Universidad de Almería, cursados en el periodo comprendido entre 2012 y 2017. Se trata de una de las propuestas ofrecida por el Grupo de Investigación TEP-197 *Automática, Robótica y Mecatrónica*.

El TFG ha supuesto la realización de un proyecto cuya modalidad es la de trabajo técnico en la línea de trabajo de la mecatrónica, en el que se ha aplicado y desarrollado los conocimientos adquiridos a lo largo de la carrera y se han adquirido otros nuevos. Ha sido realizado de forma individual, bajo la supervisión de los directores asignados.

Además del abanico de posibilidades que este proyecto ofrece (TFG, TFM, tesis, artículos...), sería posible emplear en el futuro para experimentos relacionados con campos de la agricultura o robótica, así como la realización de prácticas de las distintas asignaturas de los Grados de Ingeniería Industrial.

1.4. RESUMEN DE LOS RESULTADOS OBTENIDOS

En este proyecto se ha llevado a cabo la construcción de un robot cartesiano con el objetivo de desarrollar un sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento (Figura 1.2). Para ello se ha llevado a cabo una serie de ensayos para poder crear dicho robot de la forma más óptima tanto de medios económicos como sencillez a la hora del sistema de control con el que se va a manejar todo el sistema mecatrónico.

Se han instalado motores paso a paso (PAP) con los cuales se procede al movimiento de cada uno de los ejes. Para la optimización de los motores, se ha procedido a la realización de una serie de ensayos con el fin de obtener la posición más óptima a la hora de colocar los motores en cada uno de los ejes.

Sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento

Además, se han fabricado mediante impresión 3D, los elementos terminales (Figura 1.1) de los que va a estar dotado el robot. La función de estos va a ser de siembra y de riego.

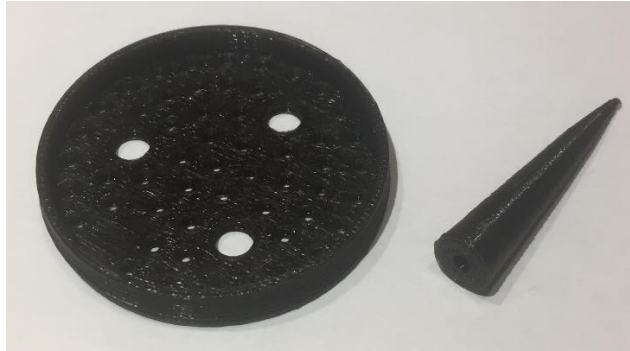


Figura 1.1 Elementos terminales, a la izquierda un accesorio para riego y a la derecha un accesorio de siembra

Finalmente se ha procedido a la instalación de un cajón de madera en la parte inferior de la estructura con el fin de ser el lugar de cultivo que se va a tener y donde el robot deberá realizar las distintas tareas que se le ordenen mediante el software de control.

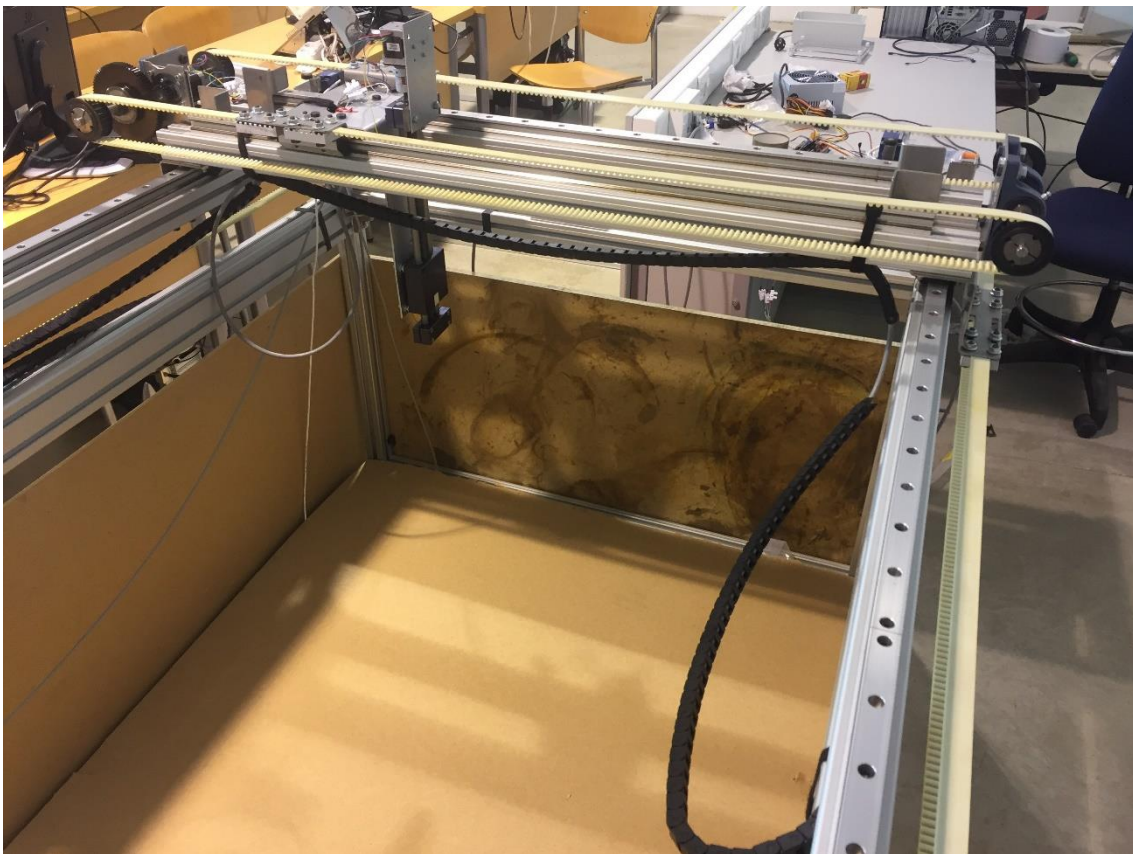


Figura 1.2 Estructura sistema mecatrónico

1.5. PLANIFICACIÓN TEMPORAL

A continuación, se presentan las etapas de desarrollo llevadas a cabo durante la realización de este TFG.

1. Estudio de los componentes, selección y compra del material. Se procede a un estudio exhaustivo de los componentes, relacionados con este TFG y a la vez relacionados entre sí, para los elementos a utilizar en la instalación.
2. Montaje de los componentes y verificación de los mismos. Una vez obtenidos todos los componentes, se procede al montaje de los motores sobre protoboard para verificar que funcionan bien, para posteriormente, poder instalarlos en el robot.
3. Montaje de los componentes en la estructura. Montar los componentes en la estructura.
4. Realización de ensayos. Se realizará una serie de ensayos y pruebas para comprobar las distintas velocidades que se llegan a alcanzar con los motores que se han instalado.
5. Elaboración de la memoria.

La Tabla 1.1 muestra un desglose de las actividades llevadas a cabo para la realización de este proyecto y el tiempo empleado en cada una de dichas actividades.

Actividad Realizada	Tiempo empleado
Estudio de los componentes y compra del material	2 semanas
Montaje de los componentes en la estructura	4 semanas
Realización de ensayos	1 semana
Análisis de los resultados obtenidos	3 días
Evaluación económica	2 día
Elaboración de la memoria	5 semanas
TOTAL	13 semanas

Tabla 1.1 Planificación temporal

En la siguiente figura (Figura 1.3) se muestra como se ha repartido las tareas mencionadas en la tabla 1-1.

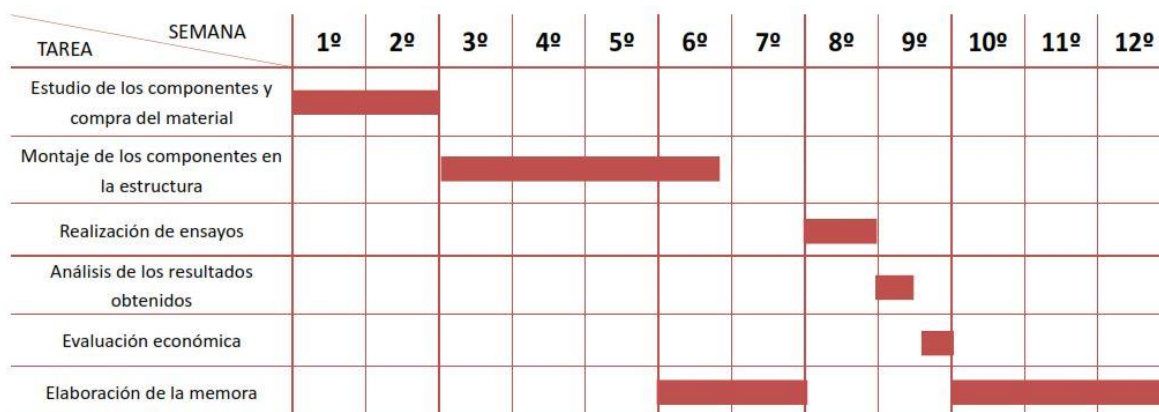


Figura 1.3 Cronograma temporal

A una media de 5 días a la semana y 5 horas dedicadas al día a la elaboración completa de este TFG, se estima una duración de alrededor de 325 horas trabajadas, cumpliendo con los requisitos establecidos en la normativa de realización del Trabajo Fin de Grado.

1.6. ESTRUCTURA DE LA MEMORIA DEL TFG

La memoria se encuentra dividida en 4 capítulos:

- Capítulo 1: Introducción. En este capítulo del proyecto se comenta la motivación que se ha llevado para la realización de este TFG, los objetivos que se pretende llevar a cabo, un resumen de los resultados obtenidos, la planificación temporal y la organización de la memoria.
- Capítulo 2: Materiales y Métodos. En este capítulo se describe los principales materiales que se han utilizado para la realización de este proyecto, así como los métodos que se han seguido.
- Capítulo 3: Resultados y Discusión. En este capítulo se muestran los ensayos y las pruebas realizadas para la validación de las especificaciones que debe cumplir el sistema. También se hace un análisis del coste económico que tiene este proyecto.
- Capítulo 4: Conclusiones y trabajos futuros. En este capítulo, se comentan las conclusiones a las que se han llegado tras el estudio de los resultados obtenidos, así como los trabajos futuros que podrían plantearse en relación con este TFG.

Capítulo 2

MATERIALES Y MÉTODOS

En este capítulo se ofrece una explicación sobre los materiales que han elegido para este proyecto, así como los métodos a utilizar

2.1. ARQUITECTURA FARBOT

Este proyecto se ha basado en el proyecto FarmBot (Figura 2.1) [2], una máquina inteligente de 1,5 metros de ancho y 3 metros de longitud que es capaz de sembrar, regar las plantas e incluso limpiar la maleza que crece alrededor de ellas para garantizar su óptimo crecimiento.

El robot, cuyo consumo de energía diario equivale a mantener un computador encendido durante una hora y media, puede operar a la intemperie, en un invernadero o incluso en el tejado de una casa.

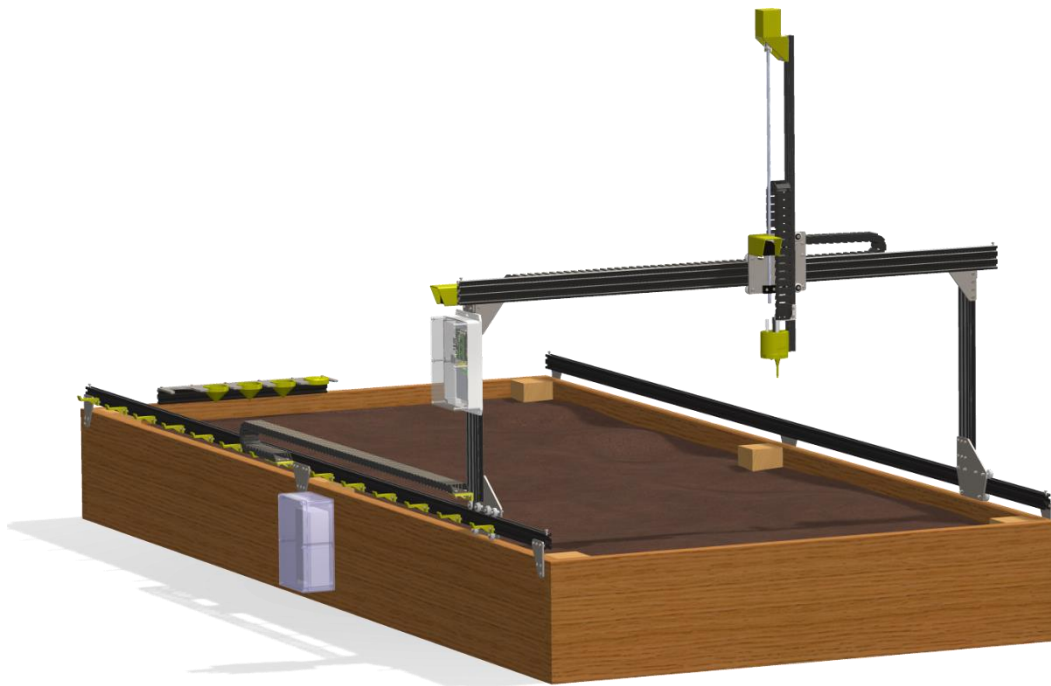


Figura 2.1 FarmBot

FarmBot es una máquina de agricultura de precisión automática escalable y de código abierto diseñada desde cero. De forma similar a las impresoras 3D y fresadoras de control numérico por computador (CNC) de hoy en día, el hardware de FarmBot emplea guías lineales en los modelos X, Y, y Z que permiten que los útiles tales como arados, inyectores de semillas, boquillas de riego y sensores, se posicionen con precisión y se usen en la Plantas y suelos.

Todo el sistema está controlado numéricamente y por lo tanto totalmente automatizado desde la siembra de semillas hasta la cosecha. El hardware está diseñado para ser escalable, simple y hackeable. Usando el paquete de software basado en web open source, el agricultor puede diseñar gráficamente su granja con sus especificaciones deseadas y cargar el código de control numérico al hardware. Otras funciones de software incluyen almacenar y manipular mapas de datos, para facilitar el diseño basado en datos, el acceso a repositorios de datos abiertos y el análisis de clase empresarial. FarmBot tiene varias ventajas distintas sobre los métodos y tecnologías actuales.

El equipo y la tecnología de la agricultura se han estado convirtiendo cada vez más exactos con la llegada del GPS y de la radio corta del rango de localización, piloto automático de tractor, visión por ordenador, herramientas de mapeo de datos y herramientas de tasa variable. Estas tecnologías aumentan incrementalmente las habilidades de tractores liberados para permitir que se realicen algunos de los muchos beneficios de la agricultura de precisión.

En lugar de hacer cambios incrementales a los equipos existentes, FarmBot adopta un nuevo enfoque en la agricultura de precisión. Simplemente colocando el equipo de herramientas sobre un conjunto de pistas, el sistema tiene la capacidad de ser extremadamente preciso y repositionar herramientas en ubicaciones exactas repetidamente con el tiempo. Esto se hace con tecnología similar que ha existido durante décadas en impresoras, equipos de fabricación y, más recientemente, impresoras 3D y fresadoras CNC.

FarmBot eventualmente se convierte en un sistema completamente automatizado desde el punto de agregar insumos masivos como semillas y agua, lo que luego dará lugar a diferentes productos, como pueden ser tomates. FarmBot tiene como objetivo eliminar la necesidad de mano de obra humana para conducir tractores, retirar malezas, cosechar y completar otras operaciones. Como el software y el análisis de datos mejoran, el trabajo del agricultor para crear un diseño de granja y administrar la operación del FarmBot también será eliminado en favor de los diseños de granja descargables y generados automáticamente. Al automatizar más de los procesos, la eficiencia se maximizará mediante una vigilancia constante, una toma de decisiones optimizada, la minimización de los residuos y los insumos y la reducción de la necesidad de mano de obra humana [7].

FarmBot permite plantar en una estructura de embalaje más eficiente en el espacio, o disposición, de plantas que minimiza el espacio entre ellas. Inspirado por el Hexagonal de los átomos, la estructura atómica más eficiente en el espacio, FarmBot permite el cierre hexagonal de las plantas. Esta disposición aumenta la cantidad de área plantada en más del 12% en comparación con la disposición cúbica tradicional. Esta significa que uno podría cultivar un 12% más de alimentos en la misma área de tierra sin disminuir el espacio que cada planta necesita.

Además, la mayoría de los diseños agrícolas tradicionales requieren espacio para que las grandes ruedas del tractor se adapten a través de filas de plantas. Las pistas de FarmBot se pueden colocar más lejos Aparte de las vías de la rueda del tractor y la anchura requerida por vía puede ser más estrecha.

El mayor inconveniente de Farmbot actualmente es el tiempo de entrega, debido a que los kits los fabrican bajo pedido por antelación y solamente hacen dos entregas al año, en julio y en diciembre. A parte de esto, otro de los mayores inconvenientes es el coste económico del kit, ya que ronda alrededor de unos 3.000€, contando que el kit viene sin montar.

2.2. ESPECIFICACIONES

Para un diseño óptimo del robot se deben de tener en cuenta una serie de especificaciones que debe cumplir el sistema, para posteriormente comprobar si el resultado final cumple dichas especificaciones y si cumple el objetivo o no.

En primer lugar, se debe de conocer el propósito para la que va a estar destinada el robot, puesto que dependiendo de la finalidad que vaya a desarrollar las especificaciones van a cambiar. En este proyecto en concreto la finalidad va a ser el cultivo agrícola, por lo tanto, no es necesario que la precisión del robot sea muy elevada, pero si es necesario que el movimiento de este sea lineal y continuo y cuyo error no sea mayor de 2 cm debido a que si se supera dicho error muchas de las funciones, como la de riego no serían satisfactorias ya que el agua no caería en el punto donde se encuentra la semilla.

La importancia de las características de que el movimiento sea continuo se debe al hecho de conseguir una mayor duración de los motores que darán movimiento a los ejes del robot, debido a que en el momento que un motor no funcione de forma continua puede dar lugar a que este comience a sufrir daños internos y su vida útil se verá seriamente reducida. También se debe tener en cuenta la velocidad a la que se va a mover cada uno de los ejes que compone el robot, puesto que es un robot para el cultivo, no es necesario un alto par motor, lo que conlleva a que la velocidad no debe de ser extremadamente elevada, por eso se ha decidido poner una velocidad mínima óptima de 35 rev/min en los ejes X e Y, ya que se pretende que el robot no tarde más de 4 minutos en recorrer la distancia completa.

Por otro lado, se debe asignar un espacio a cada una de las plantas que se va a cultivar y teniendo en cuenta las medidas de la estructura del robot cartesiano, se ha decidido tener un total de 8 filas y 5 plantas en cada una de estas filas, debido a que las plantas necesitan un espacio mínimo de 300 cm².

2.3. DESCRIPCIÓN GENERAL

En este capítulo se describe el conjunto del robot, sus componentes, dimensiones, características importantes y el funcionamiento combinado de todos los elementos.

Aunque existen diferentes tipos de articulaciones que proporcionan distintos grados de libertad, en la práctica la mayoría de las cadenas cinemáticas de los robots están formadas por dos subcadenas cinemáticas. La primera está compuesta por lo general por articulaciones de un grado de libertad, y se emplea para posicionar el extremo del robot en el espacio. La segunda se suele emplear para componer la muñeca del mismo mediante una articulación de tipo esférico, que una vez posicionado el extremo del robot en el espacio, permitirá orientar la herramienta.

Desde este punto de vista, la clasificación de las configuraciones cinemáticas se centra sobre las distintas combinaciones posibles. Para este proyecto se ha optado por escoger la configuración de robot cartesiano debido a que en este proyecto el robot va a tener solamente 3 ejes, es necesario que la altura que ofrezca sea lo más elevada posible y el costo de estos es menor que los robots de brazo articulado [8].

El robot de tipo cartesiano es aquel que está formado por tres articulaciones de tipo prismático, compuestas según tres ejes cartesianos ortogonales entre sí. Suelen ser adecuados en aplicaciones en las que son necesarios movimientos de tipo lineal y grandes longitudes.

El sistema de referencia del robot está formado por tres ejes ortogonales nombrados del X al Z. En la figura siguiente (Figura 2.2) se puede observar la disposición de los mismos.

- El eje X coincide con la dimensión más grande de la vista en planta.
- El eje Y coincide con la dimensión menor de la vista en planta.
- El eje Z coincide con la vertical de la vista en alzado.

Para este proyecto, se ha decidido aprovechar una estructura diseñada en otro proyecto final de carrera de la Escuela Superior de Ingeniería de la Universidad de Almería, cuyo autor es Luis López Salvador y cuyo título es “*Diseño y construcción de un robot cartesiano*” [9].

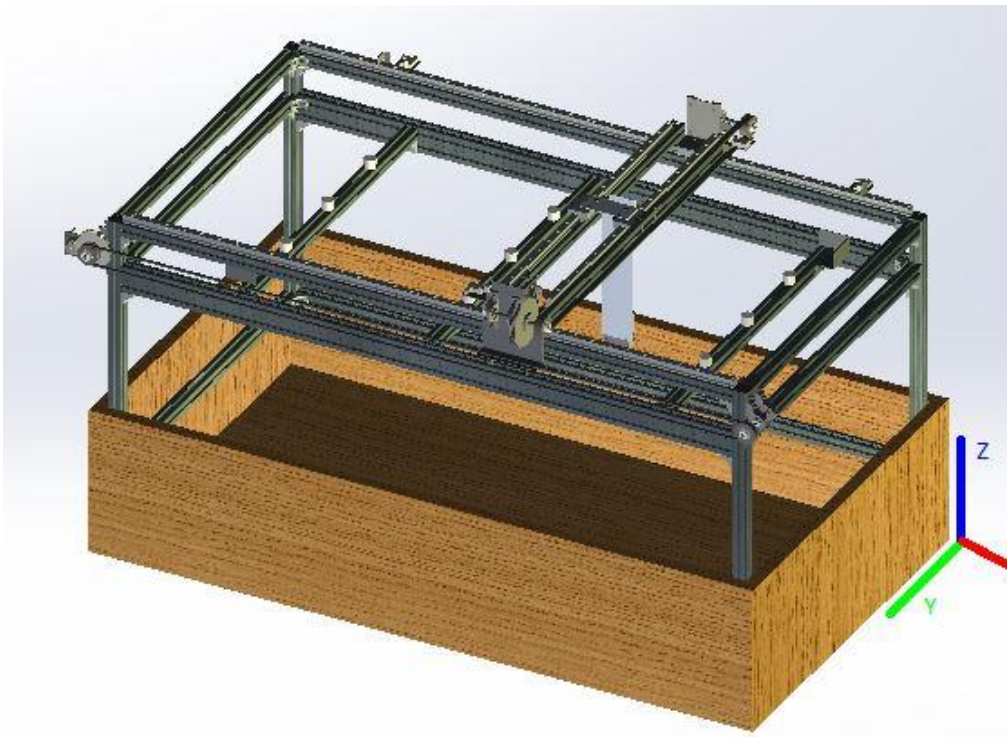


Figura 2.2 Ejes de coordenadas

El robot cartesiano consta de una estructura formada a partir de perfiles de aluminio (Figura 2.3 y Figura 2.4), que, si bien no presentan la rigidez y solidez de una estructura de acero, pues el módulo de rigidez a la flexión del acero (módulo de Young) del acero es tres veces superior a la del aluminio, este último tiene la ventaja de ser más ligero y las aleaciones actuales de este material consiguen una resistencia a la tracción superior a los 200 MPa y un límite elástico cercano a este valor.

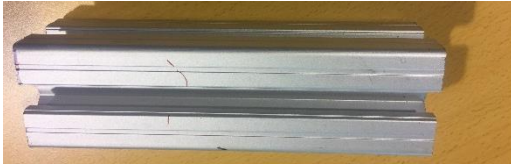


Figura 2.3 Vista alzado del perfil de aluminio



Figura 2.4 Vista lateral del perfil de aluminio

Otra ventaja de los perfiles de aluminio es que tienen segundos momentos de área grandes en relación con su superficie, lo que permite que su comportamiento a flexión sea competitivo. Su geometría se adecua al montaje modular, de forma que no es necesario soldar los puntos de unión ni realizar complejos conjuntos con placas y tornillos que garanticen la estabilidad de la estructura.

Las uniones de los perfiles de aluminio se realizan mediante elementos angulares (Figura 2.5 y Figura 2.6), también de aluminio, que permiten su fijación a las barras mediante tornillos y, por lo tanto, son fácilmente adaptables a un cambio de situación o de necesidades constructivas diferentes a las desarrolladas.



Figura 2.5 Elemento angular para la unión de los perfiles



Figura 2.6 Unión de los perfiles de aluminio

2.4. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL

La estructura de la máquina está formada por perfiles de aleación de aluminio ISO AlMgSi 0.5 F 25. Los perfiles se unen entre sí por ángulos de aleación de aluminio que son fijados a las barras por tornillos M8 de acero de calidad 8.8, que disponen de una cabeza en forma de martillo adaptada a los perfiles y por tuercas con brida que facilitan la unión al disponer de más área de asiento (Figura 2.7).

Además, dispone de tapas para ocultar aristas y evitar accidentes y de patas ajustables para nivelar adecuadamente el soporte. En su nivel superior se apoyan los raíles de deslizamiento a lo largo del eje X que permiten que el resto de los elementos móviles se puedan deslizar convenientemente.

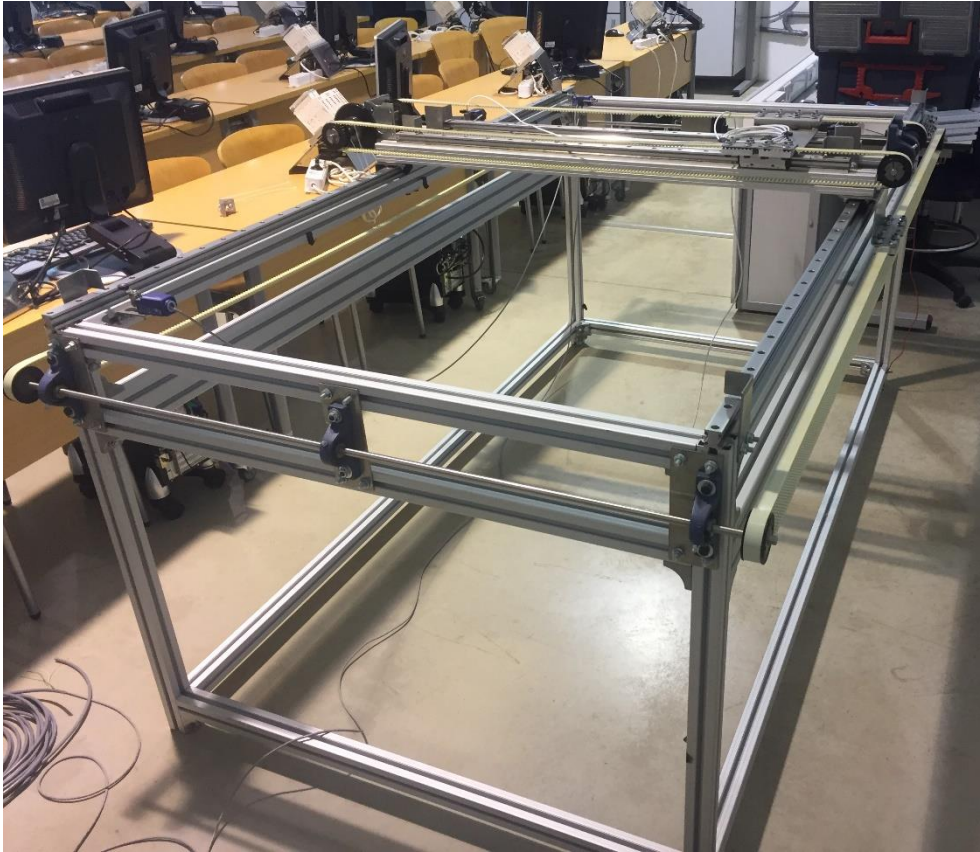


Figura 2.7 Sistema Estructural

En su nivel superior se apoyan los raíles de deslizamiento a lo largo del eje X que permiten que el resto de los elementos móviles se puedan deslizar convenientemente.

El eje X está compuesto un motor que le proporciona la fuerza, dos ejes, tres rodamientos para cada eje y dos poleas en cada extremo de los ejes que transmiten el movimiento a las correas síncronas HTD. Esta cinta está sujeta a los elementos que se han de deslizar por los raíles.

El eje Y está formado por un conjunto de elementos similar al eje X, incluyendo la estructura que da soporte al mismo, así como al sistema del eje Z, aunque a estos ejes solo les proporcionan la fuerza un solo motor. Esta estructura lleva en su parte inferior patinetes de deslizamiento lineal para facilitar el desplazamiento del conjunto sobre los raíles del eje X.

El eje Z se asienta sobre una placa que está unida mediante tornillos a los patinetes de deslizamiento lineal del eje Y facilitando así el desplazamiento. Sobre esta irá colocado un tornillo sin fin, el cual será el eje Z (Figura 2.8).

Estos actuadores también están formados por un motor de corriente continua que acciona un corriente sin fin. Pero en este caso, se dispone de un elemento intermedio que se desplaza a lo largo del recorrido.

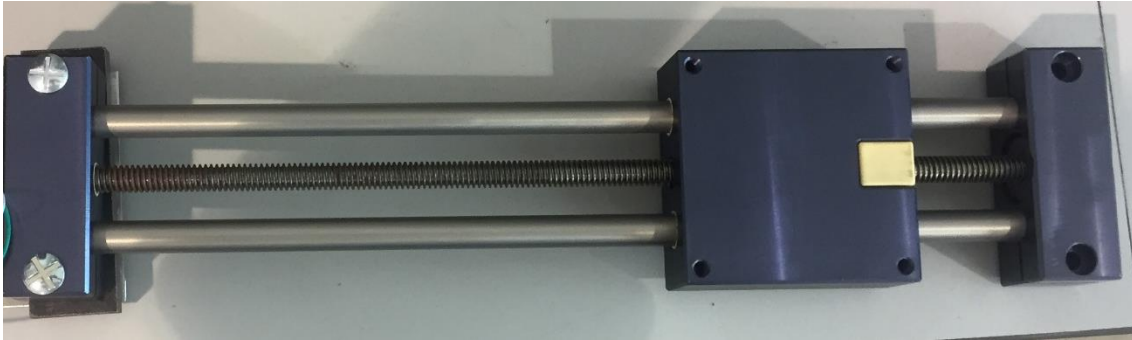


Figura 2.8 Elemento terminal robot

En este caso, las características del actuador dependerán del motor empleado, pudiendo encontrar un motor DC o un motor de paso a paso.

En general tienen baja velocidad, alta precisión y alto par, aunque depende en gran medida de si emplea un motor DC o un motor paso a paso. Son muy frecuentes en aplicaciones lineales que requieren alta precisión, como máquinas CNC o impresoras 3D.

El rango de posicionamiento (en mm) de los ejes son los siguientes:

- Eje X → 2000 mm
- Eje Y → 900 mm
- Eje Z → 250 mm

2.5. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA SENSORIAL

Al igual que el armazón, los sensores guardan una estrecha relación con la tarea a realizar. Debe planificarse tanto su tipo como su posición en el robot para conseguir resultados óptimos. Los sensores se pueden clasificar en; digitales, analógicos y sensores especiales. En este caso se va a proceder al uso de sensores digitales ya que los sensores digitales devuelven un valor lógico binario o, lo que es lo mismo, un 0 o un 1, es por esto por lo que son más sencillos a la hora de utilizarlos.

Los más conocidos y sencillos son los conmutadores, entre los que encuentran los pulsadores e interruptores. Se utilizan para el encendido y apagado del sistema y la introducción de conjuntos de datos binarios. La diferencia entre ambos está en el enclavamiento, ya que un pulsador recupera su posición una vez que desaparece la fuerza que lo activó, mientras que un interruptor permanece en la nueva posición.

Un tipo especial de detector mecánico sin enclavamiento es el llamado “bumper”, que en robótica se emplea para la detención de obstáculos o finales de carrera. Se trata de un conmutador con una lámina mecánica para su activación.

Entre las ventajas encontramos la facilidad en la instalación, la robustez del sistema es insensible a estados transitorios, trabaja a tensiones altas, debido a la inexistencia de imanes es inmune a la electricidad estática.

Sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento

Los inconvenientes de este dispositivo son la velocidad de detección y la posibilidad de rebotes en el contacto, además depende de la fuerza de actuación.

Para este proyecto se ha decidido colocar seis finales de carrera Telemecanique ZCP21 [10] (Figura 2.9), los cuales van a ir situados dos en cada uno de los ejes.



Figura 2.9 Final de carrera Telemecanique ZCP

En la siguiente tabla (Tabla 2.1) se pueden ver las características de los finales de carrera.

Telemecanique ZCP 21	
Material	Plástico
Nº Polos	2
Tipo	NC
Operación	Acción rápida
Velocidad Accionamiento	0,01 m/s
Tensión de aislamiento [Ui]	300V
Tensión soportada [Uimp]	6 kV
Fusible	10A
Ancho	31 mm
Alto	65 mm
Profundidad	30 mm
Peso	0,07 kg

Tabla 2.1 Característica final de carrera

2.6. DESCRIPCIÓN DE LOS ACTUADORES

Los robots deben actuar en el entorno para desempeñar la tarea encomendada. Esto se lleva a cabo mediante el uso de actuadores. Podemos dividir a éstos en dos grandes grupos; los motores y otros. El primer uso que se va a dar a los motores es el de movimiento, ya que lo normal es que el robot necesite desplazarse para lograr su objetivo. Al igual que ocurría con la estructura

o los sensores, su elección dependerá de la tarea, y no hay unos mejores que otros, sino más o menos adecuados según la circunstancia. Así, un robot para sumo necesitará potencia, mientras que en uno rastreador se optará por la velocidad. La disposición de los motores dependerá del tipo de movimiento que se quiera conseguir. En este caso los motores deberán ir situados uno en cada eje, ya que se va a necesitar tres grados de libertad [11].

Entre los motores más corrientes se encuentran los motores de corriente continua (DC), los servos motores o servos y los motores paso a paso (PAP). Los primeros se utilizan casi siempre junto con un sistema de engranajes que reducen la velocidad y proporcionan mayor fuerza. El segundo sistema y quizás el más extendido en robótica, consiste en la utilización de servos de radiocontrol que tienen la gran ventaja de ser económicos y fáciles de usar en cualquier tipo de robot. Los motores PAP son esencialmente un servomotor que utiliza un método diferente de motorización. Un motor servo utiliza la rotación continua de un motor DC controlando el giro con el circuito de control integrado, mientras que los motores PAP utilizan múltiples electroimanes dentados dispuestas alrededor de un engranaje central para definir su posición.

En este proyecto se han decidido utilizar motores PAP debido a su sencilla programación mediante la placa Arduino, ya que mediante el ordenador se le van a poder dar las distintas ordenes de movimiento.

Estos no han sido considerados, generalmente, dentro de los accionamientos industriales, debido principalmente a que los pares para los que estaban disponibles eran muy pequeños y los pasos entre posiciones consecutivas eran grandes. Esto limitaba su aplicación a controles de posición simples. En los últimos años se han mejorado notablemente sus características técnicas, especialmente en lo relativo a su control, lo que ha permitido fabricar motores PAP capaces de desarrollar pares suficientes en pequeños pasos, para su uso como accionamientos industriales [12].

En los motores PAP la señal de control son trenes de pulsos que van actuando rotativamente sobre una serie de electroimanes dispuestos en el estator. Por cada pulso recibido, el rotor del motor gira un determinado número discreto de grados.

Para conseguir el giro del rotor en un determinado número de grados, las bobinas del estator deben ser excitadas secuencialmente a una frecuencia que determina la velocidad de giro. Las inercias propias del arranque y parada impiden que el rotor alcance la velocidad nominal instantáneamente, por lo que ésta, y, por tanto, la frecuencia de los pulsos que la fija, debe ser aumentada progresivamente.

Para simplificar el control de estos motores existen circuitos especializados que a partir de tres señales generan, a través de una etapa lógica, las secuencias de los pulsos que un circuito de conmutación distribuye a cada fase.

Su principal ventaja con respecto a los servomotores tradicionales es su capacidad para asegurar un posicionamiento simple y exacto. Pueden girar además de una forma continua, con velocidad variable, como motores síncronos, ser sincronizados entre sí, obedecer a secuencias de funcionamiento complejas, etc. Se trata al mismo tiempo de motores muy ligeros, fiables y fáciles de controlar, pues al ser estable cada estado de excitación del estator, el control se realiza en bucle abierto, sin la necesidad de sensores de realimentación.

Entre sus inconvenientes, se puede citar que su funcionamiento a bajas velocidades no es suave, y que existe el peligro de pérdida de una posición por trabajar en bucle abierto. Tienden a sobrecalentarse trabajando a velocidades elevadas y presentan un límite en el tamaño que puede alcanzar.

El robot va a ir dotado de cuatro motores PAP, NEMA 17 (Figura 2.10), estos irán colocados, uno en el eje X, uno en el eje Y y el último en el eje Z, debido a que se corresponde a cada uno de los grados de libertad del robot.

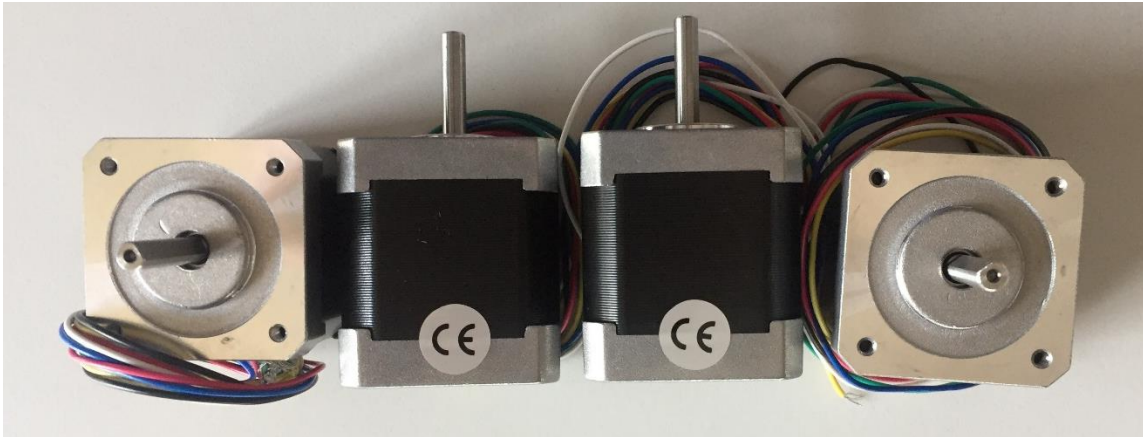


Figura 2.10 Motores PAP NEMA 17

Este motor paso a paso NEMA 17 es bipolar, tiene un ángulo de paso de 1.8° (200 pasos por vuelta) y cada bobinado es de 1.2 A a 4 V, con una resistencia de 3.3 Ohm por bobina, capaz de cargar con 3.2 kg/cm (44 oz-in). El diámetro del eje es de 5 mm y la longitud es de 25 mm. El peso total del motor es de 350 gramos.

Es un motor muy robusto ampliamente utilizado en impresoras 3D, aunque este es ligeramente más potente del recomendado para garantizar la mejor fiabilidad.

Que un motor de 2.5A se controle a 250 mA hace que este entregue un par muy inferior a su par máximo. En el control a corriente constante, la resistencia del devanado es importante, así los motores se suelen controlar con una alimentación varias veces superior a la tensión nominal del motor para poder conseguir mejores prestaciones; sin por ello comprometer la salud del motor. Luego, si el motor es de 12V y el control trabaja a 12V no se podrá conseguir tan buen rendimiento como si, por ejemplo, el motor es de 3.1V a 12V; ya que, en ese caso, es cuatro veces la tensión nominal.

2.7. DESCRIPCIÓN DEL ELEMENTO TERMINAL

Los elementos terminales, también llamados efectores finales, son los encargados de interactuar directamente con el entorno del robot. Pueden ser tantos elementos de aprehensión como herramientas.

Si bien un mismo robot industrial es, dentro de unos límites lógicos, versátil y readaptable a la gran variedad de aplicaciones, no ocurre así con los elementos terminales, que son en muchos casos específicamente diseñados para cada tipo de trabajo.

Este elemento terminal irá dotado de cabezales intercambiables para poder realizar las distintas tareas de cultivo, los cuales se acoplarán al elemento terminal mediante un imán. En concreto se van a fabricar dos cabezales, el cabezal del sistema de riego (Figura 2.11) y el cabezal del inyector de semillas (Figura 2.12).

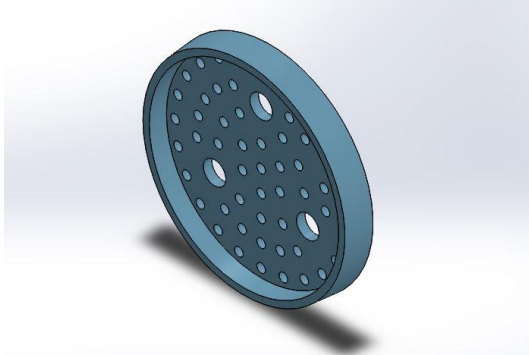


Figura 2.11 Diseño del accesorio para riego

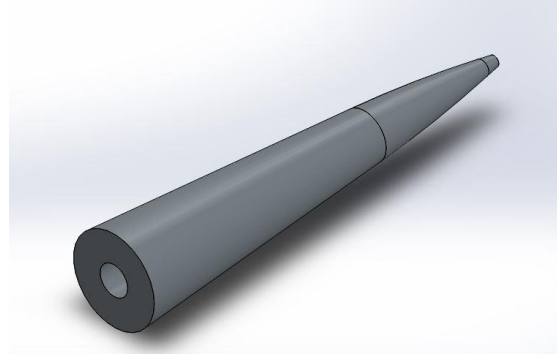


Figura 2.12 Diseño del inyector de semillas

La boquilla de riego funciona como una simple boquilla difusora de agua. Está hecha en impresión 3D con algunas piezas adicionales para el acoplamiento magnético (Figura 2.13). Funciona como una simple boquilla difusora al recibir una corriente concentrada de agua.

El inyector de la semilla trabaja usando una bomba de vacío fuerte para aspirar y sostener una sola semilla en el extremo. Está hecho de una sola pieza de plástico impreso 3D con algunos otros componentes atornillados en él para acoplamiento magnético (Figura 2.14).



Figura 2.13 Accesorio para riego



Figura 2.14 Inyector de semillas

2.8. CONTROLADOR

Este proyecto se ha llevado a cabo mediante Arduino, una plataforma de código abierto que se encuentra actualmente en auge.

La plataforma Arduino está basada en prototipos de electrónica flexible y fácil de usar hardware y software. Arduino puede detectar el medio ambiente mediante la recepción de variables precedentes de los sensores y puede interactuar con su alrededor mediante el control de luces, motores y otros actuadores.

Estos circuitos integran los componentes necesarios para permitir un uso rápido y sencillo del microcontrolador. Esta simplificación está orientada a hacer accesible a todos la creación y la programación de objetos o dispositivos interactivos. Estos objetos pueden contener todo tipo de captadores, indicadores luminosos o interruptores que queramos.

Dentro de la variedad de productos que ofrece Arduino, para este TFG se ha decantado por *Arduino Mega 2560* (Figura 2.15) [13].

Arduino Mega 2560 es otro producto popular entre las tarjetas Arduino. Perfecta para las aplicaciones Arduino un poco más grandes, está formada por todos los elementos necesarios que permiten la construcción de objetos avanzados.

La tarjeta Arduino Mega 2560 está formada por 54 pines de entrada/salida, de los cuales 15 se usan en modo PWM, 16 conectores de entrada analógica, 4 puertos en serie, una conexión USB, una toma de alimentación, un puerto ICSP y de un botón RESET.

Como Arduino Uno, Arduino Mega 2560 se puede alimentar a través del puerto USB cuando se conecta al ordenador o a través de la toma de alimentación con el puerto jack o la entrada de alimentación. La fuente de alimentación que proporcione el mejor voltaje será la fuente de alimentación que la tarjeta seleccione. Como para Arduino Uno, es aconsejable utilizar una alimentación de entre 7V y 12V de corriente continua para alimentar la tarjeta [14].

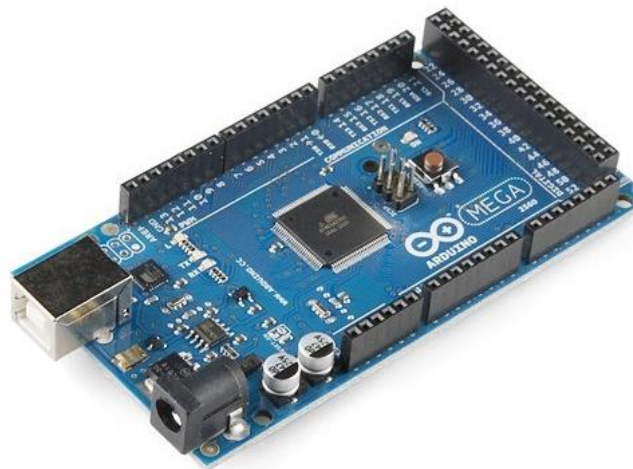


Figura 2.15 Arduino Mega 2560

Arduino Mega 2560 tiene, como Arduino Uno, una entrada de alimentación (VIN), un conector 5V, un conector 3.3V y tomas de tierra.

Entre otros, las tarjetas Arduino están equipadas con conectores estandarizados donde se acoplan módulos compatibles, denominados shields. Estos últimos son circuitos de un tamaño más o menos parecido al de Arduino y que se apilan sobre estos conectores. Ofrecen extensiones de hardware que permiten añadir funcionalidades originales a su proyecto. Además de estos conectores, las tarjetas tienen conectividad USB, que permiten programar fácilmente el microcontrolador que incorporan.

En este proyecto se ha decidido utilizar la RAMPS, RepRap Arduino Mega Pololu Shield (Figura 2.16) [15], es un shield o placa adicional a Arduino que traduce las ordenes digitales de nuestro ordenador en ordenes por pasos, a través de los drivers para los motores paso a paso. Está diseñada para ser utilizada junto con un Arduino MEGA 2560 y aunque mayoritariamente se utiliza como controladora para impresoras 3D, es posible utilizarla en todo tipo de proyectos donde necesites controlar de forma eficiente hasta 5 motores paso a paso como pequeñas fresadoras CNC, sistemas X, Y, Z, A, etc. También dispone de una amplia documentación.

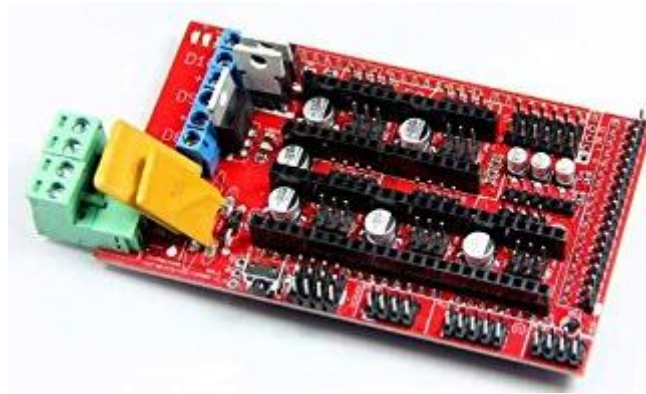


Figura 2.16 RAMPS Shield 1.4

A esta placa se le van a añadir cuatro controladores, uno por cada motor, DRV8825 (Figura 2.17), el cual simplifica el manejo de motores paso a paso desde un autómatas o procesador como Arduino.

Además, permite manejar los altos voltajes e intensidades que requieren estos motores, limitar la corriente que circula por el motor, y proporcionan las protecciones para evitar que la electrónica pueda resultar dañada.

Para su control únicamente requieren dos salidas digitales, una para indicar el sentido de giro y otra para comunicar que queremos que el motor avance un paso. Además, permiten realizar microstepping, una técnica para conseguir precisiones superiores al paso nominal del motor.

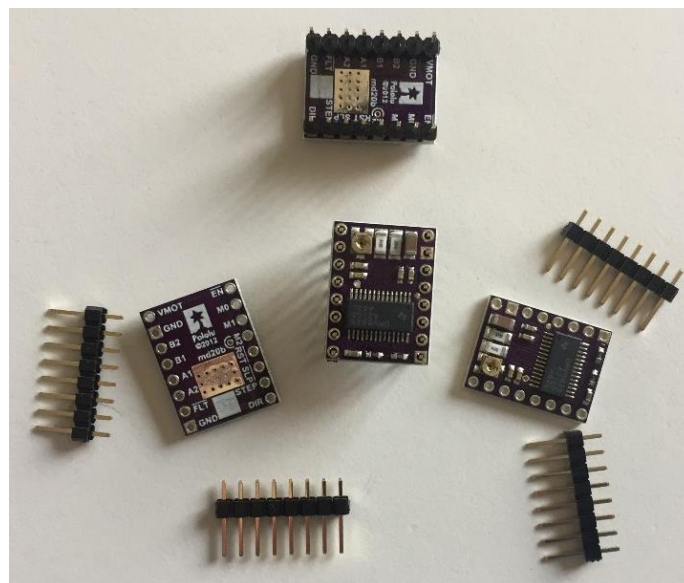


Figura 2.17 Controladores DRV8825

Dispone de protecciones contra sobrecorriente, cortocircuito, sobretensión y sobre temperatura. En general, son dispositivos robustos y fiables siempre que realicemos la conexión correctamente, e incorporemos disipación de calor si es necesario.

El DRV8825 es muy empleado en una gran variedad de proyectos que requieren el uso de motores paso a paso, como máquinas de CNC, plotters, robots que dibujan, impresoras 3D, y escáneres 3D.

Por otro lado, para alimentar a la RAMPS y a la vez a los controladores será necesario una fuente de alimentación. La fuente de alimentación es un dispositivo que suministrará de energía a todo circuito o aparato electrónico al que sea conectado. Por ser un elemento común a todo dispositivo, vale la pena pararse a analizar los tipos de fuente de alimentación que se pueden encontrar para saber cuál es la que mejor se adapta a las necesidades del proyecto.

Este dispositivo, no es crítico el modelo en concreto, pero sí que se debe tener en cuenta que debe de tener una tensión de salida de 12 V en corriente continua DC, al igual que unos 16 A de intensidad en la misma, pues es necesario para el movimiento de los motores. Esto significa que la fuente debe tener como mínimo 200 W, por lo que para este proyecto se ha decidido utilizar una fuente de alimentación ATX (Advanced Technology Extended) ya que es la que más se ajusta a las necesidades descritas.

Las fuentes de alimentación ATX (Figura 2.18) son las que se emplean de forma habitual en los ordenadores. Como se ha dicho, resultan ideales para proyectos de electrónica dado que disponen de una gran potencia y salidas en varios niveles de tensión habituales en electrónica. Además, al tener que cumplir con los estándares de fuentes ATX están obligados a tener un alto grado de precisión y regularidad en las salidas de tensión. Hay que tomar el valor de potencia como un valor orientativo proporcionado por el fabricante. Para saber con exactitud cuanta potencia puede suministrar en cada referencia de tensión los fabricantes proporcionan una tabla con la máxima intensidad disponible en cada nivel.



Figura 2.18 Fuente de alimentación ATX

2.9. HERRAMIENTAS SOFTWARE UTILIZADAS

En este apartado se describirán las herramientas software utilizadas.

2.9.1. SOFTWARE DE CONTROL

Teniendo el firmware instalado, el siguiente paso es instalar, en el ordenador desde el trabajaremos con el robot, el software de control.

En este proyecto se expondrá principalmente el Pronterface [16]. Este software (Figura 2.19) es un programa que permite acceder directamente a la configuración del programa de creación de archivos Gcode, para editarlo y calibrar el movimiento de los motores a nuestro antojo. Tiene un entorno gráfico que permitirá manipular los ejes del robot, cambiar la velocidad de transmisión de datos, comenzar movimientos, que ya ejecuta el programa automáticamente a partir del Gcode de las posiciones que se seleccionen, pausarlas, reiniciarlas, etc. Además, Pronterface permite cargar archivos Gcode, que se podrán imprimir directamente, pero también permite cargar archivos en formato stl; en ese caso, se conecta directamente al software de creación de archivos Gcode, genera automáticamente dicho archivo, guardándolo en el mismo directorio donde tuviéramos el stl, y lo carga, directamente, en el propio Pronterface.

La instalación de cualquiera de estos softwares es instantánea, es decir, simplemente se descarga, arranca el archivo ejecutable y ya estaría instalado. Aunque se requiere una buena versión de Phyton, sobre todo para usar Pronterface.

En el caso de Pronterface, en Windows y en Linux se debe abrir el archivo .py, y en MAC, donde ha dado algunos problemas, los propios usuarios comentan que lo mejor es hacer un script para ejecutarlo más fácilmente.

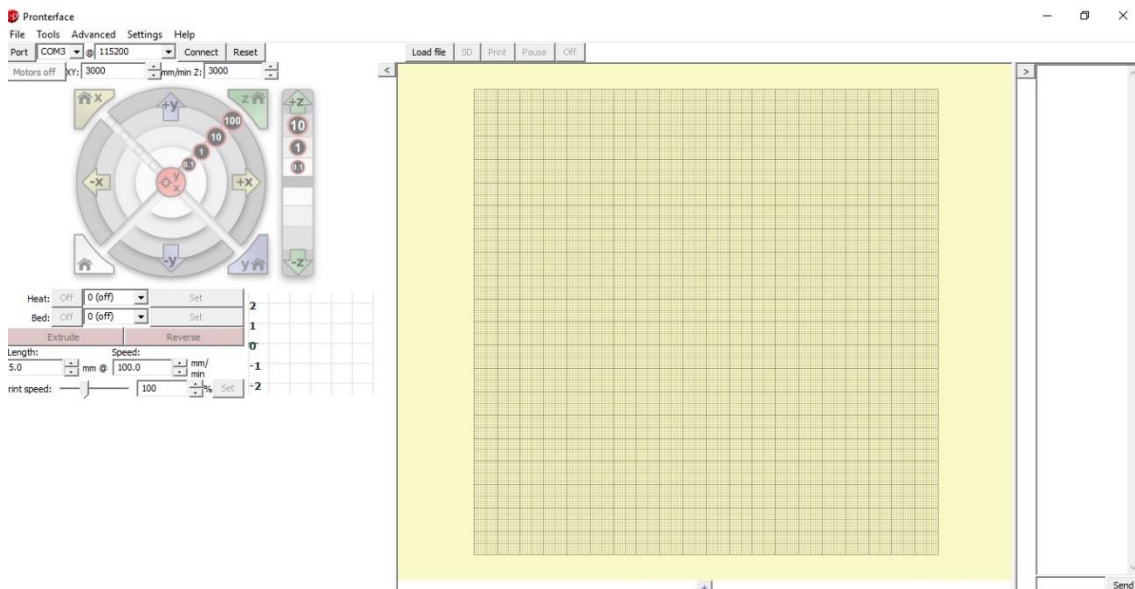


Figura 2.19 Pronterface

Para poder manejar los motores PAP desde esta interfaz, se necesitan saber los comandos necesarios para poder dar las ordenes a los motores. A continuación, se muestran los comandos básicos (Tabla 2.2).

Comando	Órdenes
M 114	Leer posición actual
M 115	Obtener información sobre el firmware
G0	Movimiento Rápido
G1	Movimiento Lineal
G2	Movimiento Circular Sentido Horario
G3	Movimiento Circular Sentido Antihorario
G28	Home
G90	Coordenadas Absolutas
G91	Coordenadas Relativas
G92	Configuración Sistema Coordenadas
F	Velocidad mm/min

Tabla 2.2 Comandos Pronterface

2.9.2. SOFTWARE DE DISEÑO

El siguiente paso es rediseñar la estructura mediante un software de diseño el cual va a ser un software CAD.

El software CAD hace más eficaz el proceso de diseño de productos porque automatiza procesos que antes eran manuales, como el dibujo tradicional. Las múltiples prestaciones del software CAD permiten a los usuarios aumentar la calidad del producto [17].

Los programas CAD 3D se utilizan para crear representaciones tridimensionales de los diseños, siendo un caso de uso común el modelado de sólidos. Históricamente, los programas CAD 2D se han utilizado para crear representaciones en dos dimensiones de un diseño, como los planos creados en el dibujo tradicional. Con estas prestaciones y más, el software CAD ayuda a explorar ideas iniciales de diseño conceptual, crear diseños de productos, realizar simulaciones y análisis, y llevar a cabo cálculos de ingeniería [18].

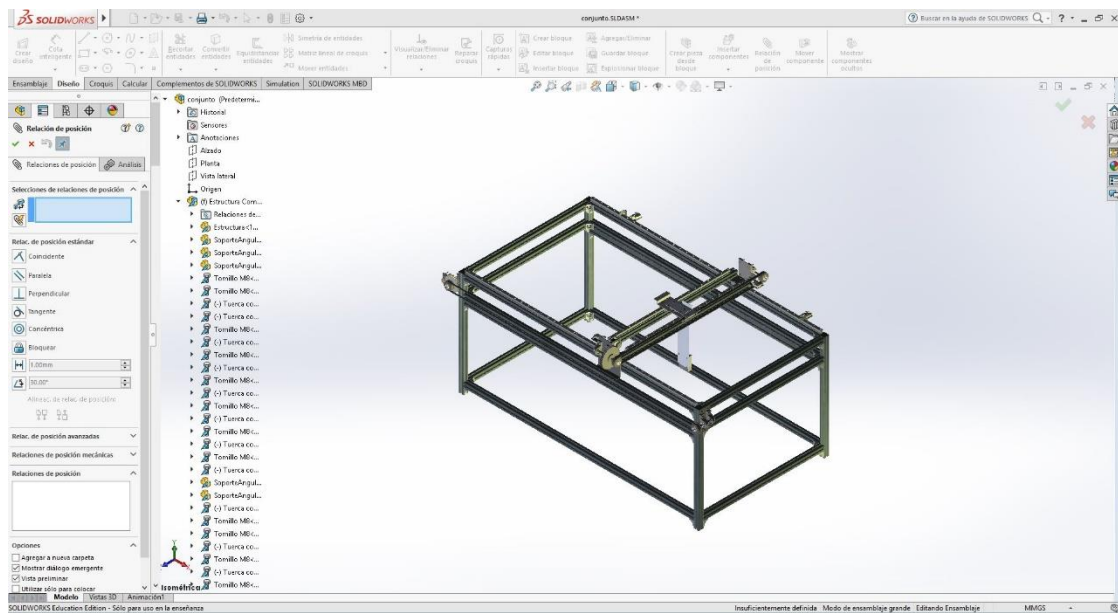


Figura 2.20 SolidWorks

Para este proyecto se ha decidido utilizar SolidWorks (Figura 2.20), ya que es un programa de software que permite trabajar en formato 3D para posteriormente obtener los planos de las piezas que deseamos y cuyos conocimientos se han adquirido durante el transcurso de los años en la carrera de Ingeniería Mecánica.

SolidWorks es un programa de diseño asistido por ordenador (CAD) para modelados mecánicos en 3D. El programa permite modelar piezas y conjuntos y extraer de ellos tanto planos técnicos como otro tipo de información necesaria para la producción. Es un programa que funciona con base en las nuevas técnicas de modelado con sistemas CAD. El proceso consiste en plasmar la idea mental del diseñador al sistema CAD, "construyendo virtualmente" la pieza o conjunto. Posteriormente todas las extracciones (planos y ficheros de intercambio) se realizan de manera bastante automatizada [19].

2.10. DISEÑO DE LAS PIEZAS A REALIZAR

Una vez se han seleccionado todos los componentes que se van a utilizar en este proyecto, se debe dar paso al estudio de la colocación de dichas piezas en la estructura, ya que, como se ha comentado anteriormente, la estructura que se va a utilizar está diseñada para otra finalidad, lo cual se debe rediseñar. Todos los planos de las piezas diseñadas se encuentran en el Anexo I de este mismo proyecto.

Se ha decidido, para todas las piezas que se van a fabricar, que el material sea de aluminio, en concreto aleación de aluminio 6061, puesto que sus propiedades (Tabla 2.3) eran las que mejor se adaptaban a las necesidades, sobre todo en el tema del peso del material. Se han utilizado espesores de entre 2.5mm y 3mm.

Aleación de aluminio 6061	
Módulo elástico	69000 MPa
Coefficiente de Poisson	0,33
Módulo cortante	26000 MPa
Densidad de masa	2700 kg/m ³
Límite de tracción	124,084 MPa
Límite elástico	55,1485
Conductividad térmica	170 W/(m·K)

Tabla 2.3 Propiedades aluminio 6061

En primer lugar, se estudia la ubicación de los motores NEMA 17, para ello se ha cogido el modelo CAD de dicho motor para que el estudio sea más sencillo (Figura 2.21).

Como el fin con el que se fabricó la estructura era para la implementación de una herramienta de corte, la estructura fue diseñada para llevar unos motores de DC de alta potencia ya que una de las especificaciones de ese proyecto era el de una velocidad de movimiento elevada para un mejor corte, por lo que los soportes de los motores que mueven los ejes X e Y han sido los primeros que se han tenido que modificar.

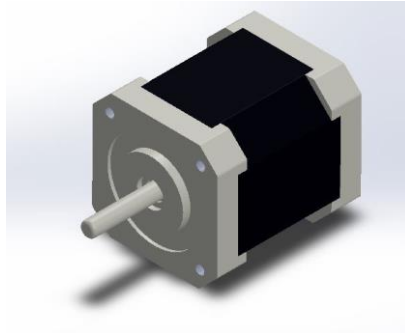


Figura 2.21 Modelo CAD motor NEMA 17

Para ello se ha hecho un diseño de unos nuevos soportes (Figura 2.22, Figura 2.24), que se adaptasen al soporte del cual está dotado la estructura y que permitiesen atornillar el motor. Es por eso por lo que se puede observar en dichos soportes como contienen 8 agujeros de dos tipos de métricas, los exteriores corresponden al anclaje con el soporte de la estructura y los interiores corresponden a los que atornillan el motor.

Los soportes fabricados han sido ubicados en los engranajes de cada uno de los ejes (Figura 2.23, Figura 2.25), para que, mediante una reducción, el par motor que haya sea el máximo posible.

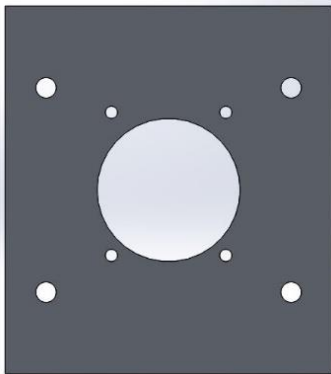


Figura 2.22 Soporte motor eje X

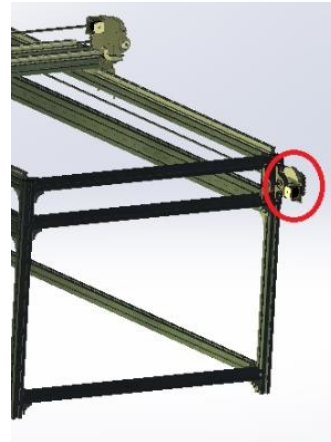


Figura 2.23 Posición del soporte del motor del eje X

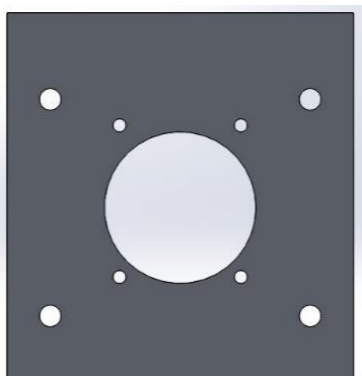


Figura 2.24 Soporte motor eje Y

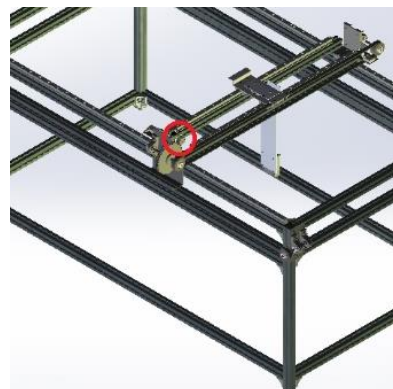


Figura 2.25 Posición del soporte del motor del eje Y

Para estos soportes se ha escogido una chapa de 3mm, debido a que se necesitaba dicho espesor para que el eje del motor quedase a la misma altura que el engranaje que permite el movimiento del eje que transmite la potencia. La unión de los soportes se ha decidido hacer mediante tornillos para que haya facilidad de desmontaje en el caso de que en un futuro haya que remplazar los motores por otros nuevos o por otros con más potencia. El plano del soporte del motor del eje X corresponde al número 1, y el plano del soporte del motor del eje Y es el número 2 del anexo I.

Como ya se ha comentado antes, los motores han sido ubicados en los engranajes de cada uno de los ejes, ya que se va a incluir una reducción para aumentar el par del motor. Es por ello por lo que se ha diseñado otro con el mismo paso (Figura 2.26) que estaría situado en el eje del motor, con el cual el motor transmite el movimiento y da funcionamiento a la reducción para lograr el par deseado. Se le ha hecho una rosca de métrica cuatro para poder fijarlo al eje del motor mediante un prisionero. Se puede visualizar con más detalle en el plano número 3 del anexo.

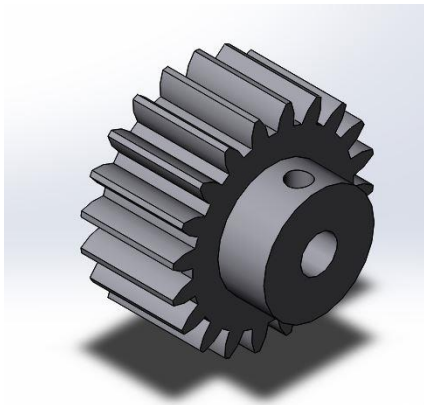


Figura 2.26 Engranaje con rosca de M4

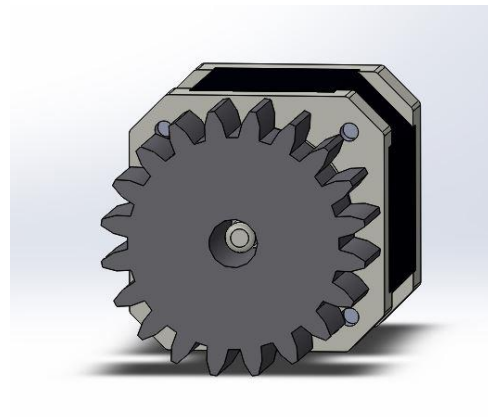


Figura 2.27 Engranaje unido al motor

Tiene un diámetro de 8mm (Figura 2.27) por lo que se ha tenido que diseñar un casquillo de 5mm de interior y 8mm de exterior con una longitud de 25mm (Figura 2.28) para poder adaptar el eje del motor PAP correctamente. Para asegurar que no se deslice sobre el eje o sobre el engranaje se ha decidido hacerle un agujero para poder fijar los dos elementos con un mismo prisionero. Las medidas exactas de la distancia del agujero se encuentran en el plano número 4.

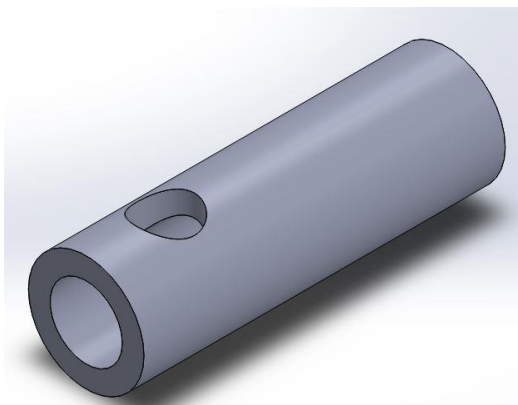


Figura 2.28 Casquillo para el eje del motor

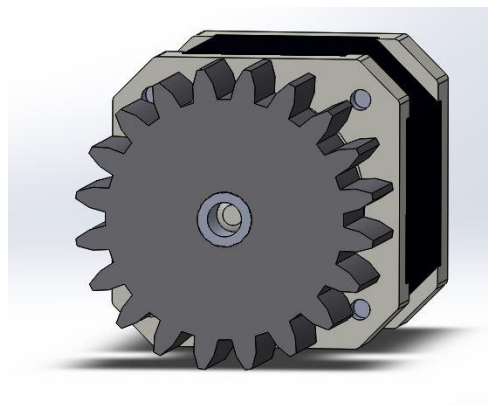


Figura 2.29 Engranaje unido al motor junto con el casquillo

Para poder acoplar el motor en el eje Z, hace falta diseñar otro soporte para así fijar el motor al tornillo sin fin que va a funcionar como elemento terminal de nuestro robot. Debido a la estrechez del tornillo sin fin, es necesario separar el soporte 3.5mm para que el eje del motor pueda quedar alineado respecto al eje del tornillo sin fin. Es por ello por lo que, en vez de diseñar el soporte en una sola pieza, se ha visto que la mejor opción era diseñar un soporte para el motor (Figura 2.31) (Plano 5.1) y un separador (Figura 2.32) (Plano 5.3) que permita que el soporte esté a la distancia deseada debido a la necesidad de aumentar lo mínimo el peso en la estructura.

Una vez que se ha diseñado el soporte y el separador, se procede al ensamblaje de piezas para comprobar que el eje del motor queda correctamente alineado con el eje del tornillo sin fin, como se puede ver en la siguiente figura (Figura 2.30).

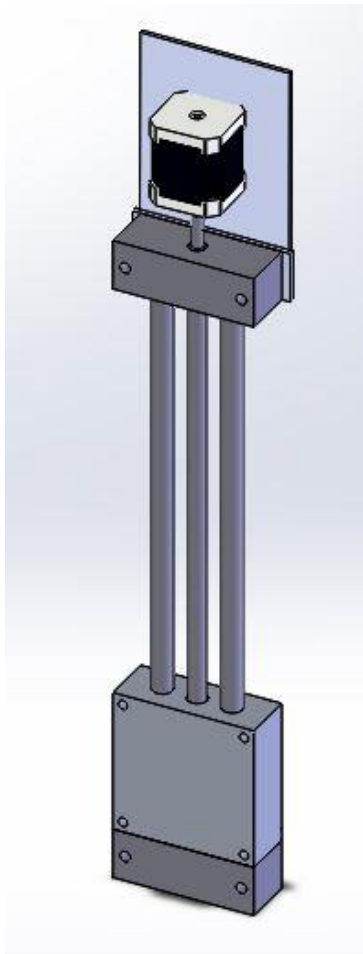


Figura 2.30 Motor eje Z junto al elemento terminal

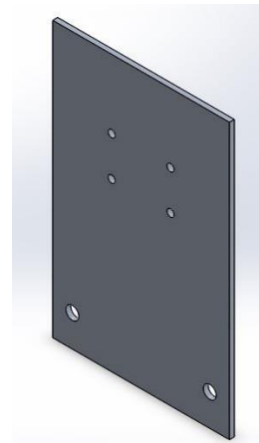


Figura 2.31 Soporte motor eje Z

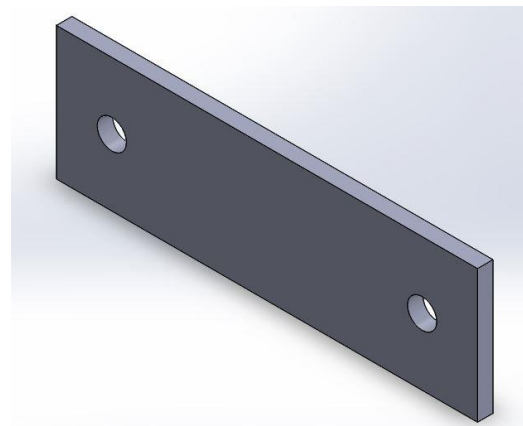


Figura 2.32 Separador para el soporte del motor Z

Como uno de los problemas era la distancia hasta la zona de cultivo, se ha optado como la solución más fácil diseñar dicho soporte de forma que la distancia hasta la zona de cultivo disminuya lo máximo posible, sin provocar que apareciese pandeo en ningún momento por parte del eje Z. Es por esto por lo que el soporte ha sido diseñado doblando una chapa de aluminio de 3mm, al igual que el resto de piezas que se han fabricado, pero con la distinción de la longitud, ya que con una longitud menor el peso no hubiese aumentado tanto.

Una vez que se ha calculado para evitar el pandeo, se da paso al diseño de la posición de los taladros para la fijación aprovechando los tornillos con los que se sujetan los carros de desplazamiento del eje Y. Es por ello por lo que el soporte posee una anchura mayor a la de la parte vertical, ya que la distancia entre los perfiles del eje Y es menor a la distancia entre los tornillos de los carros de desplazamiento. Esto ha ayudado a eliminar material y a su vez a aligerar peso, aunque el peso que se aligeró fue mínimo (Figura 2.33). El plano de esta pieza se corresponde con el plano 5.2 del anexo.

Para terminar el montaje del eje Z, se procede al ensamblaje del soporte junto al tornillo sin fin y el motor (Figura 2.34) (Plano 5). Para ello se une al soporte del eje Z en la parte más baja, puesto que, como ya se ha mencionado antes, va a ser la parte que más cerca esté a la zona de cultivo y de este modo el eje Z va a beneficiarse de trabajar a menor distancia.

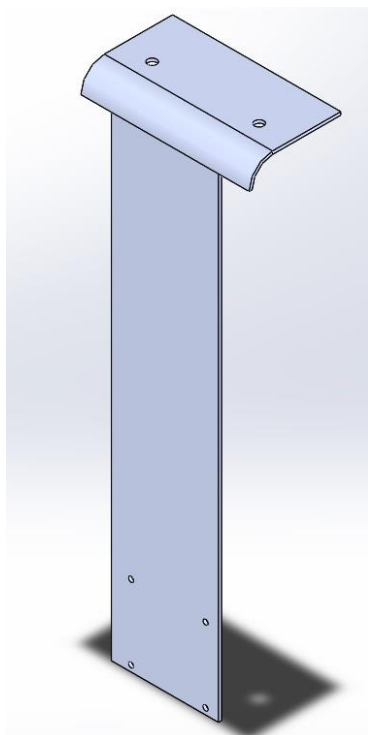


Figura 2.33 Soporte eje Z

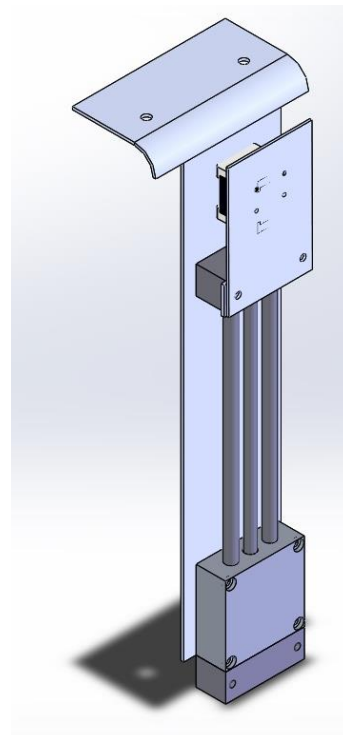


Figura 2.34 Ensamblaje eje Z

Cuando todo bien atornillado, se coloca en la estructura (Figura 2.35), extremando el cuidado con que el soporte no esté en contacto con los perfiles del eje Y, ya que el rozamiento provocaría que el motor del eje Y tuviera que realizar más fuerza para mover dicho eje y podría terminar rompiéndose.

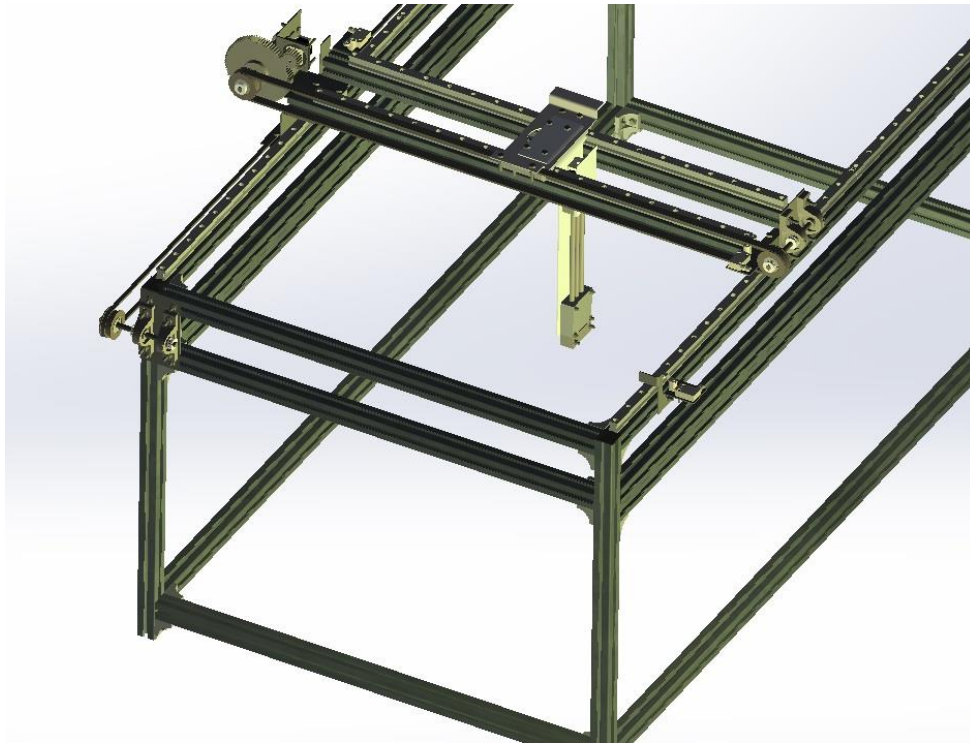


Figura 2.35 Colocación eje Z

Por último, se ha diseñado la zona de cultivo, la cual va a estar dotada de una base de madera donde en su interior estará la tierra para el cultivo. Como va a ser una zona de cultivo, no se puede disponer cualquier madera, puesto que las plantas necesitan humedad y agua, lo puede causar que la madera se hinche, es por esto por lo que hay que buscar una madera que admita agua o en su defecto se ha de barnizar la madera que se vaya a usar. Para este proyecto se ha seleccionado una madera de Teca, debido a que es una de las maderas más finas que existe en el mercado con una densidad de masa de 630 kg/m^3 , lo cual hace que su traslado sea sencillo.



Figura 2.36 Diseño de la zona de cultivo

La madera de teca destaca por sus propiedades cuando se usa para fabricar productos que se colocan en exterior, especialmente por su durabilidad natural. Actualmente es una de las maderas tropicales más conocidas en el mercado y entre sus múltiples usos destacan la construcción naval y el mobiliario de exterior y de lujo. La madera de teca es color marrón dorado intenso, normalmente, pero tiene una amplia gama que variar desde rojizo hasta tonos muy pálidos. También admite tratamientos o pinturas para cambiar su color sin perder su aspecto [20].

La estructura va a estar ubicada dentro de este cajón de madera, el cual va a tener unas medidas de 2000x900x30 mm (Figura 2.36).

2.11. INSTALACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL ROBOT

A continuación, se describen los pasos seguidos durante la instalación y la puesta a punto del robot.

2.11.1. ELECTRÓNICA

En primer lugar, se procede al montaje y conexión de todos los componentes electrónicos, para poder verificar el correcto funcionamiento de los motores antes de su instalación en el sistema estructural.

Para comenzar, se ancla la placa de Arduino (Figura 2.37) en la caja donde van a estar los componentes electrónicos. A continuación, se conecta la RAMPS 1.4 encima de la placa de Arduino, como se puede observar en la figura siguiente (Figura 2.38). Los conectores verdes del RAMPS deben estar en el mismo extremo de la placa que el puerto USB de la placa Arduino.



Figura 2.37 Anclaje de la Placa Arduino

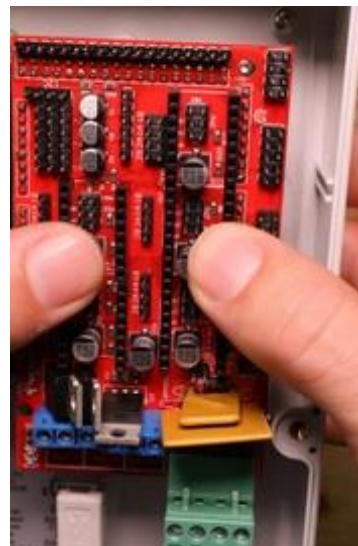


Figura 2.38 Conexión RAMPS 1.4

A continuación, se conectan los controladores Drivers DRV8825, para ello se deben de soldar los pines para poder conectarlos posteriormente a la RAMPS. Para soldar los pines se ha decidido soldar con estaño, puesto que este proceso es barato y muy eficaz para unir componentes electrónicos. Se debe tener en cuenta que los pines no deben tener contacto entre sí, por lo que se ha de extremar la precaución para que no haya estaño uniendo dos pines entre sí, o un pin con otro componente del controlador.

Una vez que están los pines soldados, se procede a la colocación de los controladores en la RAMPS (Figura 2.39) teniendo en cuenta que no se doblen o se rompan los pines. La RAMPS está dotada para la utilización de cinco controladores, pero en este proyecto solo se ha procedido a colocar cuatro, se utilizarán los espacios marcados para el funcionamiento del eje X, Y, Z. Esta puede variar según la placa electrónica, así pues, hay que asegurarse de que la posición en la que lo está posicionando es la correcta.

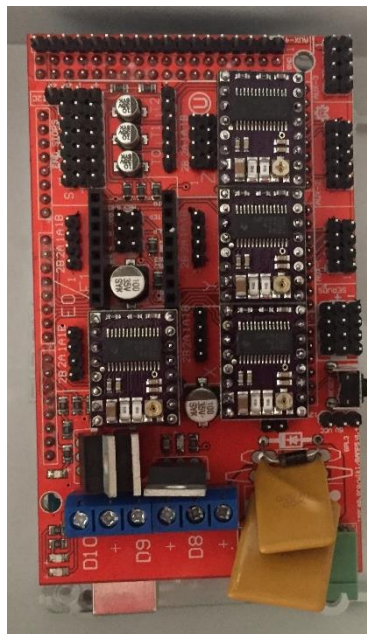


Figura 2.39 Controladores conectados en la RAMPS

El siguiente paso que realizar es la conexión de los motores con los controladores, para ello se debe de tener claro cuál es el controlador de cada uno de los motores. Para conectar los motores con los controladores se han usado cables jumpers (Figura 2.40).

Respecto a las conexiones de los motores (Figura 2.41), aunque se disponga del esquema de conexiones respecto a la placa electrónica, es posible que el cableado del modelo de motor que se esté utilizando sea de unos colores diferentes. Así pues, habrá que asegurar que el bobinado es el correcto, es decir, que los cables están en el conector correspondiente.

Un pequeño error que puede aparecer mientras se estén realizando ensayos es que el movimiento en alguno de los ejes o del motor se muevan en sentido contrario a como se lo ordenamos desde el ordenador. En ese caso, se podría cambiar la configuración en el firmware que se use, pero es mucho más sencillo quitar el conector de los pines del circuito integrado, girarlo 180º y volver a colocarlo en los mismos pines. El lector podrá comprobar que el motor ya se mueve en los sentidos indicados por el ordenador.



Figura 2.40 Cables Jumpers



Figura 2.41 Conexión motores PAP en la RAMPS

Asimismo, se procede a conectar los finales de carrera (Figura 2.42), para ello de nuevo se han usado cables jumpers. Se deben hacer las conexiones en los pines que en la placa vienen denominados como X-min, Y-min y Z-min, para que los finales de carrera marquen al software el origen en cada eje.

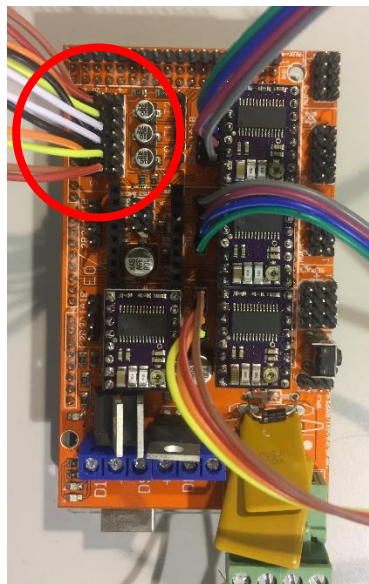


Figura 2.42 Conexión finales de carrera en la RAMPS

Además, hay que conectar la fuente de alimentación con la que se le dará corriente a la placa. En este caso, al usar una fuente de alimentación destinada para ordenador, se debe tener en cuenta que el encendido de las fuentes ATX actuales es controlado por la placa base mediante el paso de corriente entre dos pines de la fuente de alimentación, pero para ello tiene que estar conectada a la placa base. Para iniciar una fuente de alimentación ATX, es necesario cortocircuitar el PS-ON (PowerSupplyOn) con tierra (COM) (Figura 2.43). Sin embargo, la fuente de alimentación nunca tiene una carga fija para poder ser activada, ya que puede ser dañada.

Después, se busca el cable cuya corriente es de 12 V, (normalmente el cable amarillo) se comprueba mediante un polímetro que la medida es correcta y se conecta a la placa (Figura 2.44). Es importante fijarse bien en el esquema de conexiones de la placa que se está utilizando y conectar los terminales positivo y negativo de la fuente de alimentación en los bornes adecuados de la clema. Este error puede llevar a fallos como la rotura de un controlador.

Para finalizar todas las conexiones se procede a la calibración de los controladores, puesto que, si la intensidad que mandan a los motores es muy baja, el motor no se moverá, y si la intensidad que mandan a los motores es muy alta, puede ser que el controlador se sobrecaliente llegando incluso a romperse.

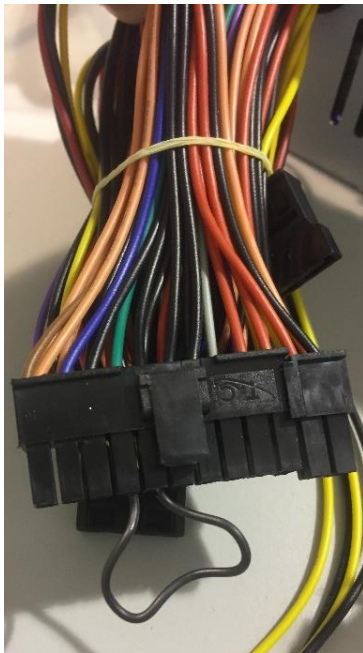


Figura 2.43 Paso de corriente entre los dos pines de la fuente de alimentación

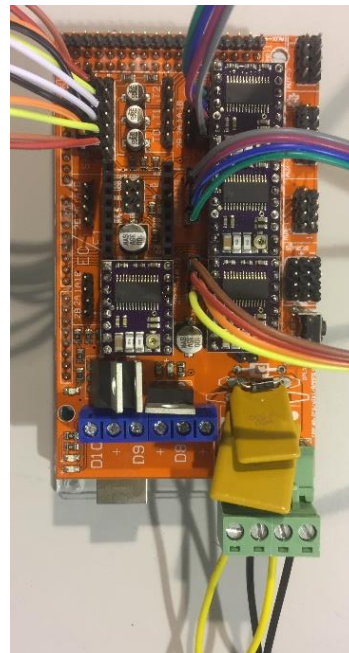


Figura 2.44 Conexión fuente de alimentación en la RAMPS

Para regular la intensidad que proporcionara el limitador y ajustarlo al valor del motor que se va a emplear la placa dispone de un potenciómetro que regula la intensidad del limitador. Esta corriente no tiene que ser la misma para todos los ejes, pero en este caso, se ha decidido darles a todos los motores la misma intensidad la cual ronda los 300 mA. Este ajuste de corriente se debe realizar con un destornillador cerámico ya que se puede producir un cortocircuito en el controlador y quedarse inservible [21]. Para dejar pasar más corriente al motor, se debe girar el destornillador en sentido horario y para reducir esta corriente se hará en sentido antihorario.

Para hacer que circule corriente por el controlador y llegue al motor, se debe de mandar la orden de movimiento al motor, por lo que mediante el programa de control se le dará esa orden. Cuando el motor esté en movimiento se podrá observar como la corriente que circula por el circuito sube, en ese momento es cuando se deba ajustar la corriente del controlador dejándola lo más cercana a 300 mA.

2.11.2. MONTAJE EN LA ESTRUCTURA

Una vez que se disponen de todas las piezas mecanizadas, se puede proceder al montaje y a la colocación en la estructura. En primer lugar, se procede a la colocación de cada uno de los motores en la estructura, en concreto el motor que mueve al eje X y el motor que mueve al eje Y, (Figura 2.45, Figura 2.46). Hay que asegurarse que los ejes quedan completamente alineados para posteriormente evitar posibles fallos en el movimiento.

Para mejorar el funcionamiento de los engranajes y evitar ruidos molestos a la hora del movimiento de los ejes se procede a engrasarlos. Para ello se ha elegido el lubricante WD-40.

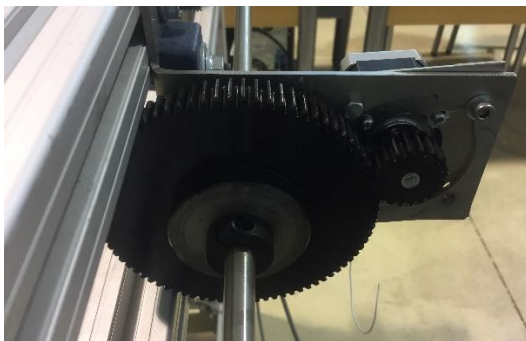


Figura 2.45 Motor eje X

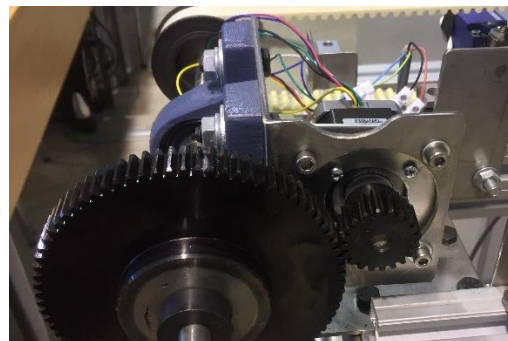


Figura 2.46 Motor eje Y

Cuando se finaliza el montaje de los motores en los ejes X e Y, y se comprueba que efectivamente los engranajes están bien alineados entre sí, se pasa al montaje del motor del eje Z.

Del mismo modo, cuando se tienen todas las piezas mecanizadas, se procede al ensamblaje de las mismas, teniendo en cuenta que el eje del motor debe quedar alineado con el eje del tornillo sin fin (Figura 2.47).



Figura 2.47 Motor eje Z junto al elemento terminal

Para la transmisión de potencia del motor al tornillo sin fin, se ha instalado un acoplamiento flexible como el que se muestra en la figura (Figura 2.48), debido a que la ventaja de este acoplamiento es que los cabezales son intercambiables por si en algún momento se cambia el motor y el eje no es el mismo.

En la figura anterior (Figura 2.49) se muestra cómo queda el acoplamiento del eje del motor junto con el eje del tornillo sin fin.



Figura 2.48 Acoplamiento eje Z



Figura 2.49 Motor eje Z

Para la finalización del montaje de todos los motores en la estructura, es necesario realizar la colocación del eje Z (Figura 2.35). Dicho eje va situado ensamblado en el eje Y, y para ello se ha debido realizar un soporte de giro para este eje.

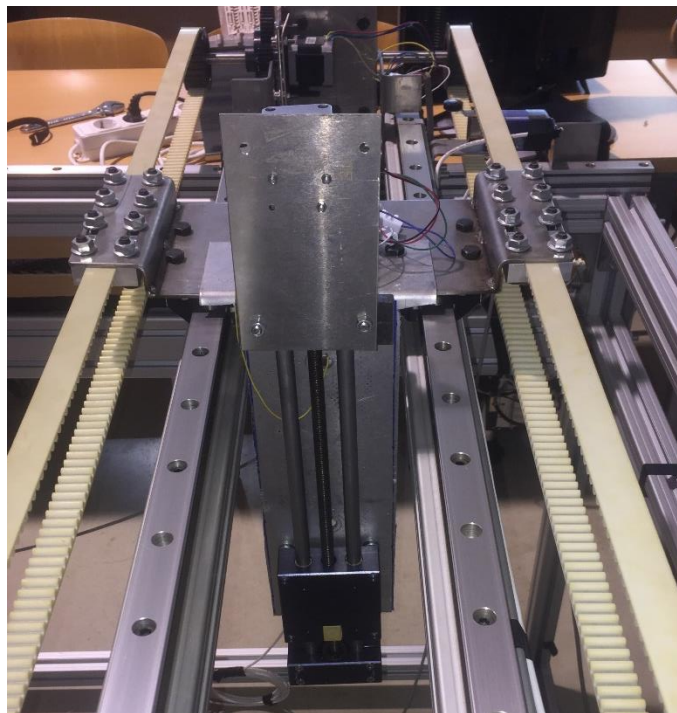


Figura 2.50 Colocación eje Z

2.11.3. ZONA DE CULTIVO

Después de terminar todo el montaje de los componentes en la estructura, se da paso al montaje de la zona de cultivo (Figura 2.51). Una vez se tiene la madera cortada con las dimensiones requeridas, se sujeta a los perfiles mediante tornillos, para que, a la hora de querer quitar la tierra de cultivo por algún motivo, sea fácilmente desmontable y pueda volver a montarse fácilmente.

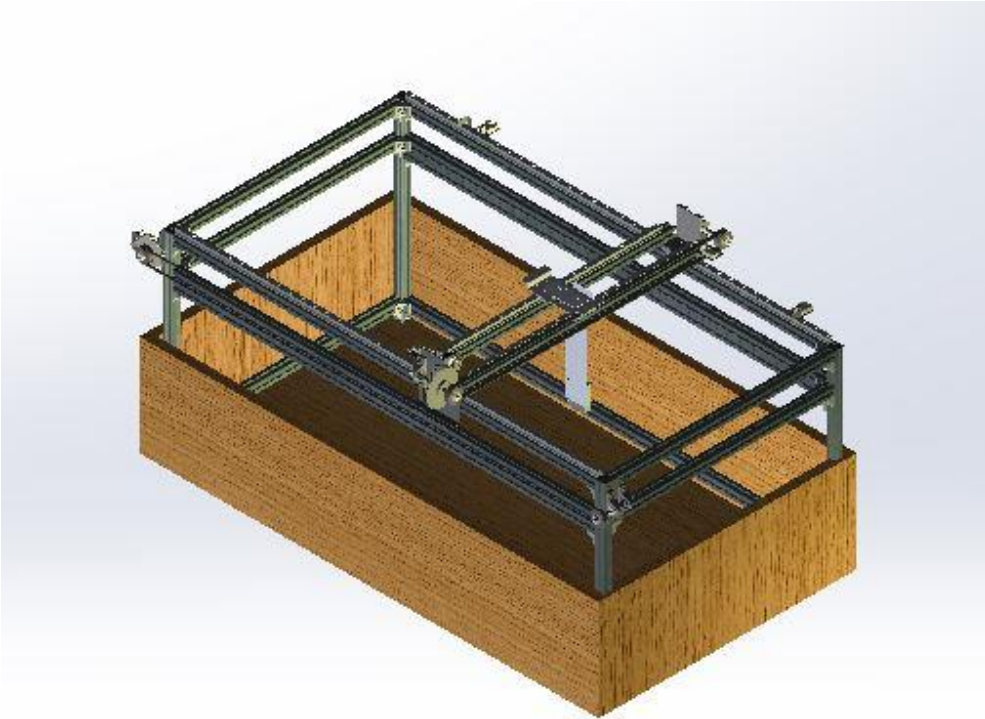


Figura 2.51 Estructura con Zona de Cultivo

Capítulo 3

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

En este apartado se realiza un análisis de la inversión de este proyecto, así como una descripción del montaje completo hasta la puesta a punto en la instalación y resumen de los resultados obtenidos.

3.1. RESULTADOS OBTENIDOS

En la siguiente figura (Figura 3.1), se puede observar el resultado final de este proyecto, en el cual se ha obtenido un sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento, el cual es capaz de llevar un movimiento lineal y continuo en cada uno de sus ejes y con un error que no supera los 2 cm indicados anteriormente en las especificaciones que debía cumplir el sistema.

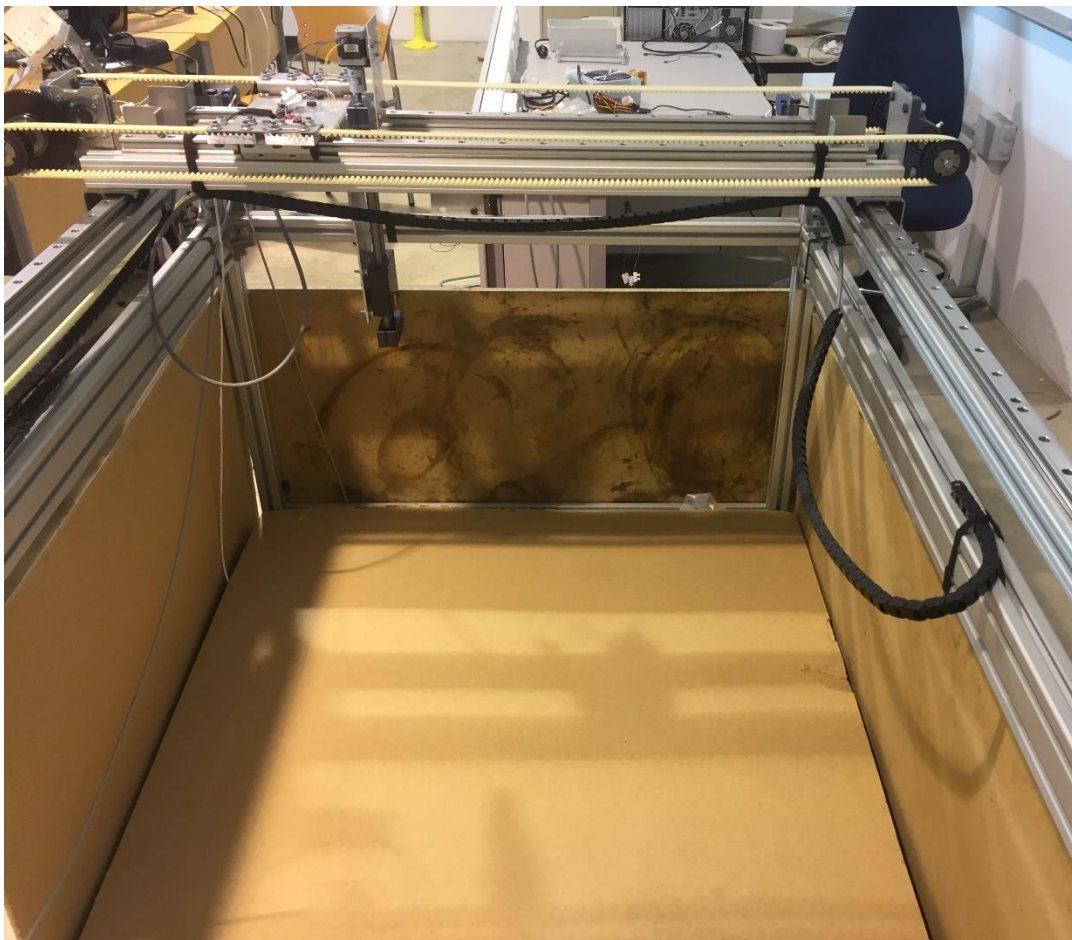


Figura 3.1 Robot resultante

Asimismo, se ha logrado una velocidad mínima en cada eje de 35 rev/min, dado que era una de las especificaciones importantes que se habían fijado al principio del proyecto a causa de la elevada distancia que había sobre todo en el eje X, por lo que si la velocidad era demasiado lenta se tardaba mucho tiempo en recorrer todo el eje X.

Del mismo modo, se ha conseguido desarrollar una estructura sólida, que disminuye las vibraciones que pueda tener el robot. Esta también tiene una altura lo suficientemente alta lo cual no impide el crecimiento de las plantas que se vayan a cultivar.

3.2. COMPROBACIÓN DE ESPECIFICACIONES

En este apartado se van a exponer todos los ensayos realizados. Estos han servido para la ubicación de los motores en los ejes, al igual que los ensayos realizados para ver la velocidad con la que los motores mueven sus respectivos ejes.

Se han llevado a cabo 4 tipos de ensayos; con los motores en vacío, con los motores sin incluir el eje Z, con todos los ejes y por último se realizó un ensayo para obtener tanto las velocidades máximas como mínimas, así como el recorrido de cada eje.

En primer lugar, una vez que se hicieron todas las conexiones de la parte electrónica, se hizo un ensayo de los motores en vacío para comprobar el correcto funcionamiento de los mismos antes de incorporarlos a la estructura (Figura 3.2).

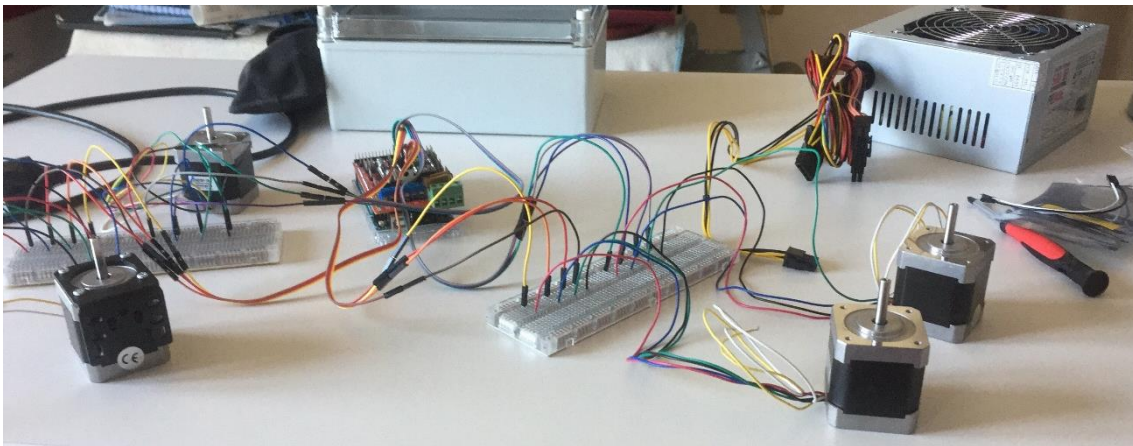


Figura 3.2 Ensayo de los motores en vacío

Para ello se hicieron todas las conexiones en una protoboard para posteriormente poder incluir más cable entre el motor y la placa Arduino. Estos ensayos primeros sirvieron entre otras muchas cosas para calibrar los controladores, ya que un controlador mal calibrado puede hacer que se rompa y quede inservible.

De igual modo, con este primer ensayo se verificó que el sistema de control con el que se controlan los motores funcionaba correctamente, al igual que reducía y aumentaba la velocidad de los motores según los valores que le iban siendo introducidos. En este primer ensayo también se pudo observar que una velocidad muy elevada hacía que el motor no funcionase, puesto que al instalar el programa de control la velocidad inicial estaba predefinida en 3000 mm/min y no

fue hasta bajar la velocidad a 500 mm/min cuando los motores empezaron a funcionar de manera correcta.

Después de que los ensayos en vacío fuesen correctos y de ver que los motores funcionaban correctamente, se dio paso a la instalación de los componentes en la estructura, donde se propuso instalar cuatro motores PAP, puesto que se observó que el eje X podía ser que le faltara potencia con un solo motor y fue en este eje donde se propuso instalar dos motores uno en el perfil izquierdo (Figura 3.4) y otro en el perfil derecho (Figura 3.6).

Estos motores fueron instalados mediante unos perfiles directamente acoplados al eje que transmite el movimiento a la correa, unidos mediante acoplamientos como se puede observar en las siguientes figuras (Figura 3.3, Figura 3.5).



Figura 3.3 Motor lado izquierdo eje X

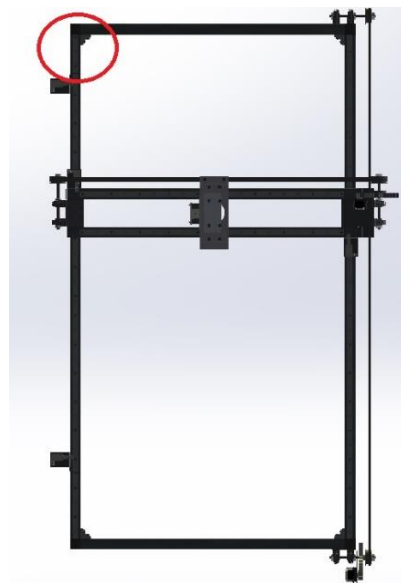


Figura 3.4 Posición motor lado izquierdo eje X



Figura 3.5 Motor lado derecho eje X

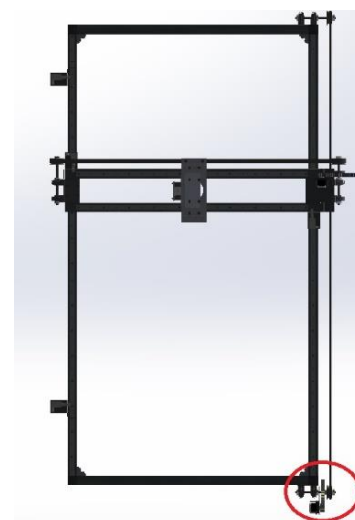


Figura 3.6 Posición motor lado derecho eje X

Una vez instalados de esta forma, se pasó a la realización de un ensayo sin incluir el eje Z para comprobar su funcionamiento. En dicho ensayo, se observó que los motores no tenían fuerza suficiente para hacer mover el eje y que el controlador se sobrecalentaba, por lo que se plantearon dos opciones: cambiar la posición de los motores o cambiar los motores por otros de mayor potencia.

Finalmente se decidió cambiar la posición de los motores, y para conseguir que los motores desarrollasen un mayor par motor, se puso una relación de transmisión mediante dos engranajes. Esto hacía que en vez de poner dos motores en el eje X, se pasase a poner uno solo en dicho eje.

Una vez se tomó la decisión, se procedió a la adaptación de la estructura para poder colocar el motor con la reducción en la mitad del eje (Figura 3.7), para transmitir la potencia tanto a la cinta del lado derecho como a la cinta del lado izquierdo.

De nuevo, cuando se finalizó la colocación del motor con la reducción se comprobó, en primer lugar, la alineación de los dos ejes, ya que si no están alineados no funciona correctamente el motor, y en segundo lugar se realizó nuevamente un ensayo para comprobar su funcionamiento. Al contrario que en el primer ensayo, en este ensayo se pudo observar cómo, esta vez con un solo motor, era capaz de mover el eje longitudinal.

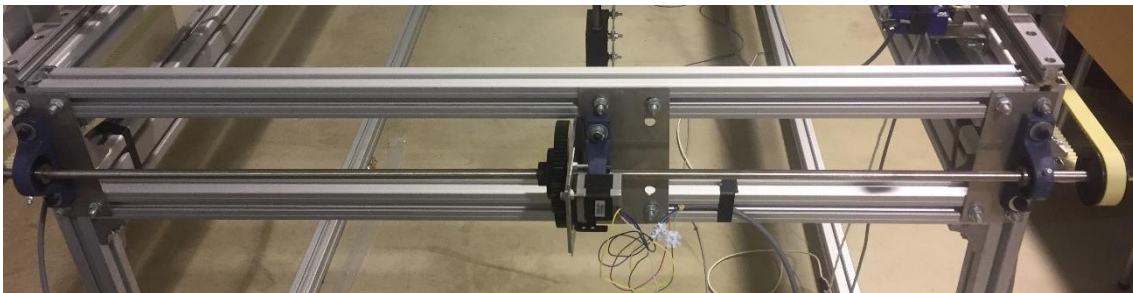


Figura 3.7 Colocación final motor eje X

De la misma manera, se procedió a realizar el mismo ensayo de movimiento con el eje Y una vez que el motor de dicho eje se colocó en su soporte correspondiente. Se comprobó que los ensayos fueron satisfactorios, sin tener que hacer ninguna modificación de ubicación en la estructura.

A continuación, se procedió a realizar otro ensayo incluyendo el eje Z, lo que hace que el peso de la estructura y de los ejes X e Y aumentase y se descartó la hipótesis de que el soporte del eje Z tenía un peso excesivo.

Por último, se realizaron varios ensayos relacionados con la velocidad de los motores, debido a que, aunque la velocidad no es realmente lo más importante, tampoco se quería que los ejes se moviesen a una velocidad realmente lenta.

En estos ensayos se pudo ver que la velocidad en el eje Z era mucho mejor que las velocidades en los ejes X e Y. Otra de las cosas que se pudieron observar, es que, si se aumentaba mucho la velocidad, el motor giraba, pero el eje no era capaz de moverse, lo que hacía que el controlador se calentase, al igual que el motor. De igual modo sucedía lo mismo si la velocidad era demasiado lenta, ya que el motor no tenía fuerza suficiente con tan poca velocidad. Después de varios

ensayos aumentando y disminuyendo la se obtuvo un rango de velocidades para cada uno de los motores, el cual se puede observar en la tabla siguiente (Tabla 3.1).

RANGO DE VELOCIDADES		
MOTOR	VEL. MIN	VEL. MAX
MOTOR EJE X	10 mm/min	35 mm/min
MOTOR EJE Y	10 mm/min	50 mm/min
MOTOR EJE Z	5 mm/min	10 mm/min

Tabla 3.1 Rango de velocidades

Por otro lado, durante los distintos ensayos realizados se ha podido obtener información acerca del recorrido que tiene cada uno de los ejes, ya que el recorrido, por temas de seguridad, es menor que la longitud total de la estructura.

En la siguiente tabla (Tabla 3.2), se puede observar el recorrido total que tiene cada uno de los ejes.

RECORRIDO	
EJE	DISTANCIA
EJE X	1800mm
EJE Y	800mm
EJE Z	100mm

Tabla 3.2 Recorrido de los ejes

Todos los ensayos que se han realizado se pueden ver en el en el enlace siguiente:

<https://www.youtube.com/channel/UCi7zSG1wbpifc8RDYqiqUYw>

3.3. COSTE DE LA INVERSIÓN

En este apartado se detallará, el coste total de la inversión, y se detallará el estudio económico realizado, el cual sirve, tanto desde el punto de vista del proyectista como de la persona que lo encarga, para determinar la conveniencia de la ejecución y explotación del proyecto en estudio., para ello se calculará el presupuesto de la instalación, la rentabilidad y el periodo de recuperación.

Una vez obtenido el presupuesto de la instalación se procederá a realizar el análisis económico de la misma.

Se realizarán los análisis de:

- Costes: donde se mostrarán los diferentes gastos y costes a la hora de la realización del proyecto.
- Financiero: donde se mostrarán los beneficios económicos obtenidos con la realización del proyecto.

- Estimaciones: mediante el cual podrán comprobarse los efectos que se producirán en la inversión si cambian algunas de las variables utilizadas para obtener la rentabilidad del proyecto.

3.3.1. ANÁLISIS DE LA RENTABILIDAD

Los proyectos de inversión quedan caracterizados en su vertiente económica por tres parámetros básicos:

- El pago de inversión, K , es el número de unidades monetarias que el inversor debe desembolsar para conseguir que el proyecto comience a funcionar.
- La vida del proyecto, n , es el número de años durante los cuales la inversión estará funcionando y generando rendimientos positivos, de acuerdo con las previsiones realizadas por el inversor.
- Los flujos de caja, R_j , generados por el proyecto a lo largo de su vida.

En primer lugar, se ha de tener en cuenta la financiación del proyecto debido a la gran inversión de capital que supone, es completamente necesaria. Se ha optado por un sistema de financiación bancaria del 100% de la inversión inicial a un interés fijo del 5%.

El estudio de rentabilidad se realizará para un periodo de tiempo que comprenda los 10 primeros años del funcionamiento de la instalación, aunque su vida útil puede ser de más de 25 años.

Para estudiar el interés económico del proyecto se realizará un análisis de rentabilidad de la inversión atendiendo a criterios como son el valor neto actual (VAN) y la tasa interna de rentabilidad (TIR).

El VAN, también conocido como valor actualizado o valor presente neto, es un procedimiento que permite calcular el valor presente de un determinado número de flujos de caja futuros, originados por una inversión. La metodología consiste en descontar al momento actual, es decir, actualizar mediante una tasa todos los flujos de caja futuro, lo conocido como *cash-flow*, para determinar la equivalencia en tiempo 0 de los flujos de efectivo futuros que genera un proyecto y compararlos con el desembolso inicial.

La fórmula que permite calcular el VAN es:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{V_t}{(1+k)^t} - I_0$$

Donde:

- V_t : representa los flujos de caja en cada periodo t .
- I_0 : es el valor del desembolso inicial de la inversión.
- n : es el número de periodos considerados
- k : es el tipo de interés

Asimismo, el TIR de una inversión es el promedio geométrico de los rendimientos futuros esperados de dicha inversión, y que implica por cierto el supuesto de una oportunidad para "reinvertir". Este puede utilizarse como indicador de la rentabilidad de un proyecto: a mayor TIR, mayor rentabilidad; así, se utiliza como uno de los criterios para decidir sobre la aceptación

o rechazo de un proyecto de inversión. El TIR se compara con una tasa mínima o tasa de corte, el coste de oportunidad de la inversión. Si la tasa de rendimiento del proyecto supera la tasa de corte, se acepta la inversión, en caso contrario se rechaza.

El TIR es el tipo de descuento que hace valor cero el VAN:

$$VAN = \sum_{t=1}^n \frac{F_t}{(1 + TIR)^t} - I = 0$$

Donde:

- F_t : es el flujo de caja en el préstamo t.
- I: es el valor de la inversión inicial.
- n: es el número de periodos considerados.

3.3.2. ESTIMACIONES

Para evaluar la rentabilidad del proyecto, se ha hecho una estimación en la cual se ha supuesto que en el primer año se procederá a la venta de 10 unidades y éstas se irán incrementando un 25% cada año. En la siguiente tabla (Tabla 3.3) se pueden observar las unidades que se van a vender cada año durante los próximos 10 años junto con la gráfica de crecimiento (Figura 3.8).

AÑO	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
UNIDADES	10	13	16	20	24	31	38	48	60	75

Tabla 3.3 Estimación de ventas



Figura 3.8 Gráfica de estimación de ventas

3.3.3. ANÁLISIS DE COSTES

A continuación (Tabla 3.4), se detalla un presupuesto del coste de los materiales necesarios para la realización del sistema mecatrónico.

	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD	Precio Ud.	Total
ELEMENTOS MECÁNICOS	Tablero Madera 2190x200x45	2	6,54 €	13,08 €
	Tablero Madera 1190x200x45	2	3,56 €	7,12 €
	Tornillos para madera M5x30mm 100 Uds.	1	5,10 €	5,10 €
	Tornillos mecánicos M3x10mm 100 Uds.	1	3,12 €	3,12 €
	Tuerca hexagonal M3 100 Uds.	1	6,94 €	6,94 €
	Lámina de Aluminio RS Pro, long. 300mm, anch. 500mm, grosor 3mm	1	40,96 €	40,96 €
	Tablero Madera 2280x1280x20	1	43,60 €	43,60 €
ELEMENTOS MOTORES	DRV8825 stepper motor driver	4	9,95 €	39,80 €
	Motor paso a paso 3,2 kg/cm NEMA 17	4	18,90 €	75,60 €
	Soporte de Montaje NEMA-17	4	4,90 €	19,60 €
	Engranaje rueda sin fin 12mm y 18 dientes	4	10,56 €	42,24 €
ELEMENTOS ELECTRÓNICOS	FUENTE DE ALIMENTACIÓN ATX 500W	1	16,90 €	16,90 €
	Caja de policarbonato Fibox PC M 95 T, Piccolo, IP67, 230 x 140 x 95mm	1	30,17 €	30,17 €
	ARDUINO MEGA 2560	1	34,50 €	34,50 €
	RAMPS Shield Arduino Mega	1	11,70 €	11,70 €
	Fuente de Alimentación Arduino 12V 450mA	1	29,30 €	29,30 €
	Cable Conector para Placas de Prueba x10	2	2,78 €	5,56 €
	Canalización de cables Iigus 06.10.018.0 de 1 metro	4	26,45 €	105,80 €
	Interruptor Final de Carrera Telemecanique ZCP21	6	9,14 €	54,84 €
	Placa de Prueba, 201 x 64 x 18.5mm	1	23,83 €	23,83 €
			TOTAL	609,76 €
			IVA (21%)	128,05 €
			TOTAL	737,81 €

Tabla 3.4 Presupuesto Materiales

En la siguiente tabla (Tabla 3.5) se puede ver el precio del desarrollo, así como el montaje del prototipo del sistema mecatrónico.

	TAREAS DEL PROYECTO	HORAS MANO OBRA	COSTO MANO OBRA (€)	OTROS COSTOS (€)	TOTAL, POR TAREA
DISEÑO DEL PROYECTO	Desarrollar especificaciones funcionales	10,0	65,00 €	0,00 €	650,00 €
	Desarrollar arquitectura del sistema	10,0	65,00 €	0,00 €	650,00 €
	Desarrollar especificaciones de diseño preliminares	10,0	65,00 €	0,00 €	650,00 €
	Desarrollar especificaciones de diseño detalladas	10,0	65,00 €	0,00 €	650,00 €
	Desarrollar plan de prueba de aceptación	10,0	65,00 €	0,00 €	650,00 €
	Subtotal	50,0	325,00 €	0,00 €	3.250,00 €
	DESARROLLO DEL PROYECTO	Desarrollar componentes	5,0	65,00 €	0,00 €
Obtener software		6,0	65,00 €	0,00 €	390,00 €
Obtener hardware		6,0	65,00 €	0,00 €	390,00 €
Desarrollar paquete de prueba de aceptación		6,0	65,00 €	0,00 €	390,00 €
Realizar prueba de unidad/integración		4,0	65,00 €	0,00 €	260,00 €
Subtotal		27,0	325,00 €	0,00 €	1.755,00 €
ENTREGA DEL PROYECTO	Instalar el sistema	55,0	44,50 €	0,00 €	2.447,50 €
	Entrenar a los clientes	5,0	44,50 €	0,00 €	222,50 €
	Realizar prueba de aceptación	5,0	44,50 €	0,00 €	222,50 €
	Realizar revisión posterior al proyecto	3,0	44,50 €	0,00 €	133,50 €
	Proporcionar soporte técnico bajo garantía	3,0	44,50 €	0,00 €	133,50 €
	Archivar material	2,0	44,50 €	0,00 €	89,00 €
	Subtotal	73,0	267,00 €	0,00 €	3.248,50 €
ADMINISTRACIÓN DEL PROYECTO	Reuniones/informes de progreso con el cliente	5,0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Reuniones/informes de estado interno	10,0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Administración de la configuración	0,0	0,00 €	75,00 €	75,00 €
	Control de calidad	0,0	0,00 €	50,00 €	50,00 €
	Administración global del proyecto	0,0	0,00 €	100,00 €	100,00 €

Sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento

	Subtotal	15,0	0,00 €	225,00 €	225,00 €
OTROS COSTOS	Licencias	0,0	0,00 €	100,00 €	100,00 €
	Programas	0,0	0,00 €	100,00 €	100,00 €
	Desplazamiento	0,0	0,00 €	69,00 €	69,00 €
	Otros costos	0,0	0,00 €	69,00 €	69,00 €
	Subtotal	0,0	0,00 €	269,00 €	269,00 €
Subtotales	165,0	917,00 €	494,00 €	9.485,31 €	
Riesgo (previstos)	0,0	0,00 €	100,00 €	100,00 €	
Total (programado)	165,0	917,00 €	594,00 €	9.585,31 €	

Tabla 3.5 Presupuesto General del Prototipo

Analizando las estimaciones, se puede llegar a la conclusión que durante el primer año se prevé unas ventas de 10 sistemas mecatrónicos, por lo que a la hora de la inversión inicial (Tabla 3.6), además de la fabricación del prototipo y la compra de maquinaria, la cual se ha estimado alrededor de 20000€, se debe tener en cuenta el material necesario para comenzar a fabricar los robots.

INVERSIÓN INICIAL	
Fabricación del prototipo	9.585,31 €
Material para 10 unidades	7.378,10 €
Maquinaria	20.000,00 €
TOTAL	36.963,41 €

Tabla 3.6 Inversión inicial

Teniendo en cuenta que una vez que se fabrique el prototipo, el proceso de diseño del proyecto ya va a estar realizado, se puede obtener el precio que cuesta fabricar cada robot (Tabla 3.7), incluyendo el precio de los materiales anteriormente expuesto.

	TAREAS DEL PROYECTO	HORAS MANO OBRA	COSTO MANO OBRA (€)	OTROS COSTOS (€)	TOTAL, POR TAREA
DESARROLLO DEL PROYECTO	Desarrollar componentes	5,0	65,00 €	0,00 €	325,00 €
	Instalación software	1,0	65,00 €	0,00 €	65,00 €
	Instalación hardware	1,0	65,00 €	0,00 €	65,00 €
	Desarrollar paquete de prueba de aceptación	1,0	65,00 €	0,00 €	65,00 €
	Realizar prueba de unidad/integración	2,0	65,00 €	0,00 €	130,00 €
	Subtotal	10,0	325,00 €	0,00 €	650,00 €
ENTREGA DEL PROYECTO	Instalar el sistema	40,0	44,50 €	0,00 €	1.780,00 €
	Entrenar a los clientes	3,0	44,50 €	0,00 €	133,50 €
	Realizar prueba de aceptación	3,0	44,50 €	0,00 €	133,50 €
	Realizar revisión posterior al proyecto	3,0	44,50 €	0,00 €	133,50 €
	Proporcionar soporte técnico bajo garantía	3,0	44,50 €	0,00 €	133,50 €

	Archivar material	0,0	44,50 €	0,00 €	0,00 €
	Subtotal	52,0	267,00 €	0,00 €	2.314,00 €
OTROS COSTOS	Licencias Programas	0,0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
	Desplazamiento	0,0	0,00 €	100,00 €	100,00 €
	Otros costos	0,0	0,00 €	69,00 €	69,00 €
	Subtotal	0,0	0,00 €	169,00 €	169,00 €
Subtotales		62,0	592,00 €	169,00 €	3.870,81 €
Riesgo (previstos)		0,0	0,00 €	0,00 €	0,00 €
Total (programado)		62,0	592,00 €	169,00 €	3.870,81 €

Tabla 3.7 Presupuesto por unidad

Una vez que se sabe el precio de fabricación e instalación por unidad, se ha decidido estimar un precio de mercado de alrededor de 4500€.

3.3.4. ANÁLISIS ECONÓMICO

La amortización de la inversión inicial se puede realizar en 3 (Tabla 3.8) o en 5 (Tabla 3.9) años con cuotas mensuales y con una tasa de interés del 5%

Amortización a 3 años	
Valor de la deuda	36.963,41 €
Tasa	5%
Periodos	36
Cuota	2.233,86 €

Tabla 3.8 Amortización a 3 años

Amortización a 5 años	
Valor de la deuda	36.963,41 €
Tasa	5%
Periodos	60
Cuota	1.952,71 €

Tabla 3.9 Amortización a 5 años

Ahora se realizará el cálculo de flujos de caja (Tabla 3.10), para saber la ganancia neta generada por el proyecto.

N	FNE	(1+i)^	FNE/(1+i)^
0	- 36.963,41 €		- 36.963,41 €
1	38.047,29 €	1,10	34.588,45 €
2	50.047,29 €	1,21	41.361,40 €
3	62.047,29 €	1,33	46.617,05 €
4	78.047,29 €	1,46	53.307,35 €
5	94.047,29 €	1,61	58.395,97 €
6	122.070,31 €	1,77	68.905,51 €
7	152.587,89 €	1,95	78.301,71 €
8	190.734,86 €	2,14	88.979,22 €
9	238.418,58 €	2,36	101.112,75 €
10	298.023,22 €	2,59	114.900,85 €

VAN	649.506,85 €
------------	---------------------

Tabla 3.10 Cálculo VAN

Si el VAN es mayor que cero se dice que, para el tipo de interés elegido, resulta rentable desde un punto de vista financiero, si es cero la inversión resulta indiferente, pero si es negativo, el proyecto no será viable y quedará inmediatamente descartada su ejecución [22]. El cálculo se hará suponiendo la amortización más desfavorable, o sea, una amortización a 5 años.

Una vez es sabido el VAN, se da paso a la realización del TIR, cuyo valor ha dado del 130%. Todos los cálculos del VAN y del TIR podrán encontrarse en el anexo II de este proyecto.

Como conclusión se puede decir que el proyecto es bastante viable debido a que el VAN y el TIR han salido positivos, por lo que se puede dar lugar a su ejecución.

Capítulo 4

CONCLUSIONES Y TRABAJOS FUTUROS

En líneas generales, después de la realización sistema mecatrónico para la gestión de un huerto urbano, se plantean las mejoras que se pueden realizar a corto plazo, así como los posibles trabajos futuros

La conclusión que se obtiene de este trabajo es que se puede construir un sistema mecatrónico para la gestión de un huerto de autoabastecimiento de forma económica y con un sistema de control medianamente sencillo. El prototipo realizado así lo demuestra, ya que dando simplemente una serie de coordenadas es capaz de ir siempre a la misma posición con una precisión relativamente alta.

En primer lugar, se puede llegar a la conclusión de que se ha logrado crear un sistema mecatrónico, con una estructura realmente sólida, con una altura adecuada para no impedir el crecimiento de las plantas que se vaya a cultivar y con un material que soporte el agua con el que se regarán las plantas.

En segundo lugar, se ha podido comprobar la facilidad de controlar motores PAP mediante la placa Arduino ya que todo se programa mediante software libres y con la instalación de la RAMPS en la placa Arduino se puede llegar a controlar hasta los sensores final de carrera sin necesidad de incluir una programación extensa.

Por otro lado, después de todos los ensayos realizados para la obtención de la velocidad máxima y mínima de los motores, se ha llegado a la conclusión de que los motores PAP que se han elegido para este sistema mecatrónico se quedan con la potencia justa para mover el robot, pero esta potencia se transmite haciendo trabajar a los controladores casi al cien por cien de su rendimiento, algo que no es del todo aconsejable, por lo que se deberían haber elegido unos motores PAP con algo más de potencia, como por ejemplo los NEMA 23 que son los motores de las mismas dimensiones que los NEMA 17 pero ofrecen más potencia.

En caso de que requieran velocidades y aceleraciones superiores a las configuradas para la aplicación, se deberán de incluir un sistema para empotrar o sujetar la estructura en el suelo.

También se ha podido apreciar dificultades de movimiento de los ejes causadas por la falta de tensión de las correas, por lo que se debería diseñar un sistema para poder tensarlas correctamente mediante el correspondiente tensiómetro. Además, estas no están cubiertas lo que hace que se incremente el riesgo del usuario ante posibles lesiones. Una medida sería introducirlas dentro de la estructura principal del robot.

A la hora del montaje hubo que repetir algunas de las piezas relacionadas con los soportes de los motores debido a que no se acoplaban perfectamente a la estructura, lo cual causaba que los motores no estuviesen perfectamente alineados y causaba el hecho de que la transmisión del movimiento no fuese la correcta.

Con respecto a la instalación de la parte electrónica, para empezar, se decidió unir los cables con los jumpers a través de distintas clemas de conexión, pero se pudo observar que algunos errores de funcionamiento eran causados por la desconexión de los cables en las clemas, por lo que se ha decidido unirlos mediante soldadura de estaño y se ha recubierto mediante cinta aislante para proteger el cable de posibles factores externos.

En cuanto al mantenimiento del robot, es necesario que se lleve a cabo una planificación en cuanto al engrase de los engranajes, la tensión de las correas y la verificación de la correcta fijación de los motores a sus correspondientes soportes, debido que las posibles vibraciones que tenga el robot pueden hacer que los tornillos se aflojen.

En conclusión, se puede decir que se han logrado los objetivos planteados para este proyecto, debido a que se ha podido fabricar un prototipo de sistema mecatrónico basado en la propuesta Farmbot.

A pesar de todo, una de posibles mejoras a corto plazo sería aumentar la potencia de los motores debido a que los motores que se han elegido tienen una potencia justa para el movimiento de los ejes, lo cual puede ser que en un futuro próximo los motores se empiecen a romper a causa de estar trabajando casi al 100% de su rendimiento. Esto también sería beneficioso para los controladores, ya que también sufren al tener que mandarle mucha intensidad a cada uno de los motores para hacerlos funcionar.

Del mismo modo, otra opción sería aligerar el peso de la estructura, para ello habría que cambiar todas las piezas que tiene la estructura de acero y fabricar una réplica de cada una de ellas en aluminio para que el peso disminuya considerablemente. Asimismo, esto beneficiaría tanto a los motores como a los controladores puesto que al ser menor el peso, menor será la potencia necesaria para mover los ejes.

No obstante, este proyecto puede conllevar a muchos proyectos en el futuro, tanto en el ámbito de la parte mecánica, como en el ámbito de la parte electrónica.

En la parte mecánica, uno de los posibles proyectos que se puede llevar a cabo es la incorporación del modelo cinemático inverso, por si se quiere realizar una trayectoria que no sea lineal o también otro posible proyecto podría ser la implementación de los actuadores finales, de modo que se pudiesen intercambiar automáticamente mediante un imán.

En la parte electrónica, uno de los posibles proyectos que se puede llevar a cabo es la implementación de una aplicación donde se puedan definir las distintas zonas de cultivo y desde esa aplicación dar orden al robot de que semilla es la que se desea plantar en cada uno de los lugares. De este modo, sería el robot de forma automática quien cogería cada tipo de semilla y las iría plantando.

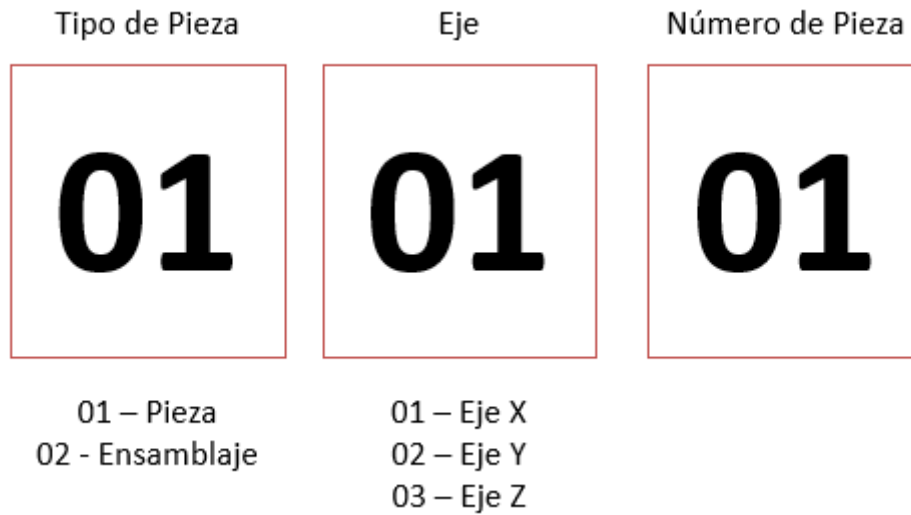
BIBLIOGRAFÍA

- [1] L. Hernández, “La agricultura urbana y caracterización de sus sistemas productivos y sociales,” *Cultiv. Trop.*, vol. 27, no. 2, pp. 13–25, 2006.
- [2] “Farmbot.” [Online]. Available: <https://farmbot.io/>. [Accessed: 13-Feb-2017].
- [3] F. Rodríguez and M. Berenguel, *Control y Robótica en la Agricultura*, Primera Ed. Almería (España), 2004.
- [4] A. Rentería and M. Rivas, *Robótica Industrial. Fundamentos y Aplicaciones*. Madrid (España), 2000.
- [5] J. E. Aguirre and F. J. Sandoval, *Introducción a la robótica*. México, 2010.
- [6] R. Jiménez and J. Lamo, *Agricultura Sostenible*. Madrid (España), 1998.
- [7] R. Landon Aronson, “Humanity’s open-source automated precision farming machine.,” 2013. [Online]. Available: <https://drive.google.com/file/d/0B-wExYzQcnp3ZWxheXgwRU1yVkU/view>. [Accessed: 11-May-2017].
- [8] F. Torres, J. Pomares, P. Gil, S. Puente, and R. Aracil, *Robots y Sistemas Sensoriales*, 1º Edición. Madrid (España), 2002.
- [9] L. López Salvador, “Diseño y construcción de un robot cartesiano,” Universidad de Almería, 2012.
- [10] “Telemecanique ZCP21.” [Online]. Available: <http://www.schneider-electric.us/en/product/ZCP21/limit-switch-body-zcp---compact---1nc%2B1no---snap-action>. [Accessed: 29-Jul-2017].
- [11] J. M. Angulo, S. Romero, and I. Angulo, *Introducción a la robótica*. Madrid (España), 2005.
- [12] A. Barrientos, L. F. Peñín, C. Balaguer, and R. Aracil, *Fundamentos de robótica*, 2º Edición. Madrid (España), 2007.
- [13] “Arduino Mega 2560.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/en/Main/arduinoBoardMega2560/>. [Accessed: 01-Aug-2017].
- [14] “Arduino.” [Online]. Available: <https://www.arduino.cc/>. [Accessed: 14-Jun-2017].
- [15] “Ramps 1.4.” [Online]. Available: http://reprap.org/wiki/RAMPS_1.4/es. [Accessed: 25-Jul-2017].
- [16] “Pronterface.” [Online]. Available: <http://www.pronterface.com/>. [Accessed: 29-Jun-2017].
- [17] O. López, “Características y ventajas de AutoCAD,” 2014. [Online]. Available: https://prezi.com/u_t8zo28chde/caracteristicas-y-ventajas-de-autocad/. [Accessed: 26-Jul-2016].

- [18] “CAD en 3D.” [Online]. Available: <http://www.solidworks.es/sw/products/3d-cad/capabilities.htm>. [Accessed: 25-Jul-2017].
- [19] “SolidWorks.” [Online]. Available: <http://www.solidworks.es/>. [Accessed: 15-Jul-2017].
- [20] Maderea, “La madera de teca; propiedades y características,” 2017. [Online]. Available: <https://www.maderea.es/la-madera-de-teca-propiedades-y-caracteristicas/>. [Accessed: 15-Jul-2017].
- [21] “Zona Marker.” [Online]. Available: <https://www.zonamaker.com/>. [Accessed: 01-Jul-2017].
- [22] E. Fernández, B. Junquera, and J. A. del Brío, *Iniciación a los negocios para ingenieros*. Madrid (España), 2008.

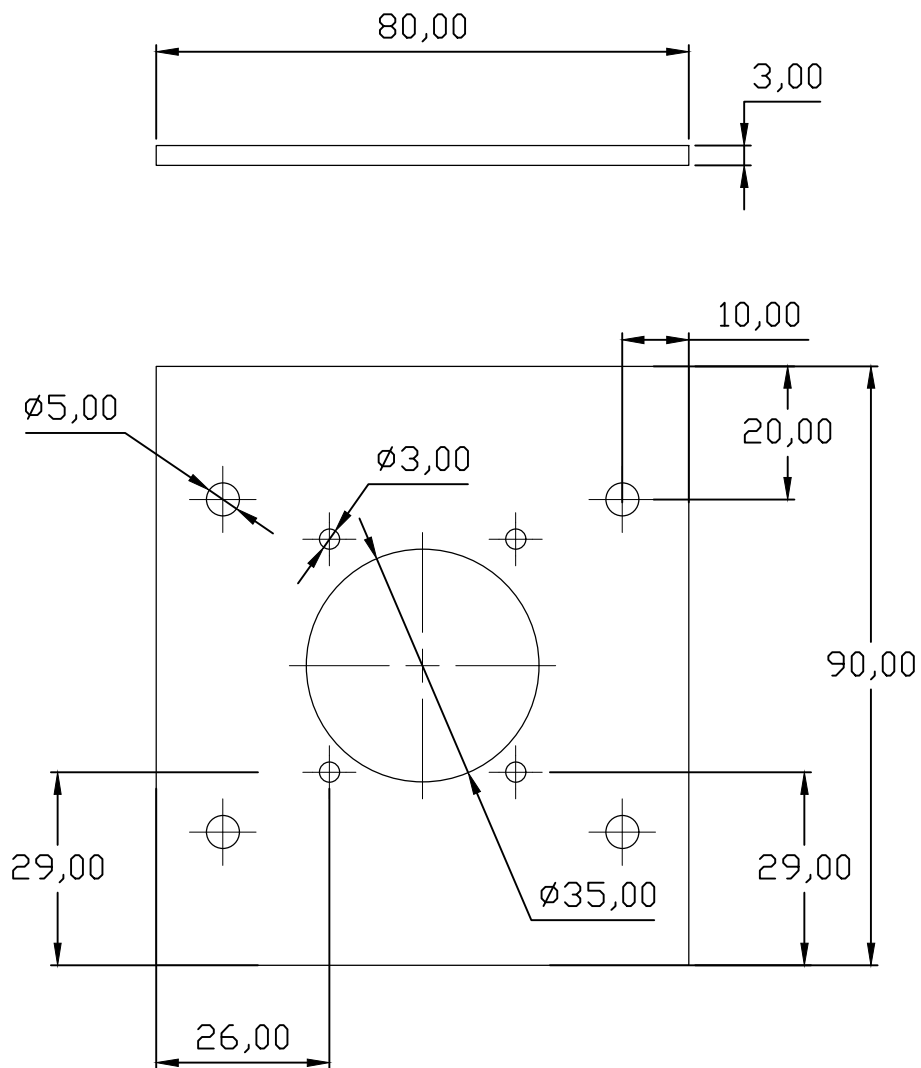
ANEXO I: PLANOS

A continuación, se muestra la codificación de seis dígitos la cual van a seguir los planos.



En la siguiente tabla se muestra el orden de los planos junto a su número de plano y a su codificación.

PLANOS		
CÓDIGO	Nº PLANO	DESCRIPCIÓN
010101	01	SOPORTE MOTOR EJE X
010201	02	SOPORTE MOTOR EJE Y
010102	03	CASQUILLO MOTOR EJE X
010202	03	CASQUILLO MOTOR EJE Y
010103	04	ENGRANAJE MOTOR EJE X
010203	04	ENGRANAJE MOTOR EJE Y
020301	05	GIRO EJE Z
010301	05.1	SOPORTE MOTOR EJE Z
010302	05.2	SOPORTE GIRO EJE Z
010303	05.3	SEPARADOR MOTOR EJE Z



Autor: Pedro Rubio Salvador

Firma:

Plano: SOPORTE MOTOR EJE X

Directores: Francisco de Asís Rodríguez Díaz
José Luis Torres Moreno

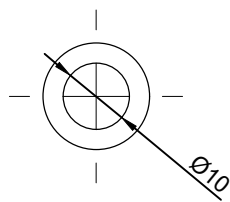
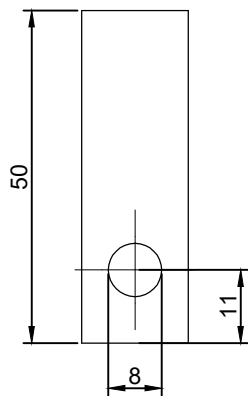
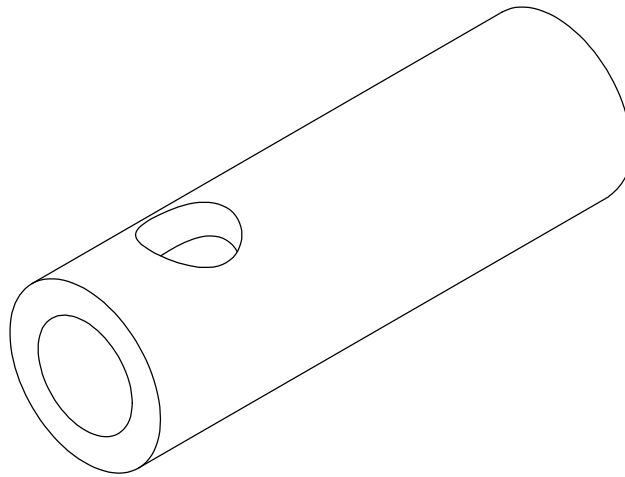
Ubicación: Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Almería

PROYECTO: SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA DE UN HUERTO DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN LA PROPUESTA FRARBOT

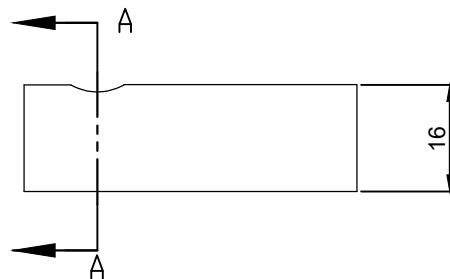
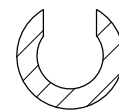
Escala: 1:1

Fecha: Septiembre 2017

Nº: 01 CÓDIGO: 010101



SECCIÓN A-A



Autor: Pedro Rubio Salvador

Firma:

Plano:

CASQUILLO EJE

Directores:

Francisco de Asís Rodríguez Díaz
José Luis Torres Moreno

Ubicación:

Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Almería

PROYECTO:

SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA
DE UN HUERTO DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN
LA PROPUESTA FARMBOT

Escala:

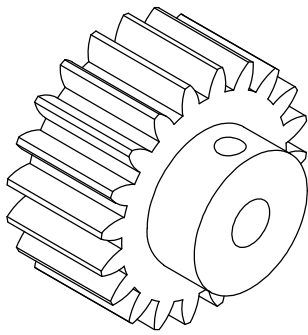
2:1

Fecha:

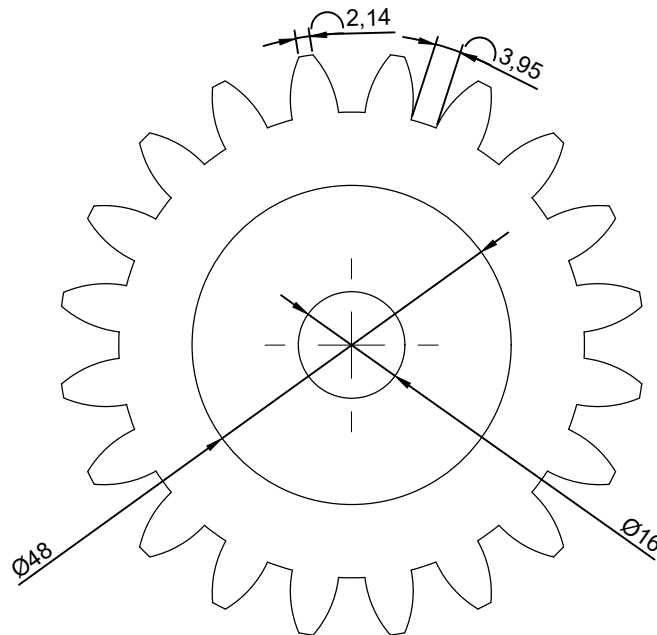
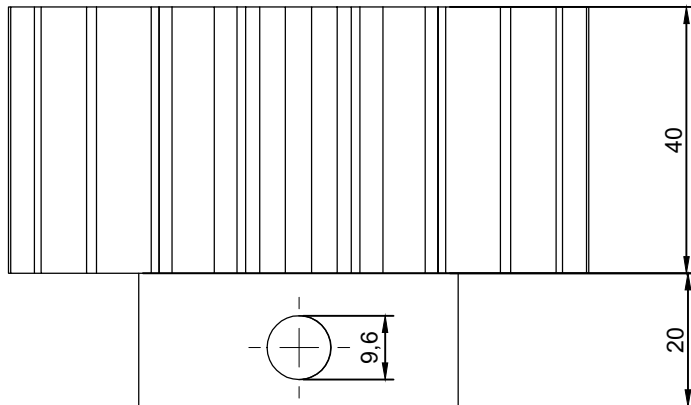
Septiembre 2017

Nº: 03

CÓDIGO:
010102
010202



VISTA ISOMÉTRICA
ESCALA 1:1



Autor: Pedro Rubio Salvador

Firma:

Plano:

ENGRANAJE MOTOR

Directores:

Francisco de Asís Rodríguez Díaz
José Luis Torres Moreno

Ubicación:

Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Almería

PROYECTO:

SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA
DE UN HUERTO DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN
LA PROPUESTA FARBOT

Escala:

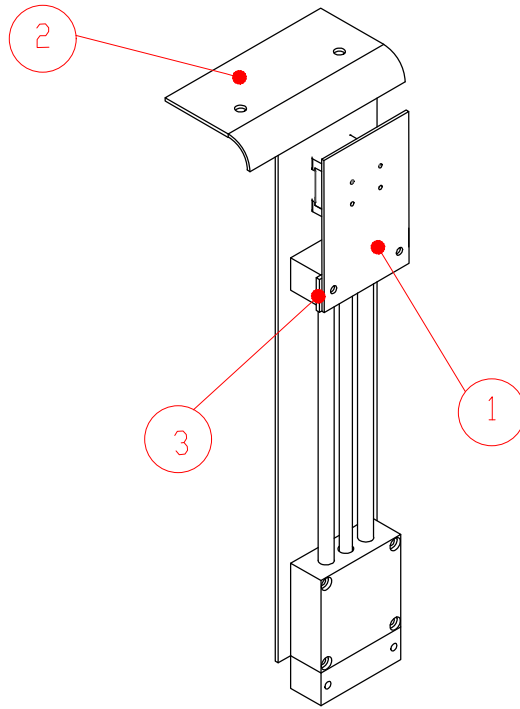
5:1

Fecha:

Septiembre 2017

N°: 04

CÓDIGO:
010103
010203



ELEMENTO	Plano nº	N.º DE PIEZA	CÓDIGO	CANTIDAD
1	5.1	Soporte Motor Eje Z	010301	1
2	5.2	Sopoete Giro Eje Z	010302	1
3	5.3	Separador Motor Eje Z	010303	1



Autor: Pedro Rubio Salvador

Firma:

Plano:

GIRO EJE Z

Directores:

Francisco de Asís Rodríguez Díaz
José Luis Torres Moreno

Ubicación:

Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Almería

PROYECTO:

SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA
DE UN HUERTO DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN
LA PROPUESTA FARBOT

Escala:

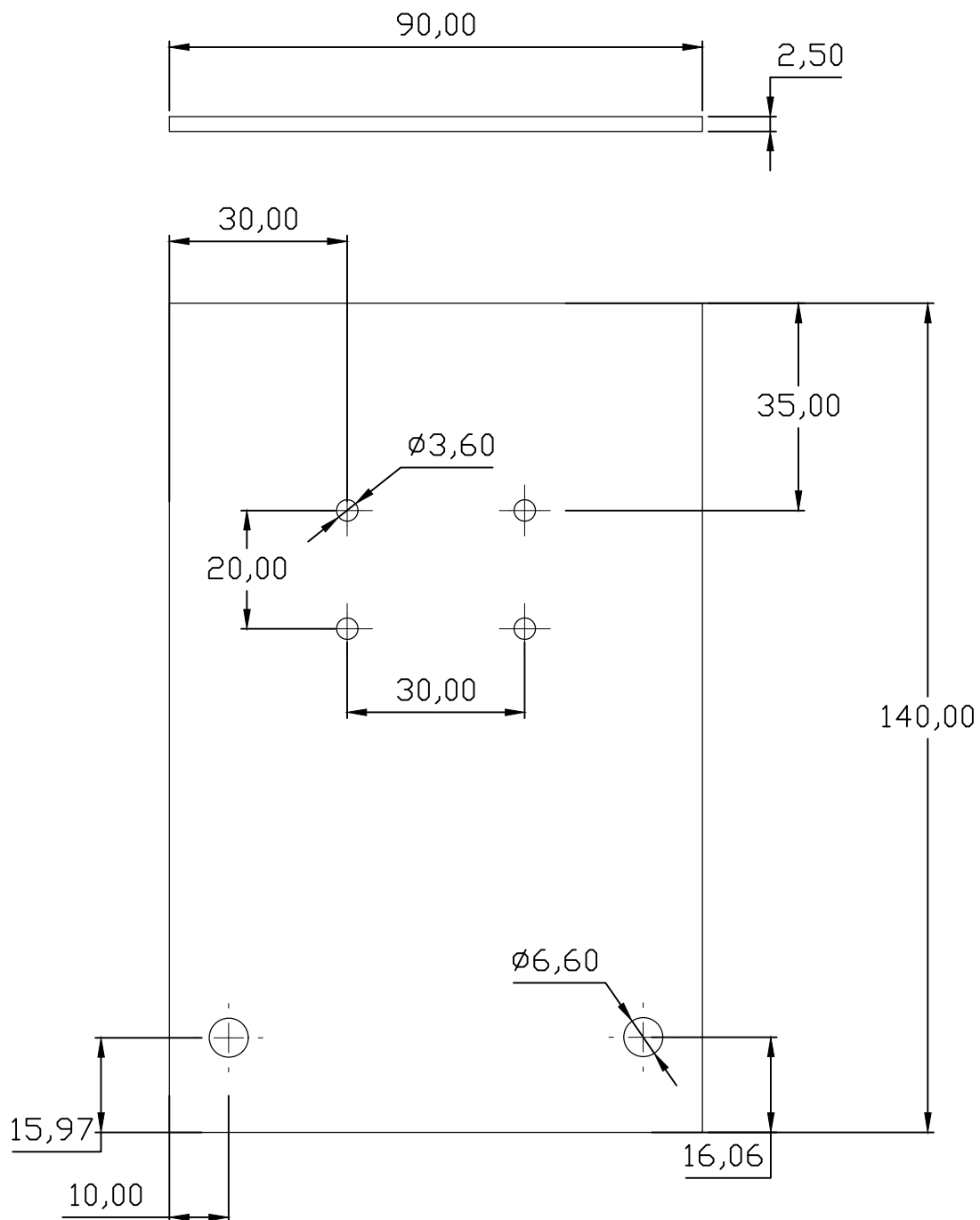
1:5

Fecha:

Septiembre 2017

Nº: 05

CÓDIGO:
020301



Autor: Pedro Rubio Salvador

Firma:

Plano:

SOPORTE MOTOR EJE Z

Directores:

Francisco de Asís Rodríguez Díaz
José Luis Torres Moreno

Ubicación:

Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Almería

PROYECTO:

SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA
DE UN HUERTO DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN
LA PROPUESTA FARBOT

Escala:

1:1

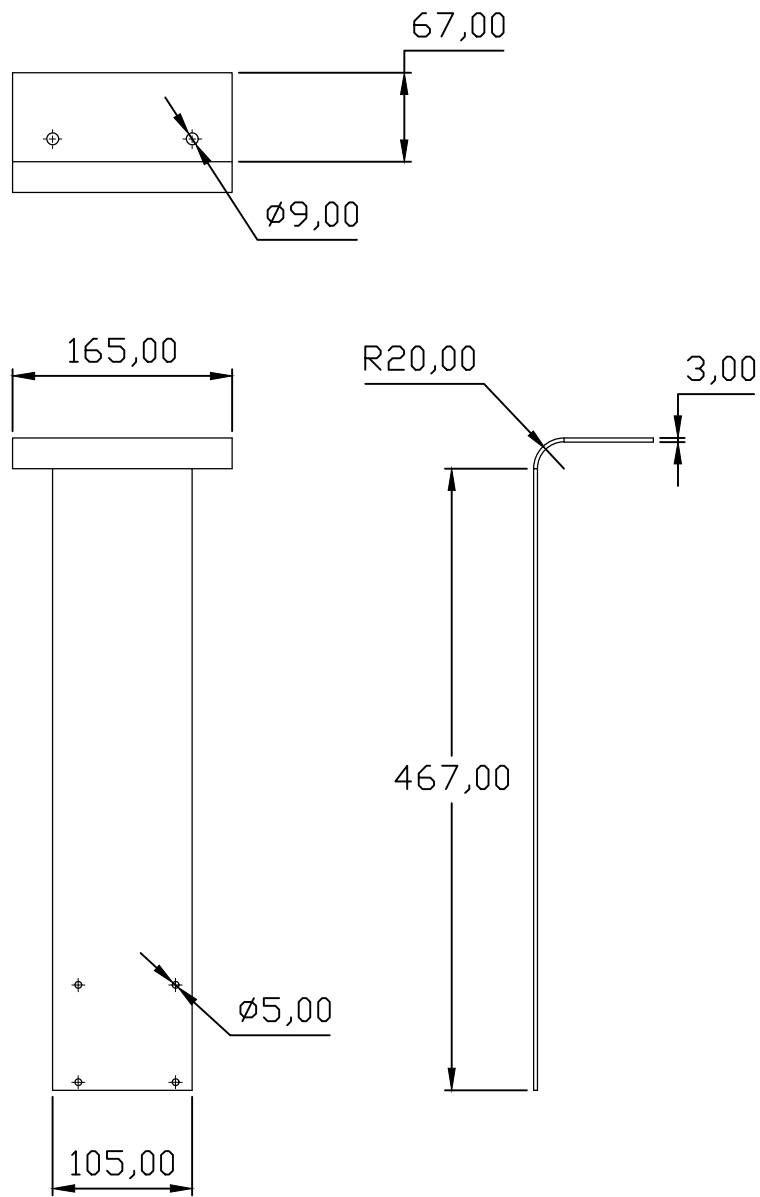
Fecha:

Septiembre 2017

N°:

05.1

CÓDIGO:
010301



Autor: Pedro Rubio Salvador

Firma:

Plano:

SOPORTE GIRO EJE Z

Directores:

Francisco de Asís Rodríguez Díaz
José Luis Torres Moreno

Ubicación:

Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Almería

PROYECTO:

SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA
DE UN HUERTO DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN
LA PROPUESTA FARMBOT

Escala:

1:5

Fecha:

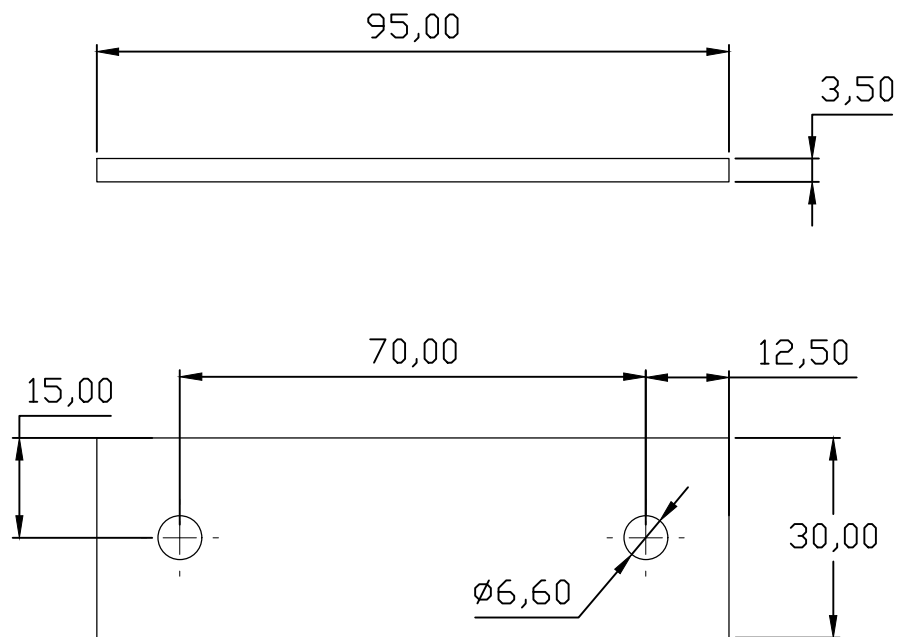
Septiembre 2017

N°:

05.2

CÓDIGO:

010302



Autor: Pedro Rubio Salvador

Firma:

Plano:

SEPARADOR MOTOR EJE Z

Directores:

Francisco de Asis Rodríguez Díaz
José Luis Torres Moreno

Ubicación:

Escuela Superior de Ingeniería
Universidad de Almería

PROYECTO:

SISTEMA MECATRÓNICO PARA LA GESTIÓN AUTOMÁTICA
DE UN HUERTO DE AUTOABASTECIMIENTO BASADO EN
LA PROPUESTA FARMBOT

Escala:

1:1

Fecha:

Septiembre 2017

N°:

05.3

CÓDIGO:

010303

ANEXO II: FINANCIACIÓN

A continuación, se muestran las tablas de amortización tanto a 3 como a 5 años.

AMORTIZACIÓN CON CUOTA CONSTANTE 3 AÑOS					
VALOR DE LA DEUDA		36.963,41 €			
TASA DE INTERÉS		5%			
VALOR DE LA CUOTA		2.233,86 €			
n	Saldo Inicial	Cuotas	Intereses	Capital	Saldo Final
1	36.963,41 €	2.233,86 €	1.848,17 €	385,69 €	36.577,71 €
2	36.577,71 €	2.233,86 €	1.828,89 €	404,98 €	36.172,73 €
3	36.172,73 €	2.233,86 €	1.808,64 €	425,23 €	35.747,51 €
4	35.747,51 €	2.233,86 €	1.787,38 €	446,49 €	35.301,02 €
5	35.301,02 €	2.233,86 €	1.765,05 €	468,81 €	34.832,21 €
6	34.832,21 €	2.233,86 €	1.741,61 €	492,25 €	34.339,95 €
7	34.339,95 €	2.233,86 €	1.717,00 €	516,87 €	33.823,09 €
8	33.823,09 €	2.233,86 €	1.691,15 €	542,71 €	33.280,38 €
9	33.280,38 €	2.233,86 €	1.664,02 €	569,84 €	32.710,54 €
10	32.710,54 €	2.233,86 €	1.635,53 €	598,34 €	32.112,20 €
11	32.112,20 €	2.233,86 €	1.605,61 €	628,25 €	31.483,95 €
12	31.483,95 €	2.233,86 €	1.574,20 €	659,67 €	30.824,28 €
13	30.824,28 €	2.233,86 €	1.541,21 €	692,65 €	30.131,63 €
14	30.131,63 €	2.233,86 €	1.506,58 €	727,28 €	29.404,35 €
15	29.404,35 €	2.233,86 €	1.470,22 €	763,65 €	28.640,70 €
16	28.640,70 €	2.233,86 €	1.432,04 €	801,83 €	27.838,87 €
17	27.838,87 €	2.233,86 €	1.391,94 €	841,92 €	26.996,96 €
18	26.996,96 €	2.233,86 €	1.349,85 €	884,02 €	26.112,94 €
19	26.112,94 €	2.233,86 €	1.305,65 €	928,22 €	25.184,72 €
20	25.184,72 €	2.233,86 €	1.259,24 €	974,63 €	24.210,10 €
21	24.210,10 €	2.233,86 €	1.210,50 €	1.023,36 €	23.186,74 €
22	23.186,74 €	2.233,86 €	1.159,34 €	1.074,53 €	22.112,21 €
23	22.112,21 €	2.233,86 €	1.105,61 €	1.128,25 €	20.983,96 €
24	20.983,96 €	2.233,86 €	1.049,20 €	1.184,67 €	19.799,29 €
25	19.799,29 €	2.233,86 €	989,96 €	1.243,90 €	18.555,39 €
26	18.555,39 €	2.233,86 €	927,77 €	1.306,09 €	17.249,30 €
27	17.249,30 €	2.233,86 €	862,47 €	1.371,40 €	15.877,90 €
28	15.877,90 €	2.233,86 €	793,90 €	1.439,97 €	14.437,93 €

29	14.437,93 €	2.233,86 €	721,90 €	1.511,97 €	12.925,97 €
30	12.925,97 €	2.233,86 €	646,30 €	1.587,56 €	11.338,40 €
31	11.338,40 €	2.233,86 €	566,92 €	1.666,94 €	9.671,46 €
32	9.671,46 €	2.233,86 €	483,57 €	1.750,29 €	7.921,17 €
33	7.921,17 €	2.233,86 €	396,06 €	1.837,80 €	6.083,36 €
34	6.083,36 €	2.233,86 €	304,17 €	1.929,70 €	4.153,67 €
35	4.153,67 €	2.233,86 €	207,68 €	2.026,18 €	2.127,49 €
36	2.127,49 €	2.233,86 €	106,37 €	2.127,49 €	- 0,00 €

AMORTIZACIÓN CON CUOTA CONSTANTE 5 AÑOS

VALOR DE LA DEUDA

36.963,41 €

TASA DE INTERÉS

5%

VALOR DE LA CUOTA

1.952,71 €

n	Saldo Inicial	Cuotas	Intereses	Capital	Saldo Final
1	36.963,41 €	1.952,71 €	1.848,17 €	104,54 €	36.858,87 €
2	36.858,87 €	1.952,71 €	1.842,94 €	109,77 €	36.749,10 €
3	36.749,10 €	1.952,71 €	1.837,45 €	115,25 €	36.633,85 €
4	36.633,85 €	1.952,71 €	1.831,69 €	121,02 €	36.512,83 €
5	36.512,83 €	1.952,71 €	1.825,64 €	127,07 €	36.385,76 €
6	36.385,76 €	1.952,71 €	1.819,29 €	133,42 €	36.252,34 €
7	36.252,34 €	1.952,71 €	1.812,62 €	140,09 €	36.112,25 €
8	36.112,25 €	1.952,71 €	1.805,61 €	147,10 €	35.965,15 €
9	35.965,15 €	1.952,71 €	1.798,26 €	154,45 €	35.810,70 €
10	35.810,70 €	1.952,71 €	1.790,53 €	162,17 €	35.648,52 €
11	35.648,52 €	1.952,71 €	1.782,43 €	170,28 €	35.478,24 €
12	35.478,24 €	1.952,71 €	1.773,91 €	178,80 €	35.299,44 €
13	35.299,44 €	1.952,71 €	1.764,97 €	187,74 €	35.111,70 €
14	35.111,70 €	1.952,71 €	1.755,59 €	197,12 €	34.914,58 €
15	34.914,58 €	1.952,71 €	1.745,73 €	206,98 €	34.707,60 €
16	34.707,60 €	1.952,71 €	1.735,38 €	217,33 €	34.490,27 €
17	34.490,27 €	1.952,71 €	1.724,51 €	228,20 €	34.262,07 €
18	34.262,07 €	1.952,71 €	1.713,10 €	239,61 €	34.022,46 €
19	34.022,46 €	1.952,71 €	1.701,12 €	251,59 €	33.770,88 €
20	33.770,88 €	1.952,71 €	1.688,54 €	264,17 €	33.506,71 €
21	33.506,71 €	1.952,71 €	1.675,34 €	277,37 €	33.229,34 €
22	33.229,34 €	1.952,71 €	1.661,47 €	291,24 €	32.938,10 €
23	32.938,10 €	1.952,71 €	1.646,90 €	305,80 €	32.632,29 €

24	32.632,29 €	1.952,71 €	1.631,61 €	321,10 €	32.311,20 €
25	32.311,20 €	1.952,71 €	1.615,56 €	337,15 €	31.974,05 €
26	31.974,05 €	1.952,71 €	1.598,70 €	354,01 €	31.620,04 €
27	31.620,04 €	1.952,71 €	1.581,00 €	371,71 €	31.248,33 €
28	31.248,33 €	1.952,71 €	1.562,42 €	390,29 €	30.858,04 €
29	30.858,04 €	1.952,71 €	1.542,90 €	409,81 €	30.448,23 €
30	30.448,23 €	1.952,71 €	1.522,41 €	430,30 €	30.017,93 €
31	30.017,93 €	1.952,71 €	1.500,90 €	451,81 €	29.566,12 €
32	29.566,12 €	1.952,71 €	1.478,31 €	474,40 €	29.091,72 €
33	29.091,72 €	1.952,71 €	1.454,59 €	498,12 €	28.593,59 €
34	28.593,59 €	1.952,71 €	1.429,68 €	523,03 €	28.070,56 €
35	28.070,56 €	1.952,71 €	1.403,53 €	549,18 €	27.521,38 €
36	27.521,38 €	1.952,71 €	1.376,07 €	576,64 €	26.944,74 €
37	26.944,74 €	1.952,71 €	1.347,24 €	605,47 €	26.339,27 €
38	26.339,27 €	1.952,71 €	1.316,96 €	635,75 €	25.703,52 €
39	25.703,52 €	1.952,71 €	1.285,18 €	667,53 €	25.035,99 €
40	25.035,99 €	1.952,71 €	1.251,80 €	700,91 €	24.335,08 €
41	24.335,08 €	1.952,71 €	1.216,75 €	735,96 €	23.599,12 €
42	23.599,12 €	1.952,71 €	1.179,96 €	772,75 €	22.826,37 €
43	22.826,37 €	1.952,71 €	1.141,32 €	811,39 €	22.014,98 €
44	22.014,98 €	1.952,71 €	1.100,75 €	851,96 €	21.163,02 €
45	21.163,02 €	1.952,71 €	1.058,15 €	894,56 €	20.268,46 €
46	20.268,46 €	1.952,71 €	1.013,42 €	939,29 €	19.329,17 €
47	19.329,17 €	1.952,71 €	966,46 €	986,25 €	18.342,92 €
48	18.342,92 €	1.952,71 €	917,15 €	1.035,56 €	17.307,36 €
49	17.307,36 €	1.952,71 €	865,37 €	1.087,34 €	16.220,01 €
50	16.220,01 €	1.952,71 €	811,00 €	1.141,71 €	15.078,31 €
51	15.078,31 €	1.952,71 €	753,92 €	1.198,79 €	13.879,51 €
52	13.879,51 €	1.952,71 €	693,98 €	1.258,73 €	12.620,78 €
53	12.620,78 €	1.952,71 €	631,04 €	1.321,67 €	11.299,11 €
54	11.299,11 €	1.952,71 €	564,96 €	1.387,75 €	9.911,35 €
55	9.911,35 €	1.952,71 €	495,57 €	1.457,14 €	8.454,21 €
56	8.454,21 €	1.952,71 €	422,71 €	1.530,00 €	6.924,21 €
57	6.924,21 €	1.952,71 €	346,21 €	1.606,50 €	5.317,71 €
58	5.317,71 €	1.952,71 €	265,89 €	1.686,82 €	3.630,89 €
59	3.630,89 €	1.952,71 €	181,54 €	1.771,17 €	1.859,72 €
60	1.859,72 €	1.952,71 €	92,99 €	1.859,72 €	0,00 €

Se muestra ahora el cálculo seguido para obtener el VAN y el TIR

DATOS	VALORES
Número de Periodos	10
Tipo de Periodo	ANUAL
Tasa de Descuento	10%

DETALLE		FLUJO NETO PROYECTADO
PERIODOS	0	- 36.963,41 €
	1	38.047,29 €
	2	50.047,29 €
	3	62.047,29 €
	4	78.047,29 €
	5	94.047,29 €
	6	122.070,31 €
	7	152.587,89 €
	8	190.734,86 €
	9	238.418,58 €
	10	298.023,22 €

N	FNE	(1+i)^	FNE/(1+i)^
0	- 36.963,41 €		- 36.963,41 €
1	38.047,29 €	1,10	34.588,45 €
2	50.047,29 €	1,21	41.361,40 €
3	62.047,29 €	1,33	46.617,05 €
4	78.047,29 €	1,46	53.307,35 €
5	94.047,29 €	1,61	58.395,97 €
6	122.070,31 €	1,77	68.905,51 €
7	152.587,89 €	1,95	78.301,71 €
8	190.734,86 €	2,14	88.979,22 €
9	238.418,58 €	2,36	101.112,75 €
10	298.023,22 €	2,59	114.900,85 €
		VAN	649.506,85 €

	Tasas de Descuento	VAN
	0%	1.287.107,92 €
	5%	901.439,59 €
	10%	649.506,85 €
	15%	480.072,75 €
	20%	363.002,72 €
	25%	280.058,49 €
	30%	219.905,89 €
	35%	175.326,45 €
	40%	141.616,83 €
	45%	115.646,55 €
	50%	95.290,17 €
	55%	79.077,45 €
	60%	65.973,40 €
	65%	55.237,41 €
	70%	46.331,19 €
	75%	38.857,83 €
	80%	32.520,58 €
	85%	27.094,70 €
	90%	22.407,91 €
	95%	18.326,62 €
	100%	14.746,11 €
	105%	11.583,43 €
	110%	8.772,28 €
	115%	6.259,16 €
	120%	4.000,53 €
	125%	1.960,67 €
TIR	130%	110,07 €
	135%	-1.575,86 €
	140%	-3.117,72 €
	145%	-4.532,88 €
	150%	-5.836,09 €

El crecimiento de las ciudades en los últimos decenios, sobre todo en los países en desarrollo, ha hecho que se busquen nuevos modelos en la agricultura, que permitan resolver los problemas para aumentar la calidad de vida y seguridad alimentaria. Con el auge de la agricultura urbana, se ha podido demostrar que puede constituir una de las principales vías para solventar estos problemas.

Muchos participantes de la agricultura urbana reportan que prefieren el sabor de esos productos locales, o alimento orgánico, que los de la producción industrial. También, la agricultura urbana apoya una producción más sustentable de alimentos que intenta hacer decaer el uso de pesticidas peligrosos. Los agricultores urbanos y locales también eliminan la necesidad de conservantes, ya que sus productos no tienen que viajar largas distancias.

Con el objetivo de cambiar el sistema actual de producción de alimentos en favor del medio ambiente y de la salud de las personas, la empresa Farmbot ha desarrollado un robot con el cual quiere trasladar los últimos avances en cultivo de precisión a pequeños huertos particulares. FarmBot es un robot que puede encargarse de las necesidades de un huerto casero de forma remota y automática. Funciona con unos paneles solares, así que se puede decir que es 100% sostenible y respetuoso con el medio ambiente.

En este Trabajo Fin de Grado se detalla paso a paso como construir un sistema mecatrónico para la gestión automática de un huerto de autoabastecimiento. Todo lo necesario para la construcción de dicho sistema puede encontrarse aquí, desde la parte mecánica y estructural hasta la parte electrónica con la descripción de los componentes utilizados. El trabajo concluye con el resultado de un robot cartesiano cumpliendo con las especificaciones definidas.

Palabras Clave: Mecatrónica, Agricultura

