



**Implementación de un sistema de control de un huerto robotizado  
utilizando electrónica y software de código abierto para asegurar el control  
y monitorización eficiente del proceso de producción agrícola**

Guacapiña Claudio, Alex Miguel y Sierra Herrera, Dennis Wladimir

Departamento de Eléctrica y Electrónica

Carrera de Tecnología Superior en Electromecánica

Monografía, previo a la obtención del título de Tecnólogo en Electromecánica.

Ing. Murillo Mantilla, Luis Alejandro

Latacunga, 19 de Agosto 2021



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

**CERTIFICACIÓN**

Certifico que la monografía, **“Implementación de un sistema de control de un huerto robotizado utilizando electrónica y software de código abierto para asegurar el control y monitorización eficiente del proceso de producción agrícola”** fue realizada por los señores **Guacapiña Claudio, Alex Miguel y Sierra Herrera, Dennis Wladimir**, la cual ha sido revisada en su totalidad por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto, cumple con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

*Latacunga, 19 de agosto 2021*

---

**ING. MURILLO MANTILLA, LUIS ALEJANDO**  
**C.C.: 180419672-1**

## REPORTE DE VERIFICACIÓN



### Urkund Analysis Result

Analysed Document: MONOGRAFÍA GUACAPIÑA-SIERRA.pdf (D111986890)  
Submitted: 9/2/2021 7:39:00 PM  
Submitted By: jc.altamiranoc@uta.edu.ec  
Significance: 1 %

#### Sources included in the report:

<https://1library.co/document/z3172xey-sistema-robotico-multifuncional-para-aplicaciones-agricolas-domesticas.html>

#### Instances where selected sources appear:

1

---

**ING. MURILLO MANTILLA, LUIS ALEJANDO**  
**C.C.: 180419672-1**



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

**RESPONSABILIDAD DE AUTORÍA**

Nosotros **Guacapiña Claudio, Alex Miguel** con cédula de ciudadanía n°171882490-5 y **Sierra Herrera, Dennis Wladimir** con cédula de ciudadanía n°171781835-3 declaramos que el contenido, ideas y criterios de la monografía: **“Implementación de un sistema de control de un huerto robotizado utilizando electrónica y software de código abierto para asegurar el control y monitorización eficiente del proceso de producción agrícola”** es de nuestra autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos legales, teóricos, científicos, técnicos, y metodológicos establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

**Latacunga, 19 de Agosto 2021**

**Guacapiña Claudio, Alex Miguel**  
C.C.: 171882490-5

**Sierra Herrera, Dennis Wladimir**  
C.C.: 171781835-3



**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y ELECTRÓNICA  
CARRERA DE TECNOLOGÍA SUPERIOR EN ELECTROMECAÁNICA**

**AUTORIZACIÓN DE PUBLICACIÓN**

Nosotros, **Guacapiña Claudio, Alex Miguel** con cédula de ciudadanía n°**171882490-5** y **Sierra Herrera, Dennis Wladimir** con cédula de ciudadanía n°**171781835-3**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar la monografía: ***Implementación de un sistema de control de un huerto robotizado utilizando electrónica y software de código abierto para asegurar el control y monitorización eficiente del proceso de producción agrícola*** en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra responsabilidad.

**Latacunga, 19 de Agosto 2021**

**Guacapiña Claudio, Alex Miguel**  
C.C.: 171882490-5

**Sierra Herrera, Dennis Wladimir**  
C.C.: 171781835-3

**Dedicatoria**

En cada página de este proyecto va a nuestros familiares como recompensa de su arduo trabajo, labor y apoyo durante tantos años para que puedan ellos sentirse orgullosos de nuestros logro; también para nuestros ingenieros que nos han acompañado y brindado su conocimiento en todo el proceso de aprendizaje y nos ha hecho crecer tanto en el ámbito educativo como en el ámbito personal.

**Agradecimiento**

Agradecemos a nuestros familiares por brindarnos el apoyo y el ánimo necesarios para superar cualquier adversidad que se haya presentado en los diversos momentos de la vida; a nuestra segunda familia que son los amigos que elegimos, que en este proceso de estudio han sido un pilar de apoyo y compañía para todos los momentos que se han tenido que vivir; a los ingenieros por acompañarnos y brindarnos todo el conocimiento y apoyo durante todos estos años de estudio, haciendo así que alcancemos un nivel satisfactorio tanto en el ámbito académico como en el ámbito personal; y por último a todas las personas que han pasado por nuestras vidas dejándonos valiosas lecciones que han ido forjando el carácter que ahora nos definen como personas.

Gracias.

<b>Tabla de contenidos</b>	
<b>Carátula.....</b>	<b>1</b>
<b>Certificación.....</b>	<b>2</b>
<b>Reporte de verificación.....</b>	<b>3</b>
<b>Responsabilidad de auditoría.....</b>	<b>4</b>
<b>Autorización de publicidad.....</b>	<b>5</b>
<b>Dedicatoria.....</b>	<b>6</b>
<b>Agradecimiento .....</b>	<b>7</b>
<b>Tabla de contenidos.....</b>	<b>8</b>
<b>Índice de tablas .....</b>	<b>12</b>
<b>Índice de figuras.....</b>	<b>13</b>
<b>Resumen .....</b>	<b>15</b>
<b>Abstract.....</b>	<b>16</b>
<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>17</b>
<b>Tema .....</b>	<b>17</b>
<b>Antecedentes .....</b>	<b>17</b>
<b>Planteamiento del problema .....</b>	<b>18</b>
<b>Justificación.....</b>	<b>19</b>
<b>Objetivos .....</b>	<b>20</b>
<b><i>Objetivo General.....</i></b>	<b>20</b>
<b><i>Objetivos específicos.....</i></b>	<b>20</b>
<b>Alcance.....</b>	<b>21</b>
<b>Estado del Arte .....</b>	<b>22</b>
<b>Huerto robotizado Farmbot.....</b>	<b>22</b>
<b><i>Modelo Genesis.....</i></b>	<b>23</b>

<i>Modelo Express</i> .....	24
<b>Microcontroladores</b> .....	26
<i>Farmduino</i> .....	26
<i>Raspberry Pi</i> .....	28
<i>Drivers</i> .....	28
<b>Sensores</b> .....	30
<i>Sensores de humedad</i> .....	30
<i>Cámara</i> .....	31
<b>Actuadores</b> .....	33
<i>Motores NEMA 17 con Encoder</i> .....	33
<i>Electroválvulas ZE-4F180</i> .....	34
<i>Bomba de vacío</i> .....	34
<b>Lenguajes de programación</b> .....	35
<i>Aplicación Web de Farmbot</i> .....	35
<i>Sistema Operativo</i> .....	36
<i>Firmware de Arduino</i> .....	36
<b>Medios de comunicación</b> .....	37
<i>USB</i> .....	37
<i>Ethernet</i> .....	37
<b>Funcionamiento general del sistema de control de Farmbot</b> .....	37
<i>Electrónica del sistema del huerto robotizado</i> .....	38
<i>Descripción del software del huerto robotizado</i> .....	41
<b>Licencias de uso</b> .....	44
<i>Licencia de Hardware</i> .....	44
<i>Licencia de Software</i> .....	44

	10
<i>Licencia de Documentación</i> .....	45
<i>Licencia de trabajo no funcional</i> .....	45
Desarrollo del tema .....	46
Determinación de parámetros previos .....	46
Funcionalidades de la máquina .....	46
Placas Arduino.....	46
<i>Arduino Mega 2560</i> .....	47
Shield Ramps 1.4 .....	47
El Arduino Due.....	47
Drivers para motores.....	48
<i>Voltaje de referencia del driver</i> .....	49
Determinación de los parámetros de movimiento de los motores.....	51
Sistema de Sembrado.....	52
<i>Electroválvula</i> .....	53
<i>Bomba al Vacío</i> .....	54
Interfaz Humano Máquina (HMI).....	54
<i>Pantalla LCD</i> .....	54
<i>Teclado matricial</i> .....	55
<i>Diseño del Menú</i> .....	55
Finales de carrera .....	57
Diagramas de conexión.....	58
<i>Diagrama Ramps 1.4</i> .....	59
<i>Diagrama arduino HMI</i> .....	60
<i>Conexión entre arduinos</i> .....	61
Fuente de alimentación .....	61

	11
Dimensionamiento de conductores.....	62
Lenguaje de programación a utilizar .....	63
<i>Firmware para la Ramps 1.4</i> .....	64
<i>Código para el arduino del HMI</i> .....	65
Pruebas de Funcionamiento.....	68
Calibración de los Drivers .....	68
<i>Pruebas de la interfaz Humano – Maquina</i> .....	69
<i>Las pruebas de movimiento de Ejes X, Y, Z</i> .....	71
Las ventajas de la implementación .....	73
Las desventajas de la implementación .....	73
Los presupuestos .....	74
Conclusiones y Recomendaciones.....	75
Conclusiones .....	75
Recomendaciones .....	76
Bibliografía.....	77
Anexos .....	81

## Índice de tablas

<b>Tabla 1</b> <i>Dimensiones de los modelos Génesis de Farmbot</i> .....	24
<b>Tabla 2</b> <i>Dimensiones de los modelos Express de Farmbot</i> .....	25
<b>Tabla 3</b> <i>Características de los Drivers</i> .....	30
<b>Tabla 4</b> <i>Especificaciones de la cámara</i> .....	32
<b>Tabla 5</b> <i>Pines de entrada y características del Arduino Mega 2560</i> . ....	47
<b>Tabla 6</b> <i>Características del motor de los ejes Y, Z</i> . ....	48
<b>Tabla 7</b> <i>Características del motor de los ejes X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub></i> .....	48
<b>Tabla 8</b> <i>Características del Driver</i> . ....	49
<b>Tabla 9</b> <i>Características de la electroválvula</i> . ....	53
<b>Tabla 10</b> <i>Características de la bomba al Vacío</i> . ....	54
<b>Tabla 11</b> <i>Características del Display LCD Arduino I2C 20x4</i> .....	55
<b>Tabla 12</b> <i>Características del Teclado Matricial 4x4</i> . ....	55
<b>Tabla 13</b> <i>Dimensionamiento de Fuente</i> .....	61
<b>Tabla 14</b> <i>Códigos que recibe el firmware de farmduino</i> .....	64
<b>Tabla 15</b> <i>Parámetros de los códigos que recibe el firmware de farmduino</i> .....	65
<b>Tabla 16</b> <i>Funciones implementadas en el arduino del HMI</i> . ....	66
<b>Tabla 17</b> <i>Presupuesto parte Eléctrica</i> .....	74
<b>Tabla 18</b> <i>Materiales parte mecánica</i> . ....	74

## Índice de figuras

<b>Figura 1</b> <i>Modelo Genesis de Farmbot</i> .....	23
<b>Figura 2</b> <i>Modelo Express estándar de Farmbot</i> .....	25
<b>Figura 3</b> <i>Farmduino modelo Express</i> .....	27
<b>Figura 4</b> <i>Placa Farmduino modelo Genesis</i> .....	27
<b>Figura 5</b> <i>Placa Raspberry Pi</i> .....	28
<b>Figura 6</b> <i>Controlador A4988</i> .....	29
<b>Figura 7</b> <i>Controlador DRV8825</i> .....	29
<b>Figura 8</b> <i>Sensor de humedad del suelo</i> .....	31
<b>Figura 9</b> <i>Capara para las malas hierbas</i> .....	32
<b>Figura 10</b> <i>Motor Nema 17 STP-MTR-17040(D)</i> .....	33
<b>Figura 11</b> <i>Electroválvula 12V ZE-4F180</i> .....	34
<b>Figura 12</b> <i>Bomba de vacío D20028B</i> .....	35
<b>Figura 13</b> <i>Diagrama enumerado del apartado electrónico de control de Farmbot</i> .....	38
<b>Figura 14</b> <i>Diagrama enumerado del software High</i> .....	41
<b>Figura 15</b> <i>Dimensionamiento del huerto robotizado</i> .....	53
<b>Figura 16</b> <i>Circuito de los Finales de Carrera</i> .....	58
<b>Figura 17</b> <i>Conexión de la Ramp 1.4</i> .....	59
<b>Figura 18</b> <i>Conexión LCD con la I2C al Arduino Due</i> .....	60
<b>Figura 19</b> <i>Conexión serial entre dos Arduinos</i> .....	61
<b>Figura 20</b> <i>Calibre de los conductores</i> .....	63
<b>Figura 21</b> <i>Calibración de Drivers</i> .....	69
<b>Figura 22</b> <i>Movimiento de los ejes X, Y, Z</i> .....	69
<b>Figura 23</b> <i>Cargando el Código</i> .....	70
<b>Figura 24</b> <i>Inicio de pantalla</i> .....	70

<b>Figura 25</b> <i>Activación del Menú principal</i> .....	71
<b>Figura 26</b> <i>Verificación de movimiento</i> .....	72

## **Resumen**

La implementación del sistema de control integral al huerto robotizado tiene como objetivo asegurar el control y monitorización eficiente del proceso de producción agrícola en todas las etapas que éste se encuentre, esto mediante diversos conocimientos en robótica y programación de máquinas. El sistema de control realiza funciones tales como el movimiento de un brazo robótico, controlado por cuatro motores electricos que mueven de manera adecuada el brazo robótico a lo largo de todo el area de sembrado; a su vez mediante el uso de una bomba de vacio se puede recolectar semillas ubicadas directamente en el semillero del huerto y enterrarlas en el area sembrada; mediante una electro válvula se controla el flujo de agua que recibe la planta en el proceso de regado. Los elementos mencionados están conectados a una interfaz humano máquina (HMI), que consiste en una pantalla LCD de 20 x 4 caracteres de lectura y un teclado matricial de 4x4 caracteres. Con los elementos mencionados acoplados a un microcontrolador que ejecuta todas los comandos necesarios para el funcionamiento adecuado del huerto robotizado.

Palabras Clave:

- **MOTORES ELÉCTRICOS**
- **BOMBA DE VACIO**
- **HUERTOS**
- **DRIVERS A4988**
- **INTERFAZ HUMANO MÁQUINA HMI**
- **ROBÓTICA**

**Abstract**

The implementation of the integral control system to the robotic garden aims to ensure the efficient control and monitoring of the agricultural production process in all the stages that it is, this through diverse knowledge in robotics and machine programming. The control system performs functions such as the movement of a robotic arm, controlled by four electric motors that adequately move the robotic arm throughout the entire planting area; Also, by using a vacuum pump, seeds located directly in the seedbed of the garden can be collected and buried in the planted area; By means of an electro valve, the flow of water received by the plant in the irrigation process is controlled. The mentioned elements are connected to a human machine interface (HMI), which consists of a 20 x 4 reading character LCD screen and a 4x4 character matrix keyboard. With the aforementioned elements coupled to a microcontroller that executes all the necessary commands for the proper functioning of the robotic garden.

Key words:

- **ELECTRIC MOTORS**
- **VACUUM PUMP**
- **ORCHARDS**
- **DRIVERS A4988**
- **HUMAN MACHINE INTFACE (HMI)**
- **ROBOTICS**

## Capítulo I

### 1. Planteamiento del problema

#### 1.1 Tema

Implementación de un sistema de control de un huerto robotizado utilizando electrónica y software de código abierto para asegurar el control y monitorización eficiente del proceso de producción agrícola.

#### 1.2 Antecedentes

Debido al desarrollo científico tecnológico en la actualidad, se encontraron alternativas que permiten incrementar la demanda de alimentos orgánicos, en Ecuador existe un incremento de la población de un 1,7 % en 2021 los cuales deberán ser alimentados con la mejor calidad de productos naturales que tiene nuestra tierra, además estos alimentos tienen que ser naturales y no perjudicar el medio ambiente ya que en la actualidad los agricultores por obtener un producto, éstos utilizan diversos químicos para que crezca rápido y se mantengan libres de plagas, pero esto a la vez afecta a la salud de los consumidores de las mismas; en este caso, el propósito de este proyecto es el buscar un sistema para que las personas puedan tener su propio huerto y sin perder mucho tiempo, ya que este sistema va ser automatizado para brindar una comodidad en sus casas.

Según (Prado, 2018) de acuerdo con el tema de su tesis “Sistema Robótico Multifuncional Para Aplicaciones Agrícolas Domésticas” se describe que, en muchos hogares existe la dificultad de implementar un huerto o jardín con diversos tipos de cultivos, ya que conlleva un tiempo en realizar dichas actividades y si el encargado es una persona mayor podría tener dificultades motoras, para solución a estos problemas es desarrollar un sistema robotizado que puede realizar diversas funciones y ejecutar el programa correspondiente según el cultivo.

De acuerdo a (Aguilar, 2019) con el tema de su tesis “Diseño de robot sembrador cartesiano para mini cultivo” se detalla que la ingesta de hortalizas y frutas en el país siempre ha sido un problemática, debido a que las personas eligen productos enlatados o a su vez vegetales que venden en los supermercados, como se sabe estos productos requieren de químicos para su producción y presentación al consumidor, dado que el método de cultivo sigue siendo el tradicional, se diseñó un sistema automático que realiza el proceso de siembra y riego, facilitando el trabajo a la hora de cultivar una planta.

Desde el punto de vista de (Aronson, 2021) con el proyecto Farmbot, nos dice que este proyecto fue creado al ver una problemática en el sector de la agricultura. Con los conocimientos obtenidos a través de sus estudios, se le ocurrió crear una tecnología abierta y accesible que ayude a todos a cultivar alimentos y a cultivar alimentos para todos, este sistema brinda a las personas una comodidad a la hora de querer tener su propio huerto, ya que este sistema da la facilidad antes de la cosecha, nos permite el proceso de siembra, el control mecánico de malezas y el riego. El proyecto existe en la actualidad y es el número uno en relación a la tecnología moderna para agricultura.

### **1.3 Planteamiento del problema**

El proyecto “Farmbot” empezó en el 2011 por Rory Aronson mientras cursaba la carrera de ingeniería mecánica en la Universidad Politécnica de California. Dicho proyecto fue creado en respuesta al aumento de aproximadamente el 60% en la producción de alimentos necesaria debido al elevado crecimiento de la población mundial a entre 7 y 9 mil millones para el 2050, también tiene como objetivo explotar la precisión de la robótica para reducir los impactos ambientales de la agricultura al aprovechar de manera adecuada el uso de recursos tales como el agua, energía, elementos químicos y tiempo necesario para cultivar los productos requeridos.

El constante crecimiento poblacional mundial ha sido evidente con el paso de los años, esto a su vez trae como consecuencia el incremento de los métodos y la cantidad de producción de alimentos para abastecer el consumo de los mismos en las generaciones futuras. Esto quiere decir, que es necesario incrementar la eficiencia de la agricultura en ciertos sectores. Los procesos de siembra y cosecha no siempre son los más eficientes ya que se están consumiendo más recurso de los necesarios para cultivar algo.

Debido a las problemáticas anteriormente mencionadas, en algunas partes del mundo se han empezado a crear proyectos para corregirlas, a su vez existen miles de usuarios que han comprado este producto o personas que han tomado la idea de farmbot con el fin de tomar su código abierto, para la implementación a través de este sistema que se está abriendo un hueco en el mercado tecnológico. Es necesario que el elevado incremento de la población mundial, el abastecimiento de los recursos alimenticios para las personas y el correcto aprovechamiento de los recursos naturales para la siembra y cosecha de nuevas plantas sean considerados como algo de mayor importancia, ya que al no tomar las correctas medidas preventivas o correctivas, en un futuro no tan lejano, las personas de esas épocas van a tener que cargar con carencias que no les pertenecen.

#### **1.4 Justificación**

El desarrollo del presente proyecto de investigación es plausible al incremento constante de la población y del relativo desperdicio de recursos para la siembra y cultivo de cualquier tipo de planta es que se ha considerado tomar acciones que afecten positivamente a dichos problemas.

Con la implementación que se va a realizar del prototipo del huerto robotizado, se tiene como meta el de optimizar los recursos necesarios para el crecimiento de los

cultivos, a su vez, con la automatización del mismo, también se busca el ahorrar tiempo de las personas que deseen hacer sus propios cultivos, ya que el huerto al tener un sistema de control automatizado, no requiere que exista una intervención manual constante por parte de alguna persona, y ese tiempo ahorrado podrá ser utilizado en cualquier otra actividad.

Las personas que vayan a utilizar el prototipo del huerto robotizado se verán altamente beneficiadas por el mismo ya que el tiempo que emplearán, tanto como los recursos para todo el proceso de siembra, crecimiento y cosecha de los alimentos se verá altamente reducido debido a que todas las tareas esenciales las realizará el robot; también serán beneficiados los consumidores de los alimentos cosechados directamente del huerto.

Considerando los pequeños cambios como la reducción del tiempo usado en el proceso de siembra y cosecha de alimentos, la reducción de recursos implementados, a largo plazo va a tener un impacto mayormente positivo tanto para las personas que decidan usar el huerto robotizado, como para el planeta en general.

## **1.5 Objetivos**

### **1.5.1 *Objetivo General***

Implementar el sistema de control a un huerto robotizado, mediante la utilización de elementos electrónicos y software de código abierto, para asegurar el control y monitorización eficiente del proceso de producción agrícola.

### **1.5.2 *Objetivos específicos***

- Determinar los dispositivos necesarios del sistema de control mediante el análisis de las funciones a desempeñar por el sistema robotizado asegurando el correcto desempeño.

- Diseñar el algoritmo de control del sistema asegurando la correcta funcionalidad a través de la utilización de software de código abierto.
- Implementar un sistema de interfaz humano-máquina a través de dispositivos electrónicos de bajo costo y código abierto que permitan el control local del sistema.
- Validar el sistema robotizado mediante la ejecución de pruebas de campo para asegurar el correcto funcionamiento

### **1.6 Alcance**

La presente investigación tiene como alcance realizar un sistema de control para el huerto robotizado, mediante la interacción del usuario por un HMI que será una pantalla matricial de 20 x 4 caracteres, un teclado de 4 x 4 caracteres y su respectivo Arduino Mega. A su vez, ésta irá conectada a un microcontrolador que será un Arduino MEGA con un Shield Ramps 1.4 y sus respectivos drivers de control.

Respecto a las funciones del sistema de control, se espera que mediante el HMI se pueda controlar y monitorizar todo el proceso de siembra y cultivo de las verduras, exceptuando el proceso de cosecha. Dichas funcionalidades incluirán el sensado de humedad del suelo, la perforación del suelo para el posterior depósito de la semilla y el riego del agua necesaria para el crecimiento de la planta.

El resultado esperado es que todas las funcionalidades anteriormente mencionadas sean las adecuadas, así como también que se pueda integrar nuevas funcionalidades en el futuro, manteniendo una adecuada escalabilidad en cuanto a las funciones del huerto robotizado se refiere.

## Capítulo II

### 2. Estado del Arte

En el presente capítulo se muestra la información del sistema de control para un huerto robotizado, los tipos y su utilización. Posteriormente, se abordará los temas de los lenguajes de programación de código abierto con microcontroladores para la generación de las instrucciones respectivas para el control y sensado del huerto robotizado. Se explica la utilización de cada componente eléctrico. Se presentan las herramientas y accesorios para la utilización del huerto robotizado, así como las debidas estrategias utilizadas actualmente, y por último el funcionamiento del huerto robotizado con todos los componentes anteriormente mencionados.

#### 2.1 Huerto robotizado Farmbot

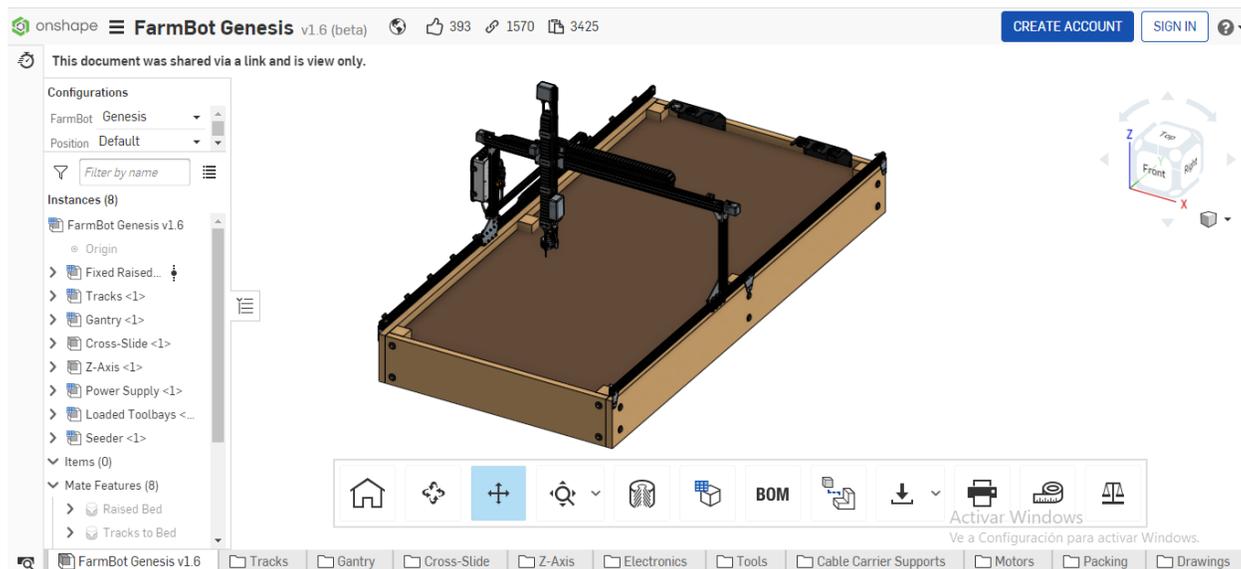
Farmbot es una máquina CNC de código abierto que permite la siembra, monitorización y control de los cultivos. El proyecto tiene como objetivo el crear una tecnología abierta y accesible que ayude a todos a cultivar alimentos. El proyecto "Farmbot" empezó en el 2011 por Rory Aronson mientras cursaba la carrera de ingeniería mecánica en la Universidad Politécnica de California. Dicho proyecto fue creado en respuesta al aumento de aproximadamente el 60% en la producción de alimentos necesaria debido al elevado crecimiento de la población mundial a entre 7 y 9 mil millones para el 2050, también tiene como objetivo explotar la precisión de la robótica para reducir los impactos ambientales de la agricultura al aprovechar de manera adecuada el uso de recursos tales como el agua, energía, elementos químicos y tiempo necesario para cultivar los productos requeridos.

### 2.1.1 Modelo Genesis

El modelo de Farmbot Genesis es el kit más avanzado, fue diseñado para poder cultivar de la forma que se crea conveniente para un huerto. Farmbot Genesis es 100% de código abierto, esto quiere decir que todos sus modelos, esquemas y materiales se podrán utilizar gratuitamente, a su vez hacer modificaciones para la utilización del usuario. Una de las herramientas de que tiene farmbot genesis es su soporte universal que permite que la máquina monte y desmonte con facilidad los cabezales que nos permiten sembrar, regar, escardar, etc. Como muestra el la *Figura 1* nos permite ver el modelo estándar de farmbot génesis

**Figura 1**

*Modelo Genesis de Farmbot.*



*Nota.* Representación del diseño en la página web de Farmbot. Tomado de (Aronson, 2021).

Este modelo está fabricado de dos tamaños:

El Genesis V1.6 este kit supera el 125% del modelo Express, tiene las características más avanzadas y cubre el espacio de las medias que viene el *tabla 1*.

El Genesis XLVI.6 supera 4 veces el tamaño de la Genesis VI.6 este tamaño tiene la capacidad para alimentar a una familia de 4 integrantes y a su vez se puede utilizar para trabajos de investigación sus dimensiones se mostrarán en la siguiente *tabla 1*.

**Tabla 1**

*Dimensiones de los modelos Génesis de Farmbot.*

<b>Modelo</b>	<b>Ancho (m)</b>	<b>Largo (m)</b>	<b>Area (m<sup>2</sup>)</b>	<b>Altura máxima de la planta (m)</b>
Génesis VI.6	1.5	3	4.5	0.5
Génesis XLVI.6	3	6	18	0.5

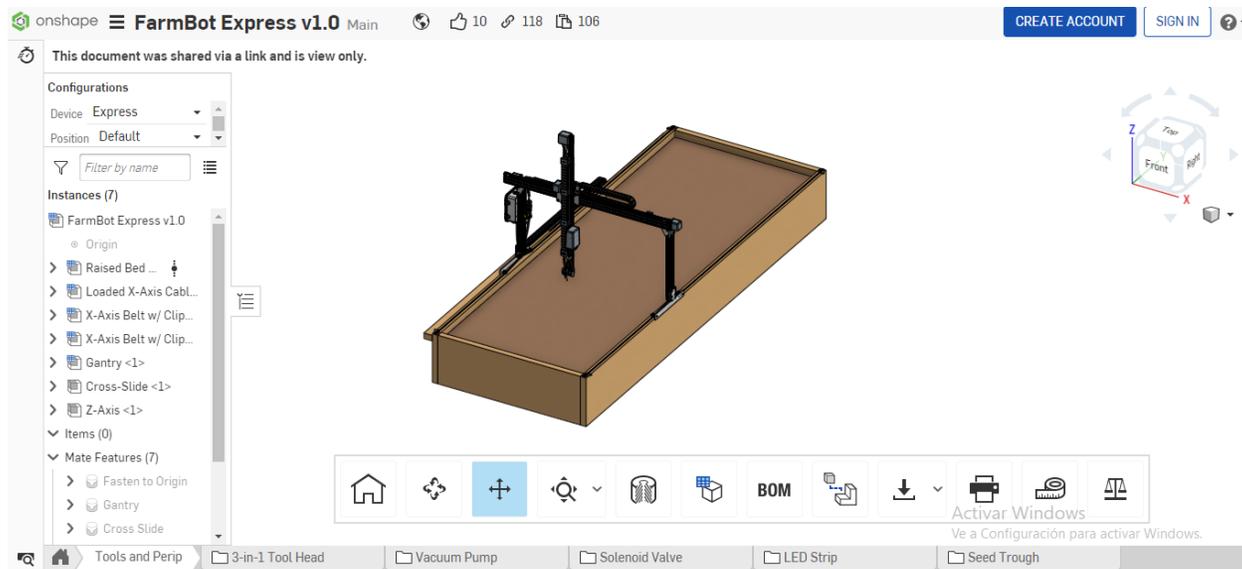
*Nota.* Dimensionamiento de los tipos de modelos que existen de Genesis Tomado de (Aronson, 2021).

### **2.1.2 Modelo Express**

El modelo Express de farmbot es aquel que es más fácil de usar, ya que tiene menos prestaciones que el modelo Génesis, más aun así conserva diversas funcionalidades básicas que lo hacen eficiente. Dicho modelo viene en tres distintas presentaciones o tres tamaños que son: El modelo Express estándar, Express XL y el Express MÁX (dicho modelo a la fecha de publicación del informe se encuentra agotado para su comercialización). El modelo estándar es aquel que se lo puede visualizar en la *figura 2*

## Figura 2

### Modelo Express estándar de Farmbot.



*Nota.* Representación del diseño en la página web de Farmbot. Tomado de (Aronson, 2021).

Para tener una mayor perspectiva en cuanto a las dimensiones que los tres modelos anteriormente mencionados abarcan, se los pueden visualizar en la *tabla 2*.

**Tabla 2**

*Dimensiones de los modelos Express de Farmbot.*

Modelo	Ancho (m)	Largo (m)	Área (m <sup>2</sup> )	Altura máxima de la planta (m)
Express estándar	1.2	3	3.6	0.5
Express XL	2.4	6	14.4	0.5
Express MAX	2.4	18	43.2	0.5

*Nota.* Dimensionamiento de los tipos de modelos que existen de Express (Aronson, 2021).

## 2.2 Microcontroladores

Los microcontroladores contribuyen a la funcionalidad de FarmBot, cada componente detalla cómo se comunican entre ellos. El Farmbot interactúa como nodo de comunicaciones entre la aplicación web y el dispositivo, esto se debe a sus microcontroladores que permite controlar y configurar fácilmente desde un navegador web usando una laptop, tableta o smartphone, este sistema se actualiza constantemente gracias que su software es abierto, se puede utilizar gratuitamente o a su vez modificarlo.

### 2.2.1 *Farmduino*

Existen diferentes tipos de placas para los modelos de farmbot, la mayoría de placas farmduino interactúan con la raspberry PI, estos dispositivos procesan las señales del codificador a alta velocidad. El diseño de cada placa se asemeja a los distintos periféricos y requisitos de los motores de farmbot. Dependiendo del modelo las placas que trabajan es con arduino uno que funciona con el modelo de farmbot express como muestra en la *figura 3*, para el modelo Genesis se utiliza arduino mega 2560 como muestra en la *figura 4*. El trabajo básicamente es controlar los motores paso a paso, ya que es parecido al funcionamiento de una máquina CNC y el código de programación es el código G Y F, así controlamos el sistema con un Farmduino.

**Figura 3**

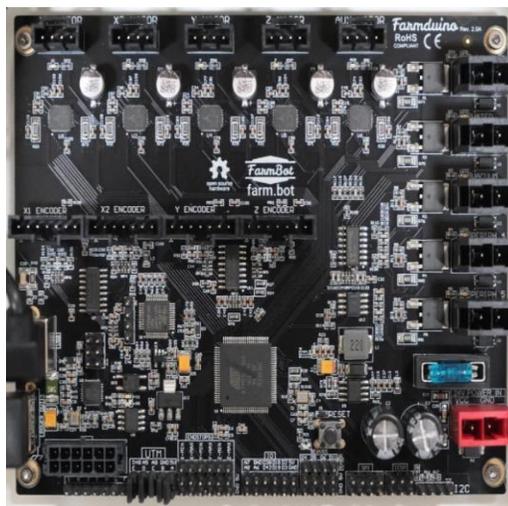
*Farmduino modelo Express.*



*Nota.* Placa donde se compila el código de programación firmware. Tomado de (Aronson, 2021).

**Figura 4**

*Placa Farmduino modelo Genesis.*



*Nota.* Placa donde se compila el código de programación firmware. Tomado de (Aronson, 2021).

### 2.2.2 Raspberry Pi

La placa computadora de farmbot tiene un tamaño reducido como muestra la *figura 5*, permite controlar todo el sistema operativo llamado Farmbot OS, se comunica con la aplicación Web y habla con farmduino para ejecutar las acciones programadas con codificación G y F abierto para que el usuario pueda modificarlo, para el funcionamiento de Farmbot OS depende de los sensores que recopilan la información para dar las órdenes al sistema y los actuadores realicen su respectivo trabajo con la ayuda de los cabezales intercambiables.

#### Figura 5

*Placa Raspberry Pi.*



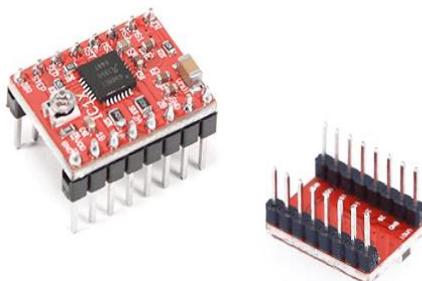
*Nota.* Esta placa reemplaza a una computadora de escritorio, para tener el interfaz humano máquina. Tomado de (Aronson, 2021).

### 2.2.3 Drivers

Los motores paso a paso de Farmbot utilizan el driver A4988 como muestra la *figura 6*, este permite el fácil manejo desde el Farmduino, estos controladores nos permiten trabajar con los voltajes e intensidades que requieren los motores paso a paso.

**Figura 6**

*Controlador A4988.*

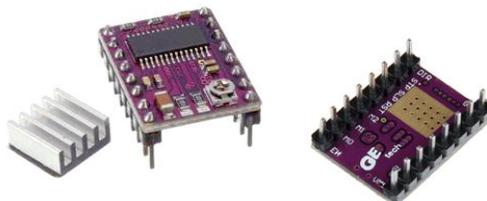


*Nota.* Este driver se calibra dependiendo de la corriente que tengan los motores nema 17 Tomado de (Llamas, 2021).

En la actualidad existe una versión mejorada del A4988, son los DRV8825 como muestra la *figura 7*, estos controladores son básicamente iguales a su antecesor con la característica que tiene mayor capacidad de trabajo, pueden trabajar a mayor voltaje e intensidad y vienen con un disipador de calor, pero si es necesario tienen que instalar ventilador forzado. A continuación se muestra en una la *tabla 3* las características de cada controlador.

**Figura 7**

*Controlador DRV8825.*



*Nota.* Este driver se calibra dependiendo de la corriente que tengan los motores nema 17 Tomado de (Llamas, 2021).

**Tabla 3**

*Características de los Drivers.*

<b>Modelo</b>	<b>A4988</b>	<b>DRV8825</b>
Color	Verde o Rojo	Morado
Intensidad máxima	2 A	2.5 A
Tensión máxima	35 V	45 V
Microsteps	16	32
Rs típico	0.05, 0.1/(8*Rs)	$I_{max}=V_{ref}/(5*Rs)$
Fórmulas	$V_{ref}=I_{max}*8*Rs$	$V_{ref}=I_{max}*5*Rs$

*Nota.* Las fórmulas que nos brinda la tabla 3, nos permite calcular el voltaje de referencia que se va a trabajar con los motores nema 17. Tomado de (Llamas, 2021).

## **2.3 Sensores**

Los sensores de farmbot son un complemento realmente útil para su funcionamiento, estos sensores dan un uso a cada sistema para que su control sea el idóneo y pueda plantar semillas en el lugar que el usuario desee. Existen varios tipos de sensores que permiten realizar el trabajo respectivo al farmbot.

### **2.3.1 Sensores de humedad**

El SparkFun Soil Moisture Sensor que utiliza farmbot como muestra la *figura 8* es bastante simple solo tiene tres pines, los pines VCC (voltaje) y GND (tierra). Estos son conectados al Farduino o cualquier otra placa de desarrollo compatible, básicamente usa dos sondas para detectar cuánta agua hay en la humedad y le dará una mayor lectura de cuánta agua hay en el suelo, con este sensor se podrá hacer el sistema de riego, con los parámetros de humedad se podrá realizar las operaciones.

**Figura 8**

*Sensor de humedad del suelo.*



*Nota.* Este sensor es el más habitual de utilizar, para la lectura de humedad de la tierra. Tomado de (Al-Mutlaq, 2021).

**2.3.2 Cámara**

Como nos muestra el modelo génesis estándar este sensor en la *figura 9*, tiene el trabajo de detectar las malas hierbas, toma la foto para darle la orden al programa y ejecute con la extracción de la misma, estas cámaras son muy utilizadas en la industria digital, son portátiles y fáciles de operar en el funcionamiento de inspecciones dando la señal al sistema controlando el cuidado de las plantas. A continuación se mostrara las especificaciones de la cámara en la *tabla 4*

**Figura 9**

*Capara para las malas hierbas.*



*Nota.* La cámara nos permite detectar las malas hierbas que pueda existir en la zona plantada (Aronson, 2021).

**Tabla 4**

*Especificaciones de la cámara.*

<b>Especificaciones</b>	
Claridad	300.000 píxeles (640x480)
Diámetro de la lente	8 mm
Diámetro de la manguera	6.8 mm
Longitud de trabajo	1000 m
Lente de longitud	45 mm
Longitud focal	30 mm - 80 mm
Ángulo de visión	48 °
Clasificación impermeable	IP 67
Temperatura de trabajo	-20 a 60 °C

*Nota.* Características de la cámara con su debida especificación para el uso. Tomada de (Aronson, 2021).

## 2.4 Actuadores

Los actuadores son dispositivos que permiten por medio de una señal eléctrica, neumática o hidráulica dar una orden de activación para realizar la acción requerida, tal como para el proyecto de farmbot que se utilizó los elementos que se ven a continuación.

### 2.4.1 Motores NEMA 17 con Encoder

Son motores paso a paso de tipo bipolar muy usados en máquinas CNC y otras aplicaciones, en su amplia gama se encuentra al motor Nema 17 STP-MTR-17040(D) que cuenta con un ángulo de paso de  $1,8^\circ$ , soporta una intensidad de 1,7 A por fase, tensión nominal de 24V

#### Figura 10

*Motor Nema 17 STP-MTR-17040(D).*



*Nota.* Los motores Nema 17 nos permiten la movilidad de los ejes X, Y, Z dependiendo de los pasos o el ángulo de cada motor. Tomada de (Dubins, 2019).

o el motor nema 17 con encoder incremental rotativo de 1000 líneas 17HS5005-20BM soporta una intensidad de 1,5 A por fase, tensión nominal de 3,0V

### **2.4.2 Electroválvulas ZE-4F180**

Son dispositivos que por medio de una señal eléctrica el solenoide se puede abrir o cerrar la válvula, esta válvula solenoide dependiendo de las características pueden variar en sus especificaciones, para controlar el flujo de agua, Farmbot utilizó una electroválvula ZE-4F180 con una tensión de entrada de 12V, normalmente cerrada su rango de operación es de 0,02 a 0,8 Mpa, con un flujo unidireccional y consumo de corriente de 320 mA.

#### **Figura 11**

*Electroválvula 12V ZE-4F180.*



*Nota.* Este motor va permitir el paso del agua cuando detecte una señal desde el código de programación. Tomada de (Pardinas, 2018).

### **2.4.3 Bomba de vacío**

Farmbot utiliza la bomba de vacío 2028 que posee un rango de operación de 12 a 15 LPM, con un rango de presión 0 a 32 PSI, voltaje nominal de entrada de 12V y 1 A de corriente; el cual mediante una diferencia de presión está sujeta por succión una semilla durante la etapa de la siembra.

## Figura 12

*Bomba de vacío D20028B.*



*Nota.* La bomba al vacío trabaja con un parametro, para que recoja la semilla con una presión que nos permita sembrar. Tomada de (Peris, 2020).

## 2.5 Lenguajes de programación

Para el apartado de control, es necesario implementar algoritmos o códigos mediante diversos lenguajes de programación, según sea este el caso. Se define como un lenguaje de programación a aquel lenguaje formal que le permite al programador, el crear o programar diversas instrucciones con el objetivo de controlar el funcionamiento o comportamiento de un sistema informático. Por lo tanto, es imprescindible comprender bien los diversos lenguajes de programación a implementarse según las funcionalidades que se explican a continuación.

### 2.5.1 Aplicación Web de Farmbot

Farmbot cuenta con una aplicación web programada en *TypeScript*, dicho lenguaje es desarrollado por Microsoft, es de código abierto y a su vez es un superconjunto de JavaScript, que de manera esencial añade objetos basados en clases y tipos estáticos.

Las funcionalidades de la página web incluyen entre otras, las mencionadas a continuación:

- Interfaz de usuario
- Una API RESTful JSON
- Un servidor MQTT ( que facilita la mensajería en tiempo real desde el navegador al dispositivo)
- Almacena datos como información de cuentas de usuario, datos de plantas, tokens de autorización y una variedad de otros recursos.

### **2.5.2 Sistema Operativo**

El sistema operativo que utiliza Farmbot está programada en Elixir, dicho lenguaje de programación es concurrente, funcional y de propósito general. Éste se ejecuta sobre la máquina virtual de Erlang (Beam).

Como tal el sistema operativo se encarga de proveer al ordenador todas las rutinas básicas necesarias para que éste pueda controlar todos los dispositivos del equipo, a su vez como escalar, administrar y realizar la interacción de las tareas. Su principal función es la de administrar y coordinar el hardware del propio equipo, en este caso de la Raspberry Pi que será quien procese toda la información necesaria para posteriormente enviar las instrucciones a la placa Farmduino y que ésta pueda controlar el funcionamiento del huerto robotizado.

### **2.5.3 Firmware de Arduino**

El firmware que maneja arduino está programado en C++, un lenguaje que surgió tras la necesidad de mejorar o ampliar las capacidades que tenía el lenguaje de programación C. Por lo tanto, se podría decir que C++ es un lenguaje de programación híbrido.

La funcionalidad de este código radica en recibir los Códigos G que el Raspberry le envía y a su vez devolver la información recopilada por los respectivos sensores y actuadores de Farmbot. (Quizá agregar los códigos G)

## **2.6 Medios de comunicación**

La comunicación es el encargado de mantener la conexión, la sincronización con el respectivo sistema para ser controlado a tiempo real y cargar los datos del sensor, también la conexión de estos tipos de medios nos facilita el manejo de todos los dispositivos a través de una conexión de internet.

### **2.6.1 USB**

La conexión USB permite estar conectado con la fuente de alimentación de 5 V a la placa de farmduino, se da alimentación al sistema del farmbot y brinda comunicación con la placa de los controladores de los motores paso a paso, para ejecutar todo el código G y F que está compilado en este sistema y fusione los sensores que está implementados en el farmbot.

### **2.6.2 Ethernet**

La conexión Ethernet permite un funcionamiento más rápido a la hora de transmitir los datos del farmduino, esta conexión trabaja con la aplicación a través de la página web y el usuario pueda tener un sistema más actualizado para trabajar con la facilidad a la hora de elegir qué sembrar en su huerto.

## **2.7 Funcionamiento general del sistema de control de Farmbot**

Habiendo mencionado anteriormente a la parte mecánica de Farmbot, es decir, la estructura con sus respectivos rieles, cabezales intercambiables y demás elementos que dispone el huerto robotizado; para el tema de control se pueden mencionar dos grandes aspectos que son: La electrónica y el manejo de datos o información. Dichos

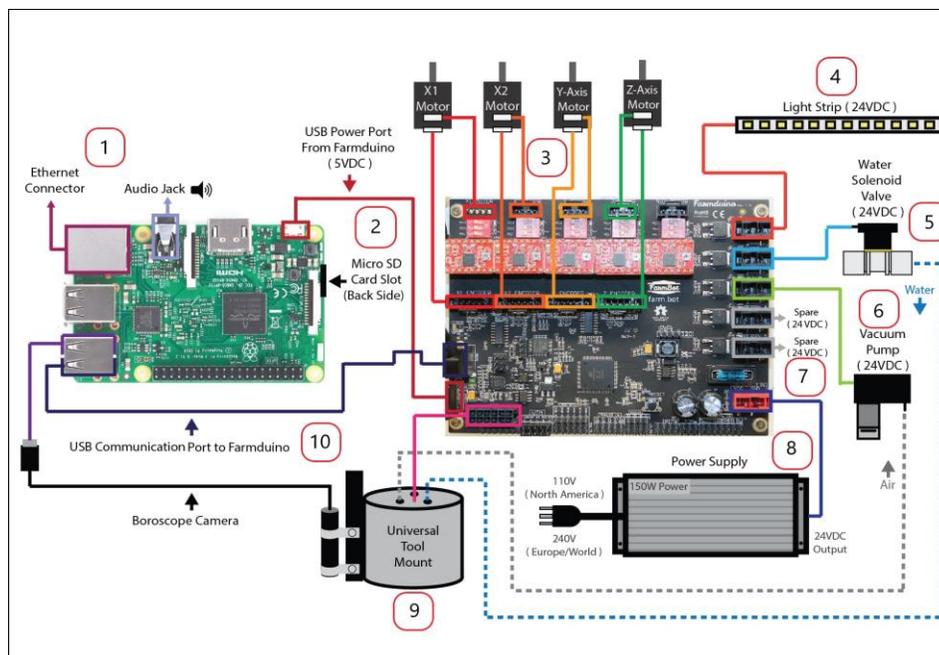
apartados son de suma importancia conocerlos para comprender cómo funciona el sistema de control.

### 2.7.1 Electrónica del sistema del huerto robotizado

Para el sistema electrónico de control, los dos principales elementos que intervienen son la placa personalizada *Farmduino* y la placa *Raspberri PI*. Con una adecuada comunicación entre estas dos y con los respectivos actuadores y sensores presentes en el huerto robotizado es que se puede garantizar el adecuado funcionamiento del mismo. Como se muestra en la *figura 13*, se puede observar enumerado los distintos procesos de comunicación o componentes que tienen las placas.

**Figura 13**

*Diagrama enumerado del apartado electrónico de control de Farmbot.*



*Nota.* Este tipo de conexiones la podemos realizar siguiendo los pasos que nos indica Farmbot. Tomada de (Aronson, 2021).

1. Conectores de internet y audio: Estos dos dispositivos sirven para que la raspberry pueda realizar las respectivas conexiones con las bases de datos, recibir los datos de la misma y a su vez enviar la información recopilada por los sensores del huerto robotizado. El puerto de salida de audio es precisamente para conectar cualquier parlante y recibir el retorno de audio de la aplicación de Farmbot.
2. Conexión de alimentación de 5V y ranura para una Micro SD: La alimentación que recibe la placa raspberry de 5 voltios provenientes de la placa farmduino es muy importante ya que con eso da alimentación a toda la placa raspberry y todos los componentes que ésta posee. La ranura para la MicroSD es para allí ingresar la tarjeta SD de almacenamiento que llevará consigo toda la información pertinente para el adecuado funcionamiento de los procesos de la placa Raspberry.
3. Conexión de los motores NEMA17 con la placa farmduino: Las conexiones que presentan los motores paso a paso de NEMA 17 utilizados por farmbot tienen dos conexiones como tal, la primera es la alimentación de los dos pares de bobinas que tienen los motores, la segunda conexión es del encoder rotacional que posee cada motor, esto con el objetivo de garantizar que el motor siempre de las vueltas adecuadas y con ello una mayor precisión del movimiento del brazo robótico.
4. Sistema de iluminación: De la placa de farmduino se despliegan varias salidas con un voltaje de 24 voltios, con ello garantiza el funcionamiento del sistema de iluminación que posee el huerto robotizado.
5. Conexión con la electroválvula: Para tener un control sobre la cantidad de agua que va a usarse en el proceso de regado de las plantas, es necesario

tener una electroválvula que pueda ser manipulada mediante el farmduino y con ello ganar una mayor automatización de todo el proceso de riego.

6. Conexión con la bomba de vacío: Para que el cabezal universal tenga la posibilidad de succionar las semillas que van a ser plantadas y posteriormente sembrarlas en la tierra, es requerida la existencia de una bomba de vacío que a su vez trabaje con 24 voltios, mediante las salidas programable que tiene la placa de farmduino es que se pueden controlar de manera adecuada la duración del proceso de succión de las semillas.
7. Puertos extra de conexión de 24 voltios: Como su nombre lo indica, estos dos puertos extra con salida de 24 voltios en corriente continua permiten al usuario conectar otros dos dispositivos que funcionen con la alimentación mencionada anteriormente, a su vez también pueden servir como repuesto en caso de que alguno de los bornes de alimentación anteriormente mencionados deje de funcionar.
8. Fuente de alimentación: Ésta fuente de alimentación tiene una entrada de 110V o 240V, según el tipo de conexión a usarse, su salida es de 24V en corriente continua y cómo máximo maneja una potencia de 150W, necesaria para alimentar todos los componentes tanto como de la placa raspberry o del farmduino.
9. Cabezal universal: Esta parte cumplirá con la gran mayoría de funciones que farmbot puede ofrecer, desde el regado de las plantas, la siembra de las semillas, el monitoreo visual mediante el boroscopio y entre otros. La conexión que esa maneja va en mayor medida a la placa de farmduino, exceptuando el boroscopio que va por USB a la raspberry Pi

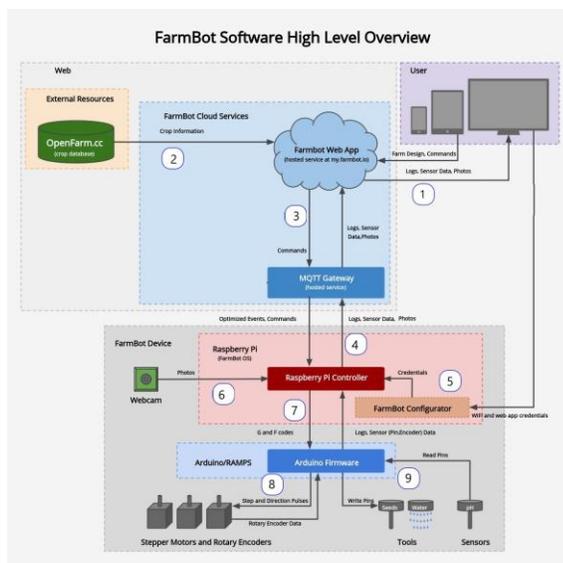
10. Comunicación USB entre ambas placas y con el boroscopio: Este medio de comunicación permite a su vez que se conecten las dos placas y se envíen datos mutuamente mediante el puerto USB, adicional a ello también permite la comunicación entre el boroscopio y la placa Raspberry Pi

### 2.7.2 Descripción del software del huerto robotizado

El manejo de datos y de información tanto por medio de las respectivas placas de control, como la base de datos, la aplicación web y demás, tienen una gran importancia en todo el sistema de control ya que son ellos los que determinarán el funcionamiento del huerto robotizado. Al igual que en el apartado de las placas electrónicas, en la *figura 14* se describe todo el software del huerto robotizado.

#### Figura 14

Diagrama enumerado del software High.



*Nota.* El software de Farmbot trabaja con una interfaz para poder conectarnos desde cualquier punto que pueda el usuario. Tomada de (Aronson, 2021).

1. Comunicación entre el usuario y la página web de farmbot: En este proceso el usuario envía sus datos desde su dispositivo inteligente, dichos datos incluyen las instrucciones que desea que el huerto robotizado realice, así como datos adicionales que pueden ser almacenados en la página web. A su vez, el usuario recibe información de la página web tales como los datos obtenidos del huerto, sus registros, fotos y demás información que el huerto pueda enviar.
2. Recepción de información de la base de datos de los cultivos: Esta comunicación se realiza entre la base de datos y la página web, en donde la base de datos de los cultivos envía la información pertinente respecto a los cultivos, y dicha información servirá para conocer las especificaciones que la planta tendrá a futuro, como su periodo de regado, su radio de siembra, entre otros.
3. Comunicación entre la página web y el servicio de entrada y salida MQTT: El servicio MQTT por sus siglas en inglés (Message Queuing Telemetry Transport), es un protocolo de red ligera de publicación-suscripción que transporta mensajes entre dispositivos. El protocolo generalmente se ejecuta sobre TCP / IP; sin embargo, cualquier protocolo de red que proporcione conexiones bidireccionales ordenadas y sin pérdidas puede admitir MQTT. Dicho proceso a su vez sirve como vínculo entre la página web y la raspberry que procesará toda la información recibida.
4. Comunicación entre la placa Raspberry pi y el servicio de entrada y salida MQTT: Como el servidor MQTT es un intermediario para realizar conexiones entre dispositivos, a su vez el protocolo, permitirá una adecuada conexión entre la placa raspberry y el servidor web.

5. Comunicación entre el usuario y el configurador de farmbot: En este proceso de comunicación, el usuario mediante sus dispositivos enviará todas las credenciales hacia el configurador de farmbot para posterior enviarlo a la página de raspberry y posterior la validación de los datos obtenidos, se procederán a realizar los procesos siguientes.
6. Comunicación entre la webcam y el Raspberry Pi: Esta comunicación permite que la webcam o el boroscopio envíe la información correspondiente de las fotos o videos recopilados por la misma, para que dicha información sea procesada y posteriormente enviadas a su respectivo destino.
7. Comunicación entre la placa Raspberry y el farmduino: Dicha comunicación se realiza por USB y tiene la funcionalidad de enviar por parte del raspberry todos los códigos G pertinentes para el funcionamiento de la máquina, así como recibir la información recopilada por los respectivos sensores acoplados a farmbot así como el boroscopio.
8. Comunicación de la placa farmduino con los motores NEMA 17: Esta conexión es de dos direcciones, ya que la placa farmduino envía la información respectiva para el movimiento de los motores, y los encoders del motor envían a su vez la información a la placa farmduino para corroborar que los movimientos fueron correctamente realizados.
9. Comunicación entre los sensores y la placa farmduino: Esta comunicación es de suma importancia ya que permite recopilar la información de cómo está funcionando el huerto robotizado, enviar sus datos recopilados a la página web y para que posteriormente se tomen las debidas acciones en cuanto al funcionamiento del huerto robotizado se refiere.

## **2.8 Licencias de uso**

Farmbot como tal está comprometido a mantener transparente toda su documentación, a su vez, al ser un proyecto de código abierto y uso libre, se puede hallar la documentación y especificaciones de los detalles del huerto robotizado. Para garantizar que quede claro el hecho de poder utilizar la documentación mencionada, se usaron cuatro tipos de licencias acorde al campo en que se la emplea y esas son:

### **2.8.1 Licencia de Hardware**

Los modelos CAD (Diseños Asistidos por Computador) de FarmBot están autorizados bajo la Dedicación de dominio público CC0. Dicha licencia establece textualmente lo siguiente: “La persona que asoció un trabajo con esta escritura ha dedicado el trabajo al dominio público al renunciar a todos sus derechos sobre el trabajo en todo el mundo bajo la ley de derechos de autor, incluidos todos los derechos relacionados y conexos, en la medida permitida por la ley. Puede copiar, modificar, distribuir y realizar el trabajo, incluso con fines comerciales, todo sin pedir permiso”.

En resumen, esto significa que puede usar los modelos CAD de FarmBot, los dibujos 2D y otros documentos de respaldo como desee, sin atribución ni necesidad de solicitar permiso. Esto incluye ver, copiar, modificar y redistribuir los archivos para cualquier propósito, incluso con fines comerciales. Estos archivos no tienen garantía, expresa o implícita.

### **2.8.2 Licencia de Software**

Todo el software FarmBot tiene la licencia MIT, que es tanto una licencia aprobada por la iniciativa de código abierto, como una licencia gratuita aprobada por la fundación de software gratuito.

En resumen, esto significa que el usuario es libre de usar, copiar, modificar, distribuir, sublicenciar y / o vender copias del software. El software viene sin garantía, expresa o implícita.

### **2.8.3 Licencia de Documentación**

La documentación de FarmBot está autorizada bajo la “Dedicación de dominio público CC0”. Esto cumple con la definición de abierto o libre, propuestos por la “Open Knowledge Foundation”.

En resumen, esto significa que se puede usar el contenido de la documentación (texto, imágenes, tablas, videos, etc.) como desee, sin atribución ni necesidad de solicitar permiso. Esto incluye ver, copiar, modificar y redistribuir el contenido para cualquier propósito, incluso con fines comerciales. Este contenido no tiene garantía, expresa o implícita.

### **2.8.4 Licencia de trabajo no funcional**

Los trabajos no funcionales de FarmBot tales como: materiales de marketing, activos de marca y mensajes de la empresa; tienen una licencia de Creative Commons Reconocimiento-No comercial 4.0. Esto incluye, entre otros, sus videos, fotos, publicaciones en redes sociales, publicaciones en blogs, boletines informativos, charlas grabadas, entrevistas, palabras escritas, logotipos, iconografía, paletas de colores, estética general y otros medios.

En definitiva, sus trabajos no funcionales pueden ser adaptados y compartidos con atribución, pero nunca con fines comerciales salvo en circunstancias especialmente negociadas.

## Capítulo III

### 3. Desarrollo del tema

#### 3.1 Determinación de parámetros previos

El capítulo se centra en el diseño de la programación del huerto robotizado, inicialmente se procede a la dimensión de parámetros y equipo. Se seleccionan todos los dispositivos necesarios para la máquina y también se realizará una evaluación del sistema de control, para la implementación de la máquina.

#### 3.2 Funcionalidades de la máquina

El huerto robotizado se basa en una máquina que puede ser doméstica como industrial. La cual se utilizará para la siembra de una variedad de plantas y a su vez el usuario tenga su propio huerto doméstico con una autonomía a través de un sistema de control, creada para que funcione introduciendo parámetros de control y realice tareas asignadas con la programación. Esta máquina tiene una pantalla que va a permitir visualizar tareas como siembra, comprobación de humedad y riego automático. Una vez asignada la tarea escogida por el usuario, los ejes cartesianos deben trabajar con una autonomía brindada por la programación del firmware y a su vez tener la garantía que se va a realizar en perfectas condiciones.

#### 3.3 Placas Arduino

Para poder movilizar los ejes cartesianos de la máquina, este movimiento se basa en los tres ejes X, Y, Z. Se deberá implementar un firmware adecuado para el desarrollo del movimiento, ya que el movimiento es parecido a una impresora 3D, por lo tanto, es necesario un arduino para cargar el código de programación y una ramps 1.4 así se facilita el movimiento de los tres ejes.

### 3.3.1 Arduino Mega 2560

El Arduino mega es la base de la RAMPS para el control del huerto robotizado. Este modelo lo podemos encontrar en original o genérico, en el arduino debemos cargar el firmware para el control de los ejes y a su vez se encarga de coordinar las entradas y salidas para el manejo de los dispositivos que vamos a utilizar.

**Tabla 5**

*Pines de entrada y características del Arduino Mega 2560.*

Arduino Mega 2560							
Voltaje de operación	Voltaje de entrada recomendado	Voltaje de entrada mínimo-maximo	Pines Digital	Pines Analógicos	Corriente por cada pin	Corriente para el pin de 3.3V	Peso
5 V	7 - 12 V	6-20 V	54/15 PWM	16	20 mA	50 mA	37 g

*Nota.* Se determinan los pines digitales y analógicos, con la respectiva intensidad.

#### 3.3.1.1 Shield Ramps 1.4

La Shield Ramps 1.4 es el dispositivo donde se van a conectar todos los componentes electrónicos y electromecánicos de nuestro huerto robotizado.

#### 3.3.1.2 El Arduino Due

Básicamente este Arduino se alimentará con un Convertidor Voltaje Buck DC-DC Ajustable Step Down LM2596, el modulo sirve para que la placa no pierda potencia a la hora de mostrar sus funciones, ya que se detectó que no cumplía con algunas funciones y perdía potencia. En la placa va ir el código de la pantalla LCD con el teclado matricial y el sistema de riego de agua para la lectura de la humedad. La placa tiene como finalidad trabajar conjuntamente con la ramp 1.4 que ira comunicada a través de los puertos seriales que nos indican en las borneras de cada pin.

### 3.4 Drivers para motores

El Driver que se utilizara para controlar los motores paso a paso es el A4988, este tipo de driver es el más común que se puede encontrar para lo que es el manejo y administración de corriente. Este dispositivo tiene un potenciómetro que es regulable, con lo cual nos va a permitir suministrar la corriente que nosotros queramos o a su vez con parámetros calculados para darle la fuerza necesaria a nuestro motor paso a paso.

**Tabla 6**

*Características del motor de los ejes Y, Z.*

<b>Motor Nema 17HS4401</b>					
Paso Ángulo	Voltaje Nominal	Voltaje de Suministro Lógico	Corriente	Sosteniendo Torque	Peso
1.8/200 pasos	12V - 24V DC	3.3V – 5V	1.7 A	40 N.cm/4.5 Kgf.cm	290 g

*Nota.* La corriente suministrada nos permite saber la fuerza que puede llegar a tener nuestro motor en los ejes.

**Tabla 7**

*Características del motor de los ejes X<sub>1</sub>, X<sub>2</sub>.*

<b>Motor Nema KS42STH40-1204<sup>a</sup></b>					
Paso Ángulo	Voltaje Nominal	Voltaje de Suministro Lógico	Corriente	Sosteniendo Torque	Peso
1.8/200 pasos	12V - 24V DC	3.3V – 5V	1.2 A	4 N.cm	290 g

*Nota.* La corriente suministrada nos permite saber la fuerza que puede llegar a tener nuestro motor en los ejes.

**Tabla 8**

*Características del Driver.*

<b>A4988 Driver</b>	
Voltaje de Operación	Intensidad
8 - 35 V	2 A

*Nota.* La corriente que tenemos es la Intensidad Máxima que trabaja estos drivers.

### **3.4.1 Voltaje de referencia del driver**

Para determinar el voltaje de referencia de los ejes Y, Z que se va a utilizar, se tendría que tomar en cuenta la corriente que va a ingresar en el motor paso a paso, conociendo la resistencia de sensado que nos brinda el driver A4988, en su placa nos indica una resistencia de  $0.1 \Omega$ . Aplicamos la fórmula que veremos a continuación:

$$V_{ref} = I_{max} * (8 * R_s)$$

$$V_{ref} = 1.7 A * (8 * 0.1 \Omega)$$

$$V_{ref} = 1.36 V$$

Donde:

$V_{ref}$  = Voltaje de referencia.

$I_{max}$  = Corriente Máxima

$R_s$  = Resistencia de sensado

El manejo de cada motor va a ser a pasos completos, es decir, sin usar Jumpers en la ramps, el voltaje de referencia será el 70% del obtenido anteriormente. Por lo tanto:

$$V_{ref} = 1.36 V * 0.7$$

$$V_{ref} = 0.952 V$$

Las características de los motores de los ejes X1 y X2 van a ser diferentes, ya que las fuerzas van a ser distribuidas por dos ejes de movimiento similar y unos de los drivers tiene una resistencia de  $0.2 \Omega$

Cálculo del Eje X1:

$$V_{ref} = I_{max} * (8 * R_s)$$

$$V_{ref} = 1.2 A * (8 * 0.1 \Omega)$$

$$V_{ref} = 0.96 V$$

Cálculo del Eje X2:

$$V_{ref} = I_{max} * (8 * R_s)$$

$$V_{ref} = 1.2 A * (8 * 0.2 \Omega)$$

$$V_{ref} = 1.92 V$$

Donde:

$V_{ref}$  = Voltaje de referencia.

$I_{max}$  = Corriente Máxima

$R_s$  = Resistencia de sensado

El manejo de cada motor va a ser a pasos completos, es decir, sin usar Jumpers en la ramps, el voltaje de referencia será el 70% del obtenido anteriormente. Por lo tanto:

Cálculo del Eje X1:

$$V_{ref} = 1.92 V * 0.7$$

$$V_{ref} = 0.672 V$$

Cálculo del Eje X2:

$$V_{ref} = 0.96 V * 0.7$$

$$V_{ref} = 1.344 V$$

### 3.5 Determinación de los parámetros de movimiento de los motores

Para mover los motores, es necesario mandar un código en forma de texto siguiendo una estructura definida, el código tiene la siguiente estructura `G00 X# Y# Z# A# B# C# Q0`. Donde los valores de *X*, *Y* y *Z* es la distancia en milímetros que recorrerán los ejes, y los parámetros *A*, *B* y *C* es la velocidad en pasos por segundo que se moverá el eje. Por lo tanto, es preciso determinar el valor de la distancia como la velocidad que irá acompañados a los mencionados parámetros.

Determinación de la distancia para los ejes.

Para corroborar que la distancia desplazada en milímetros sea la misma mandada por el Arduino de control se hizo lo siguiente:

Se envió un comando desplazando 1000 unidades en el Eje X, 500 en el eje Y y 100 en el eje Z.

Se tomó como referencia el home como la distancia de origen.

Se midió el desplazamiento de los ejes con referencia a la distancia del home.

Con esto se concluyó que efectivamente el parámetro que se ingresa en los comandos para mover los motores, es el desplazamiento en milímetros de los ejes, es decir, las unidades que acompañen a los parámetros de *X*, *Y* y *Z* son los milímetros desplazados por los mismos.

Determinación del retraso para el movimiento de los ejes.

El valor de retraso es un parámetro muy importante en el movimiento de motores, ya que primero se debe garantizar que el movimiento del motor haya concluido antes de poder enviar otro comando, por ende se debe analizar de manera adecuada el tema del *delay* para que la movilidad y funcionalidad del huerto robotizado sean los adecuados.

Para el valor del *delay* o retraso que tendrán las funciones se hizo un análisis similar al mencionado anteriormente; el proceso consiste en:

Enviar un comando desplazando 1000 unidades en el Eje X, 500 en el eje Y y 100 en el eje Z.

Iniciar el cronómetro tan pronto los motores empezaron a girar.

Detener el cronómetro a lo que los motores dejen de girar.

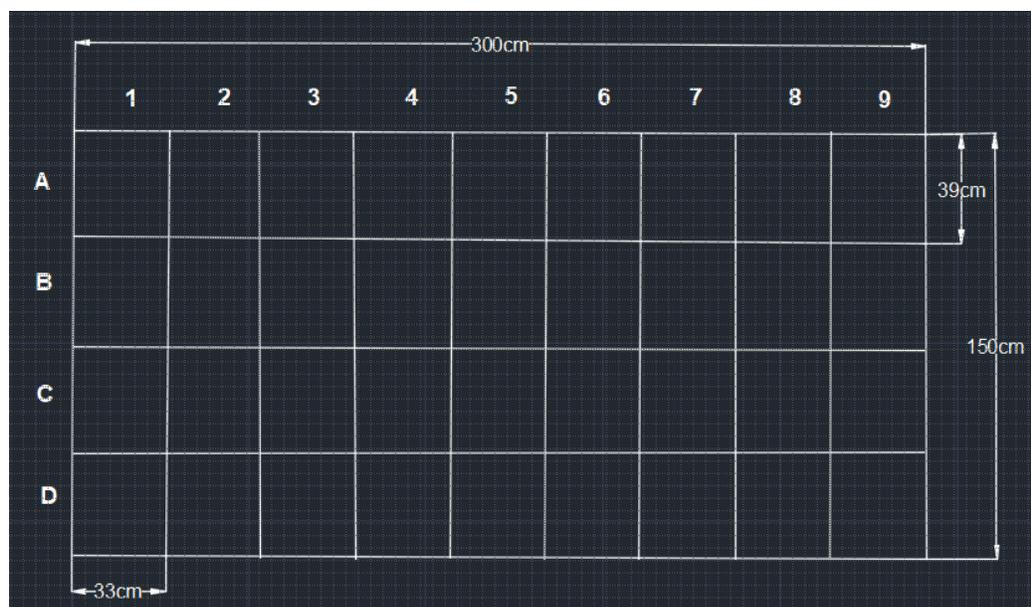
Con esto se concluyó que el valor del *delay* por cantidad de desplazamiento es el mismo para el eje X como el eje Y. Más por el contrario el valor del Eje Z tomó valores más elevados, considerando que el movimiento de dicho eje debe ser lento.

### **3.6 Sistema de Sembrado**

Este sistema consta de una distribución de la zona de plantado, la dimensión es básicamente rectangular 1.5 m de ancho x 3 m de largo. La ubicación donde los ejes van a depositar la semilla es un cuadrado, comienza desde el cuadrante A2 hasta el cuadrante D8, como indica en la *figura 15* podemos observar donde van a ir plantadas las semillas y como va ir distribuido el espacio a la hora que el usuario quiera plantar en su huerto robotizado. En la fila 9 se ocupará para dejar un espacio donde irán depósitos cualquier material que el usuario crea conveniente tener al alcance del Huerto Robotizado.

**Figura 15**

*Dimensionamiento del huerto robotizado.*



*Nota.* Medidas de cómo va ser la ubicación de cada cuadrante en el código de programación.

### **3.6.1 Electroválvula**

La electroválvula nos va a permitir el paso del agua a través de los parámetros escritos en el código, ya que su funcionamiento van ser activados a la hora que el usuario quiera regar sus plantas.

**Tabla 9**

*Características de la electroválvula.*

<b>Electro-válvula de Agua ½ Selenoide 12v ZE-4F180</b>				
Voltaje	Intensidad	Presion	Entrada y Salida	Temperatura de Fluido
12 V	6 mA - 1 A	8MPa/3-100 psi	1/2.	95°C

*Nota.* Nos indica el calibre de entrada y salida que tiene el tubo de media para el ingreso del agua.

### 3.6.2 Bomba al Vacío

La bomba al Vacío su función va ser activada a la hora que el usuario quiera plantar en los diferentes cuadrantes habilitados. Si el usuario escoge la opción A en el menú de programación, la bomba al vacío se activara y los ejes X, Y, Z irán con el cabezal en busca de la semilla, una vez llegado a la ubicación marcada la bomba al vacío succionara la semilla para ir al punto estimado por el usuario.

**Tabla 10**

*Características de la bomba al Vacío.*

<b>Bomba de vacío D20028B</b>				
Voltaje	Potencia	Intensidad	Peso	Vacío
12 V	12 W	1.5 A. aprox.	0.200 Kg	> 350 mmHg

*Nota.* Nos indica la presión que tendrá el aire a la hora de succionar la semilla.

### 3.7 Interfaz Humano Máquina (HMI)

Esta interfaz nos permitirá que la máquina tenga una mejor autonomía a la hora de no necesitar una aplicación o un sistema web. Consta por una pantalla LCD, donde a la hora de encendido nos proyectara un menú de diferentes acciones y la cual será manejada con un teclado matricial de 4X4 que tendremos que seleccionar para que esta interfaz permita la movilidad de la máquina.

#### 3.7.1 Pantalla LCD

La pantalla LCD que se implementará tendrá que ser la de 20x4 BI azul con un adaptador I2C, este adaptador nos va a permitir reducir los pines que van al Arduino MEGA. A la hora de la programación nos va tocar descargar la librería de `#include <LiquidCrystal_I2C.h>`, esta librería nos permite utilizar 4 pines, dos que van a ser para la alimentación de la pantalla 5 V - GND y los otros dos tienen que ir en el pin 20 - SDA

y pin 21 - SCL. Esta pantalla nos permite utilizar más caracteres y dependiendo del fabricante la velocidad en la pantalla.

**Tabla 11**

*Características del Display LCD Arduino I2C 20x4.*

<b>Display LCD Arduino I2C 20x4</b>		
Voltaje de Entrada	Corriente de Entrada	Potencia
5 V	125 mA	625 mW

*Nota.* Este dispositivo nos reduce los pines que van hacia el Arduino Mega 2560 con el módulo I2C.

### **3.7.2 Teclado matricial**

El teclado matricial permite activar las funciones que se creó en el trabajo del huerto robotizado, de igual manera este dispositivo va a cumplir con el desarrollo de todo el programa, ya que al pulsar cualquiera parámetro la máquina va a cumplir con éxito la función asignada para cada actividad.

**Tabla 12**

*Características del Teclado Matricial 4x4.*

<b>Teclado Matricial 4x4</b>			
Máximo Voltaje Operativo	Máxima Corriente Operativa	Resistencia de Aislamiento	Voltaje que Soporta el Dieléctrico
24 V DC	30 mA	100 M $\Omega$	250 V <sub>RMS</sub>

*Nota.* La librería de este teclado se encuentra en el mismo programa ubicado en las librerías por determinado.

### **3.7.3 Diseño del Menú**

Para el manejo del Huerto Robotizado se creó un menú para seleccionar las diversas funciones que va a realizar la máquina. Al iniciar la pantalla LCD, mediante la

función *menú\_intro()*, al usuario le aparecerá el siguiente mensaje:

“BIENVENIDO”;“INICIANDO”;“ HUERTO ROBOTIZADO”.

Seguido de ello se iniciará la función *activación\_manunal()*; esta función es tipo void y permitirá la activación del firmware de farmduino y por consiguiente la activación de la Shield Ramps 1.4. Al llamar a esa función, en la pantalla nos aparecerá el texto “ACTIVACION”;“EN”;“PROCESO”; y sucesivamente “ACTIVACION”;“EXITOSAMENTE”.

Pasada esta función, se habilitarán los finales de carrera con la función

*enable\_endstops()*. Una vez concluido eso se saldrá de la función Setup y se ingresará

a la función loop, dentro de ella se activara la función *opción\_menu\_()*; La función es de

tipo char, hace que entre al menú principal donde indicará en la pantalla “INGRESE”;

UNA”; OPCION”, gracias que la función es tipo char, ésta devuelve un caracter y

posteriormente se seleccionará las opciones A, B, C, D

“A: SEMBRAR “

“B: REGAR “

“C: REFERENCIACION “

“D: DESACTIVACIÓN Y ACTIVACIÓN“

Ingresando cualquiera de esas opciones, se va a desplegar diferentes menús.

Cabe recalcar que considerando la opción D del menú, esta activará o desactivará la máquina, por lo tanto, si la máquina se encuentra desactivada. Al momento de querer sembrar o regar, el sistema de control no le permitirá realizar dicha acción.

Opción A: Si no se tiene habilitada la opción de la auto referenciación, pues lo primero que aparecerá será todo el texto correspondiente para la referenciación de los ejes y posterior a ello se le solicitará que ingrese el cuadrante en donde desea sembrar; el cuadrante corresponderá a una coordenada, siendo está formada primero por una letra y seguido de un dígito, las letras van desde la A hasta la D y los dígitos van desde

el 1 hasta el 9. El cuadrante 9 está inhabilitado debido a que no se puede acceder a él gracias a que la placa donde va montado el eje X es algo larga y por ende choca con el final del riel.

Opción B: Considerando la auto referenciación activada o desactiva, la función le pide a su vez ingresar una coordenada para regar. El proceso de regado dependerá del valor del retraso en mili segundos que estará activa la electroválvula, esto se controla mediante la función *regar\_agua()*.

Opción C: Esta función le permite activar o desactivar la auto referenciación de los ejes al iniciar las funciones de sembrar o regar. A su vez esta función le permitirá referenciar los ejes manualmente, esto con la opción 3.

Opción D: Esta función permite tener activado o desactivado el huerto, es decir, si está desactivado, al ejecutar las funciones de regar o sembrar, estas no se van a ejecutar.

### **3.8 Finales de carrera**

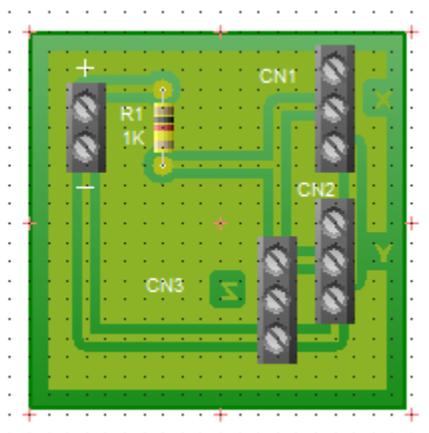
Los finales de carrera muestran que la máquina empieza en el mismo punto, esto es conocido como home lugar de inicio que realiza el trabajo. Estos finales de carrera se van a distribuir para darle conocimiento a los ejes X, Y, Z cuales van hacer los puntos de referencia que van a tener que trabajar, los finales de carrera van a estar colocados en los extremos de los ejes permitiendo que puedan topar con la estructura y así enviar la señal al firmware.

Para la instalación de los finales de carrera se creó una baquelita con un circuito impreso como se muestra en la *figura 16*, este circuito permite que los finales de carrera estén comunicados uno con otro con la finalidad que los ejes se ubiquen cada vez que se dirija a cualquier punto, llevan una resistencia de 220k para disminuir la corriente que

entre por el Arduino Due, la señal que entra desde los finales de carrera tomaran los pines 23-X, 27-Y, 31-Z.

### Figura 16

*Circuito de los Finales de Carrera.*



*Nota.* En este impreso se utilizara 4 borneras y una resistencia de 220K.

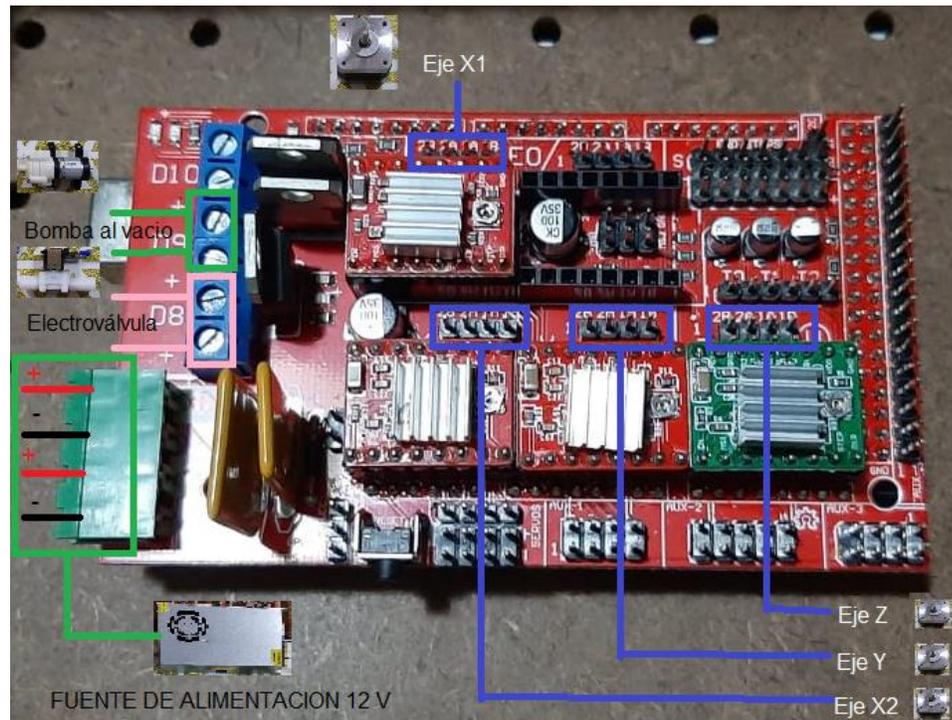
### 3.9 Diagramas de conexión

En el sistema de conexión se va a tomar en cuenta las conexiones que viene indicada en cada placa, ya que en los componentes vienen diseñados con su respectivo uso y si cometemos alguna mala conexión dañara la placa, sensor o motor que ira conectado en este dispositivo.

### 3.9.1 Diagrama Ramps 1.4

Figura 17

Conexión de la Ramp 1.4.

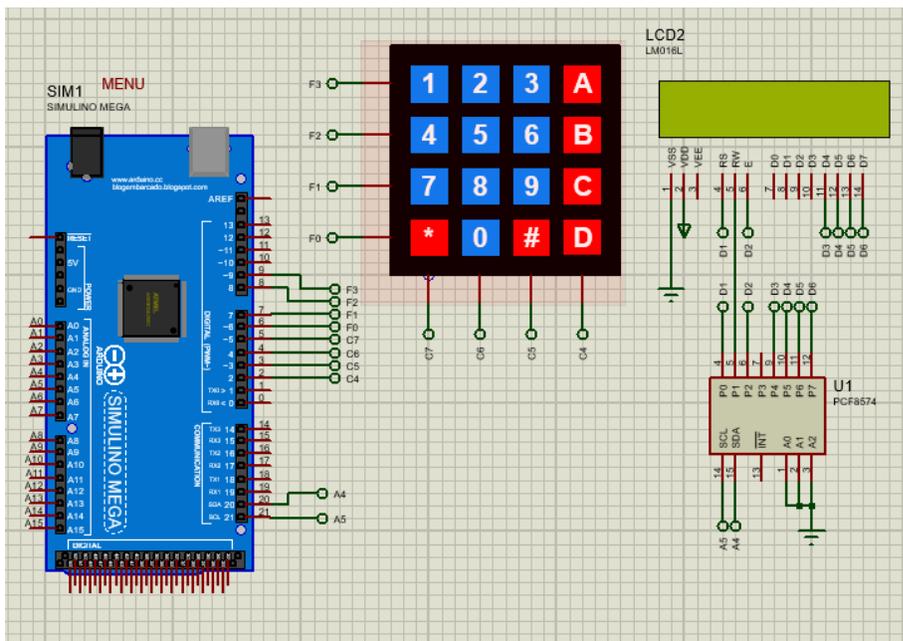


*Nota.* Regular el voltaje que tendrá los motores nema 17 antes de conectar la ramp 1.4.

### 3.9.2 Diagrama arduino HMI

Figura 18

Conexión LCD con la I2C al Arduino Due.

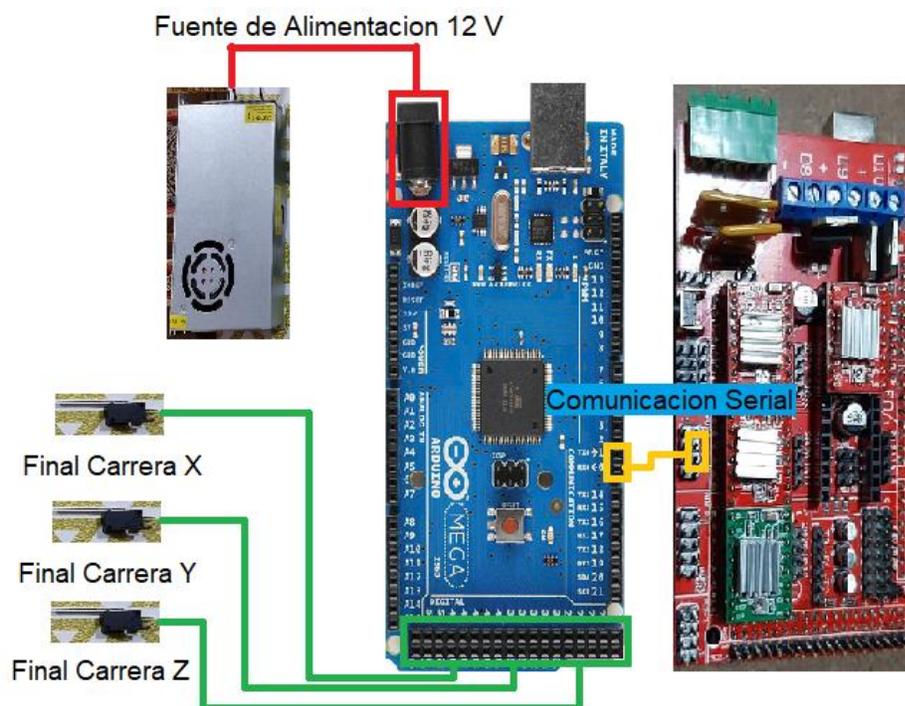


Nota. El teclado matricial 4x4 se conectara desde el pin 2 hasta el pin 9 del Arduino Due.

### 3.9.3 Conexión entre arduinos

Figura 19

Conexión serial entre dos Arduinos.



Nota. Los finales de Carrera irán conectados desde el pin 23, 27, 31.

### 3.10 Fuente de alimentación

Para la fuente de alimentación este dispositivo necesitará conocer la corriente total de cada componente eléctrico que se vaya a implementar. La suma total de las corrientes será la que tomará de referencia, para el funcionamiento óptimo de cada aparato electrónico.

Tabla 13

Dimensionamiento de Fuente.

Dispositivo	Cantidad	Intensidad
Arduino Mega 2560	1	20 mA
Arduino Due	1	147 mA

<b>Dispositivo</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Intensidad</b>
Motor Nema 17HS4401	2	1,7 A
Motor Nema KS42STH40-1204A	2	1.2 A
A4988 Driver	4	2 A
Electro-válvula de Agua	1	1 A
Bomba de vacío D20028B	1	1.5 A
Display LCD Arduino I2C 20x4	1	125 mA
Teclado Matricial 4x4	1	30 mA
Finales de carrera	3	45 $\mu$ A
<b>Total</b>		15 A

*Nota.* Equipos que vamos a utilizar.

### 3.11 Dimensionamiento de conductores

Una vez obtenida la intensidad de corriente total que se va a necesitar para la fuente utilizamos la fórmula de ley ohm para determinar la potencia que vamos a utilizar y así dimensionar el cable que vamos a utilizar.

$$P = V * I$$

$$P = 12 V * 30 A$$

$$P = 360 W$$

En la *figura 20* vemos los calibres que podemos encontrar en el mercado.

**Figura 20**

*Calibre de los conductores.*

AMPERAJE - CABLE DE COBRE			
Tipo de aislante	TW	RHW,THW, THWN	THHN,XHHW-2 THWN-2
Nivel de temperatura	60°C	75°C	90°C
Calibre de cable	Amperaje soportado		
14 AWG	15 A	15 A	15 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A
10 AWG	30 A	30 A	30 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A
6 AWG	55 A	65 A	75 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A
3 AWG	85 A	100 A	115 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A
1 AWG	110 A	130 A	145 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A

*Nota.* Vemos la variedad de cableado que podemos encontrar en el mercado. Tomado de (Harper, 2005).

Para el dimensionamiento de los motores se utiliza el cable que viene integrado en sus motores que son de tipo conductor Rye, estos tipos de cableados vienen especificados para aguantar el amperaje de estos motores.

Dentro de las ramp 1.4 el cable a utilizar son los denominados machos y hembras, ya que sus cabezales nos permiten conectar con los pines de esta pla

### **3.12 Lenguaje de programación a utilizar**

Debido a que el software que se va a utilizar para la programación de ambas placas controladoras es Arduino, por ende el lenguaje de programación respectivo será C++. Cabe recalcar que Arduino no maneja C++ de manera pura. Más por el contrario, el lenguaje de programación que maneja es una adaptación que permite que el funcionamiento de las placas a programar sea el adecuado.

### 3.12.1 Firmware para la Ramps 1.4

El firmware implementado en el Arduino receptor de los códigos para el movimiento de los motores y la activación de las salidas de potencia es el utilizado por Farmbot. Su firmware está bajo la licencia de uso libre *MIT License*, que es una licencia permisiva breve y a su vez simple con sus condiciones de uso. Calificando así el código que esté bajo esta licencia como software libre. Por lo mismo es que se implementó su firmware en el Arduino acoplado a la Ramps 1.4. Los códigos a recibir y a ejecutarse dentro de este firmware son los correspondientes a la *tabla 14*.

**Tabla 14**

*Códigos que recibe el firmware de farmduino.*

Tipo de código:	Número	Parámetros	Funcionalidad
G	00	X Y Z A B C	Mover a determinada ubicación, a la velocidad dada para el eje (no tiene que ser una línea recta), en coordenadas absolutas
G	28		Mover al origen a todos los ejes (orden de los ejes Z, Y, X)
F	09		Restablecer el paro de emergencia
F	22	P V	Escribe un valor "V" de un parámetro "P".
F	41	P V M	Establezca un valor "V" en un pin arduino en modo "M" (digital = 0 / analógico = 1)
E			Paro de Emergencia.

*Nota.* Los códigos nos determina la funcionalidad del firmware.

Esos son los códigos que están implementados para que el firmware reciba del otro arduino, existen más comandos programados dentro del firmware pero que no ha sido considerado su implementación dentro del sistema de control.

En cambio los parámetros que fueron mencionados en la *tabla 14* se muestran a continuación en la *tabla 15*.

**Tabla 15**

*Parámetros de los códigos que recibe el firmware de farmduino.*

<b>Parámetros</b>	<b>Descripción</b>	<b>Unidad de medida</b>
X	Movimiento en X	Milímetros
Y	Movimiento en X	Milímetros
Z	Movimiento en X	Milímetros
A	Velocidad en X	Pasos / segundo
B	Velocidad en X	Pasos / segundo
C	Velocidad en X	Pasos / segundo
Q	Queue number(número en cola o de cola)	#
P	Parametro/ número de pin	#
V	Valor de número	#
M	Modo (Establece el modo del pin)	0 = digital / 1 = analógico

*Nota.* Los códigos nos determina el movimiento del firmware.

Con las dos tablas anteriormente mencionadas concluye toda la información recibida por el respectivo firmware. De ahí las interacciones internas y como se procesa la información internamente es complejo de analizar, ya que la estructura de programación es de alto nivel.

### **3.12.2 Código para el arduino del HMI**

El arduino que cumple la función de HMI y a su vez de enviar la información respectiva al arduino de la Ramps 1.4 es el principal en el proceso de control. Sus funcionalidades son las siguientes:

- Recibir las teclas pulsadas por el usuario en el teclado matricial de 4 x4.
- Reflejar la información respectiva en la pantalla LCD de 20 x 4 caracteres.
- Recibir las señales de los finales de carrera para la adecuada referenciación de los ejes del huerto robotizado.
- Enviar por el puerto serial los datos respectivos al otro arduino para el respectivo movimiento de los motores y a control de las salidas de potencia.

El método utilizado para la selección de las opciones elegidas por el usuario consta en el ciclo loop para leer una de las 4 letras disponibles por el teclado matricial. Cada una correspondiente con una opción pre establecida.

Posteriormente la secuencia de sembrado o de regado se la realizará acorde a las coordenadas establecidas en el huerto. Siendo el área de sembrado de 4 filas (A, B, C y D) y las 8 columnas. Dando como resultado un total de 32 cuadrantes.

Las funciones implementadas en el código del arduino del HMI son las mostradas en la *tabla 16*

**Tabla 16**

*Funciones implementadas en el arduino del HMI.*

<b>Tipo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Definición</b>
void	Setup	Es la función que se ejecuta una sola vez al encender o reiniciar el arduino.
char	Loop	Contiene el código que se ejecutará de manera repetitiva, de ahí su nombre de "loop" que significa bucle.
char	opcion_a	Es todo el código que se ejecutará al seleccionar la opción A en el teclado matricial, es decir, abarca todo el proceso para el sembrado.
void	opción_letra_A	Obtiene la letra respectiva de la coordenada de sembrado.
char	opción_numero_A	Obtiene el dígito respectivo de la coordenada de sembrado.
char	opcion_b	Es todo el código que se ejecutará al seleccionar la opción B en el teclado matricial. Esto abarca todo el proceso de regado.
void	opción_letra_B	Obtiene la letra respectiva de la coordenada de regado.
void	opción_numero_B	Obtiene el dígito respectivo de la coordenada de regado.
void	opcion_c	Es todo el código que se ejecutará al seleccionar la opción C en el teclado matricial.
char	opcion_d	Es todo el código que se ejecutará al seleccionar la opción D en el teclado matricial.
void	menu_intro	Es todo el texto que sale al encender el arduino, esta función se ubica en el setup y por consiguiente se ejecuta una sola vez.
void	opcion_menu_0	Es la función que recibe las 4 letras posibles para las 4 opciones establecidas.

<b>Tipo</b>	<b>Nombre</b>	<b>Definición</b>
void	activar_D8	Activa la salida de potencia D8
void	desactivar_D8	Desactiva la salida de potencia D8
void	activar_D9	Activa la salida de potencia D9
void	desactivar_D9	Desactiva la salida de potencia D9
void	activar_D10	Activa la salida de potencia D10
void	desactivar_D10	Desactiva la salida de potencia D10
void	activacion_manual	Esta función envía el comando respectivo para activar el firmware de Farmduino y por consiguiente hacer funcionar los motores y las salidas de potencia de la Shield Ramps 1.4
void	paro_emergencia	Es la función que envía el comando que ejecuta el paro de emergencia.
void	reset_paro_emergencia	Es la función que envía el comando que reinicia el paro de emergencia; y por consiguiente activa nuevamente el uso de la Shield Ramps 1.4.
bool	movimiento_motor	Es aquella función que realiza el movimiento de los motores tanto en los ejes X, Y y Z del huerto robotizado.
void	check_endstop	Es la función que verifica que los finales de carrera hayan sido pulsados o no.
void	enable_endstops	Es aquella función que se ejecuta en el setup del Arduino y habilita los pines respectivos de los finales de carrera.
void	home_all_axis	Es una función que ubica los 3 ejes en el Cero máquina, esto mediante los finales de carrera y la función check_endstop.
void	regar_agua	Esta función se encarga de activar y desactivar la electroválvula, permitiendo así el paso del agua por un tiempo determinado.
void	recoger_semilla	Es la función que realiza el movimiento de los motores para que el brazo robótico pueda recoger la semilla.

*Nota.* Detalles de las funciones.

## Capítulo IV

### 4. Pruebas de Funcionamiento

#### 4.1 Calibración de los Drivers

##### Descripción:

**Prueba 1:** Una vez determinado el voltaje de referencia con los cálculos diseñados en el capítulo 3, tomamos un voltímetro identificando en la rapm 1.4 uno de los pines negativos para conectar con el voltímetro y con la ayuda del destornillador plano pequeño conectamos al positivo de dicho aparato como muestra la figura 19.

**Valoración:** Se reguló los 4 driver A4988 con las especificaciones indicadas.

**Prueba 2:** Con los 4 drivers calibrados a los voltajes de referencia de cada motor correspondiente, en las placas de programación se cargó un código para observar el movimiento de los ejes de los motores para determinar a qué dirección deseamos que se muevan los motores.

**Valoración:** En las pruebas de movimiento de los motores nema 17 se observó que:

- Los motores trabajaron a 100 pasos por distancia recorrida, al principio el movimiento de los motores no fue la más óptima posible, ya que no estaba tensada bien la cuerda que permite que la polea mueva los ejes X, Y, Z. Esto nos permitió darnos cuenta que dependiendo los pasos programados en el código los ejes se moverán de distinta manera.
- La Ayuda de los cálculos de voltaje de referencia pudimos ver que los motores trabajaban en óptimas condiciones sin recalentar los drivers, ni la placa. La fuente que se conectó al sistema de control, nos resistió y dejó que la movilidad de los ejes sea el adecuado sin ver caídas de tensión o fugas de corriente.

**Figura 21**

*Calibración de Drivers.*



*Nota.* Regulando con los cálculos predeterminados.

**Figura 22**

*Movimiento de los ejes X, Y, Z.*



*Nota.* Observando las fallas que puedan tener los ejes.

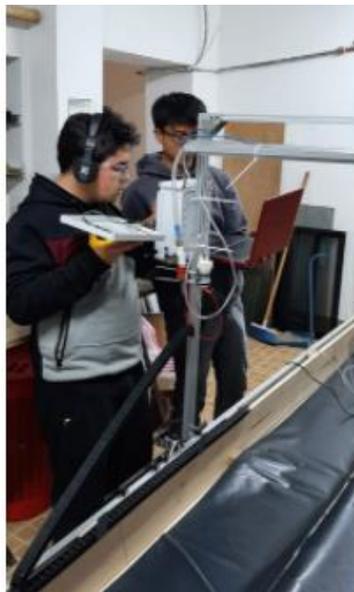
**4.1.1 Pruebas de la interfaz Humano – Maquina**

En la interfaz donde metemos los parámetros, primero debemos cargar el código en el arduino Due, cargado con éxito en la LCD nos debe salir el menú principal como se puede apreciar en las *figura 21 y 22*. A la hora que se inicie la pantalla nos debe imprimir el mensaje de bienvenida y que el código se cargó exitosamente. Cuando

estemos en el menú principal nos va a permitir teclear los caracteres A, B, C, D así nos mandara a cada función que la maquina nos va a permitir como se puede visualizar en la *figura 23*.

### **Figura 23**

*Cargando el Código.*



*Nota. Menú de Prueba.*

### **Figura 24**

*Inicio de pantalla.*



*Nota. Primera imagen de verificación.*

**Figura 25**

*Activación del Menú principal.*



*Nota.* Introducción de caracteres.

**4.1.2 Las pruebas de movimiento de Ejes X, Y, Z**

Dentro de la prueba de movimiento donde introducimos los caracteres correspondientes para identificar que cuadrante vamos a plantar y su debido riego como se puede observar en la *Figura 24* vemos que los parámetros cumplen con su función, ya que introducimos cualquier cuadrante, los brazos van al lugar exacto hace su proceso y vuelve al punto de origen programado en el código.

**Figura 26**

*Verificación de movimiento.*



*Nota.* Los Ejes X, Y, Z se dirigen a los puntos exactos y cumplen con su función.

En cuanto al proceso de sembrado y riego los motores de bomba al vacío o la electroválvula se activan con normalidad, hacen su función marcado en el código de programación, no interactúan entre ellos y trabajan independientemente de la secuencia que elijamos hacer.

## 4.2 Las ventajas de la implementación

- La implementación del huerto robotizado tiene como ventaja el ser un sistema de control offline, es decir, no requiere una conexión a internet o similares para su funcionamiento. Siendo lo único que requiere el código en el arduino del HMI y el código del arduino de la Ramps.
- El hecho de dividir por cuadrantes al área de sembrado del huerto robotizado brinda la facilidad de implementar distintas macetas en los respectivos cuadrantes, esto facilitando el intercambio de las macetas por otras nuevas. Y así brindar mayor facilidad para el sembrado de la persona a utilizar el huerto robotizado.
- El costo, comparado con el modelo de Farmbot es inferior, siendo que el huerto robotizado implementado por nosotros posee las funcionalidades principales en el proceso de sembrado.
- La construcción de toda la estructura está diseñada para ser desmontable, por lo tanto, con las instrucciones adecuadas y siguiendo los procesos adecuados. La máquina puede ser desmontada de manera sencilla y por ende transportada a cualquier lugar.

## 4.3 Las desventajas de la implementación

- Este sistema al ser offline no posee una base de datos en donde se pueda obtener información sobre otro tipo de plantas y procesos de siembra; por consiguiente, los procesos de riego y siembra dependerán netamente del usuario del huerto.
- Al no poseer un sistema operativo como el implementado en Farmbot, tanto el sistema de siembra como de riego no son los óptimos y a su vez, al carecer de una cámara web que esté monitorizando en tiempo real las plantas y al carecer también de una inteligencia artificial. El proceso de siembra en general no es el más eficiente.
- Ciertas funcionalidades como el control de humedad, monitorización en tiempo real por la cámara acoplada al brazo robótico, la existencia de los enconders en

los motores paso a paso hacen que el huerto robotizado no sea líder en innovación.

#### 4.4 Los presupuestos

**Tabla 17**

*Presupuesto parte Eléctrica.*

<b>Elementos Eléctricos</b>			
Cant.	Descripción	P. Unitario	P. Total
1	Arduino Mega 2560	18	18
1	Arduino Due	24	18
2	Motor Nema 17HS4401	20	40
2	Motor Nema KS42STH40-1204A	18	36
4	A4988 Driver	4	16
1	Electro-válvula de Agua	7	7
1	Bomba de vacío D20028B	8	8
1	Display LCD Arduino I2C 20x4	12	12
1	Teclado Matricial 4x4	6	6
1	Pulsador	1	1
1	Interruptor	2	2
24	Cable hembra y macho	6	6
P. Total			\$ 170

*Nota.* Materiales y equipos parte eléctrica.

**Tabla 18**

*Materiales parte mecánica.*

<b>Material Mecánico</b>			
Cant.	Descripción	P. Unitario	P. Total
1	Caja IP 55	20.0	20.0
10 m	Tubo corrugado	0.50	5
1	Estaño	2	2
1	Tabla de madera	4	4
2	Borneras	3	6
1	Cautín	5	5
P. Total			\$ 42

*Nota.* Material para protección de cableado eléctrico.

El presupuesto total entre material mecánico, eléctrico y quipos eléctricos es de: **\$ 212** (doscientos doce dólares americanos).

## Capítulo V

### 5. Conclusiones y Recomendaciones

#### 5.1 Conclusiones

- Para este tipo de dispositivos, se investigó la movilidad que tiene una impresora 3D, ya que los componentes que tienen estas máquinas nos permiten mover los ejes X, Y, Z, los cálculos que se pudieron realizar fueron a los drivers que con una formula obtuvimos los voltajes de referencia para cada motor y poder mover los ejes.
- Las funcionalidades básicas del huerto robotizado, tales como: el proceso de siembra, el proceso de riego, la referenciación de la máquina y la adecuada interacción con el usuario fueron adecuadamente implementadas. El firmware utilizado para el movimiento de los motores es de Farmbot bajo la *MIT License* garantizando así que éste sea un software de código abierto.
- Previo a la implementación humano – maquina, se diseñó un menú con unos parámetros que fueron controlados por una pantalla LCD y un teclado matricial con la finalidad de trabajar con funciones creadas para que cada parámetro nos realice un trabajo distinto y así el usuario tenga la disponibilidad de su huerto robotizado.
- Ejecutando las funciones respectivas en el arduino implementado para el control del huerto robotizado, se observó que tanto el proceso de siembra, como de regado y el proceso de referenciación de la máquina fueron exitosamente ejecutados. Garantizando por lo tanto, el adecuado funcionamiento del huerto robotizado.

## 5.2 Recomendaciones

- Corroborar el valor las resistencias que vienen integradas en los drivers A4988, ya que cada componente viene con diferentes parámetros, así depende del voltaje de funcionamiento respectivo de cada driver.
- Optimizar el código implementado en el arduino de control para garantizar una menor cantidad de líneas de código implementados en el proceso de programación, preservando el adecuado funcionamiento del mismo.
- Adquirir el módulo I2C para que la pantalla LCD no ocupe muchos pines de conexión y nos limite a la hora de poder usar estos pines para la implementación del huerto robotizado.
- Realizar diversas validaciones del huerto robotizado en condiciones especiales. Para garantizar así que el funcionamiento del proyecto técnico sea el adecuado inclusive en situaciones que no se podrían llegar a considerar principalmente.

## Bibliografía

- Aguilar, R. (2019). *DISEÑO DE ROBOT SEMBRADOR CARTESIANO PARA MINI CULTIVO*. Quito. Recuperado el 25 de Abril de 2021, de <http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20590>
- Al-Mutlaq, S. (19 de 06 de 2021). *sparkfun soil moisture sensor*. Recuperado el 29 de Abril de 2021, de [https://learn.sparkfun.com/tutorials/soil-moisture-sensor-hookup-guide?\\_ga=2.120782920.1927992445.1629319199-1564351499.1629319199](https://learn.sparkfun.com/tutorials/soil-moisture-sensor-hookup-guide?_ga=2.120782920.1927992445.1629319199-1564351499.1629319199)
- Aronson, R. (11 de 06 de 2021). *Farmbot*. Recuperado el 02 de Mayo de 2021, de <https://cad.onshape.com/documents/6626b842adca229e69544ad1/w/89ac2637f82d915f22c2bcd0/e/3a231755273e980d277c3a4c>
- Dubins, D. (2019). *Electronics and Microprocessing* (2 ed.). Newcastle. Recuperado el 05 de Mayo de 2021, de [https://books.google.com.ec/books?id=Y1i\\_DwAAQBAJ&pg=PA200&dq=Motor+Nema+17&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjtlqasbzyAhWuSzABHWi7CvUQ6AEwAHoECAsQAQ#v=onepage&q=Motor%20Nema%2017&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Y1i_DwAAQBAJ&pg=PA200&dq=Motor+Nema+17&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjtlqasbzyAhWuSzABHWi7CvUQ6AEwAHoECAsQAQ#v=onepage&q=Motor%20Nema%2017&f=false)
- Harper, G. (2005). *El ABC de las instalaciones electricas residenciales*. Ciudad de Maexico: Lumisa S.A. Recuperado el 20 de Mayo de 2021, de <https://books.google.com.ec/books?id=8oAs1nXgZq8C&pg=PA168&dq=tabla+de+calibre+electrico&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj6qqfA49nyAhUPSTABHZGOCVgQ6AF6BAgJEAI#v=onepage&q=tabla%20de%20calibre%20electrico&f=false>
- Llamas, L. (16 de 06 de 2021). *Arduino*. Recuperado el 28 de Mayo de 2021, de <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>

Pardinas, J. (2018). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Madrid: Editex. Recuperado el 06 de Junio de 2021, de

[https://books.google.com.ec/books?id=CP\\_EAwAAQBAJ&pg=PA469&dq=electrovalvula+12+voltios&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjUzL39tLzyAhXCtTEKHcqmBMcQ6AEwAHoECACQAg#v=onepage&q=electrovalvula%2012%20voltios&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=CP_EAwAAQBAJ&pg=PA469&dq=electrovalvula+12+voltios&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjUzL39tLzyAhXCtTEKHcqmBMcQ6AEwAHoECACQAg#v=onepage&q=electrovalvula%2012%20voltios&f=false)

Peris, A. (2020). *Mecanica* (SEGUNDA EDICION ed.). Madrid: Reverte, S.A.

Recuperado el 10 de Junio de 2021, de

<https://books.google.com.ec/books?id=5cn7DwAAQBAJ&pg=PA105&dq=Bomba+de+vac%C3%ADo+12+voltios&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwik2qHOt7zyAhU6S zABHSx6B64Q6AEwAHoECAsQAQAg#v=onepage&q=Bomba%20de%20vac%C3%ADo%2012%20voltios&f=false>

Prado, S. (2018). *SISTEMA ROBÓTICO MULTIFUNCIONAL PARA APLICACIONES AGRÍCOLAS DOMÉSTICAS*. Orrego. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://1library.co/document/z3172xey-sistema-robotico-multifuncional-para-aplicaciones-agricolas-domesticas.html>

019). *DISEÑO DE ROBOT SEMBRADOR CARTESIANO PARA MINI CULTIVO*. Quito.

Recuperado el 25 de Abril de 2021, de

<http://repositorio.ute.edu.ec/handle/123456789/20590>

Al-Mutlaq, S. (19 de 06 de 2021). *sparkfun soil moisture sensor*. Recuperado el 29 de

Abril de 2021, de [https://learn.sparkfun.com/tutorials/soil-moisture-sensor-](https://learn.sparkfun.com/tutorials/soil-moisture-sensor-hookup-guide?_ga=2.120782920.1927992445.1629319199-1564351499.1629319199)

[hookup-guide?\\_ga=2.120782920.1927992445.1629319199-](https://learn.sparkfun.com/tutorials/soil-moisture-sensor-hookup-guide?_ga=2.120782920.1927992445.1629319199-1564351499.1629319199)

[1564351499.1629319199](https://learn.sparkfun.com/tutorials/soil-moisture-sensor-hookup-guide?_ga=2.120782920.1927992445.1629319199-1564351499.1629319199)

- Aronson, R. (11 de 06 de 2021). *Farmbot*. Recuperado el 02 de Mayo de 2021, de <https://cad.onshape.com/documents/6626b842adca229e69544ad1/w/89ac2637f82d915f22c2bcd0/e/3a231755273e980d277c3a4c>
- Dubins, D. (2019). *Electronics and Microprocessing* (2 ed.). Newcastle. Recuperado el 05 de Mayo de 2021, de [https://books.google.com.ec/books?id=Y1i\\_DwAAQBAJ&pg=PA200&dq=Motor+Nema+17&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjtpqasbzyAhWuSzABHWi7CvUQ6AEwAHoECAsQAg#v=onepage&q=Motor%20Nema%2017&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=Y1i_DwAAQBAJ&pg=PA200&dq=Motor+Nema+17&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjtpqasbzyAhWuSzABHWi7CvUQ6AEwAHoECAsQAg#v=onepage&q=Motor%20Nema%2017&f=false)
- Harper, G. (2005). *El ABC de las instalaciones electricas residenciales*. Ciudad de Maexico: Lumisa S.A. Recuperado el 20 de Mayo de 2021, de <https://books.google.com.ec/books?id=8oAs1nXgZq8C&pg=PA168&dq=tabla+de+calibre+electrico&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwj6qqfA49nyAhUPSTABHZGOCVgQ6AF6BAgJEAl#v=onepage&q=tabla%20de%20calibre%20electrico&f=false>
- Llamas, L. (16 de 06 de 2021). *Arduino*. Recuperado el 28 de Mayo de 2021, de <https://www.luisllamas.es/motores-paso-paso-arduino-driver-a4988-drv8825/>
- Pardinas, J. (2018). *Sistemas Auxiliares del Motor*. Madrid: Editex. Recuperado el 06 de Junio de 2021, de [https://books.google.com.ec/books?id=CP\\_EAwAAQBAJ&pg=PA469&dq=electrovalvula+12+voltios&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjUzL39tLzyAhXCtTEKHcqmBMcQ6AEwAHoECACQAg#v=onepage&q=electrovalvula%2012%20voltios&f=false](https://books.google.com.ec/books?id=CP_EAwAAQBAJ&pg=PA469&dq=electrovalvula+12+voltios&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwjUzL39tLzyAhXCtTEKHcqmBMcQ6AEwAHoECACQAg#v=onepage&q=electrovalvula%2012%20voltios&f=false)
- Peris, A. (2020). *Mecanica* (SEGUNDA EDICION ed.). Madrid: Reverte, S.A. Recuperado el 10 de Junio de 2021, de <https://books.google.com.ec/books?id=5cn7DwAAQBAJ&pg=PA105&dq=Bomba+de+vac%C3%ADo+12+voltios&hl=es&sa=X&ved=2ahUKEwik2qHOt7zyAhU6S>

zABHSx6B64Q6AEwAHoECAsQAq#v=onepage&q=Bomba%20de%20vac%C3  
%ADo%2012%20voltios&f=false

Prado, S. (2018). *SISTEMA ROBÓTICO MULTIFUNCIONAL PARA APLICACIONES AGRÍCOLAS DOMÉSTICAS*. Orrego. Recuperado el 20 de Junio de 2021, de <https://1library.co/document/z3172xey-sistema-robotico-multifuncional-para-aplicaciones-agricolas-domesticas.html>

# Anexos