

PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ

FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE RIEGO AUTOMATIZADO PARA
UVAS USANDO EL SUMMIT XL**

Tesis para obtener el título profesional de Ingeniera Mecatrónica

AUTOR

Emily Marie Rojas Asto

ASESOR:

Francisco Fabián Cuellar Córdova

Lima, julio, 2022

RESUMEN

La agricultura consume una gran cantidad de agua para el riego de los cultivos ya que no se realiza de manera óptima. Las plantas no siempre son regadas con la cantidad de agua que necesitan produciendo pérdidas de cultivo que se traduce en pérdidas económicas para el agricultor. Esto se debe principalmente a que el riego no está focalizado ni controlado por lo cual, también existe un desperdicio de agua y dado que en nuestro país existe escasez hídrica, la optimización del riego es primordial.

La problemática expuesta incentiva al desarrollo del presente trabajo que forma parte del proyecto Yupibots, financiado por StartUp Perú. El proyecto consiste en el diseño de una máquina autónoma agrícola para el proceso de riego y uso de pesticida. En la presente tesis, solo se diseñará el sistema que permitirá realizar el riego. Para fines de prueba, este sistema se acoplará a un vehículo móvil existente, el SUMMIT XL y el producto agrícola escogido será la uva. El sistema en conjunto será capaz de regar las uvas solo cuando sea necesario y en dos etapas diferentes de su crecimiento. Para que así, sea posible optimizar el uso del agua en esos cultivos. Además, el sistema acoplado al móvil permitirá generar autonomía, es decir, en conjunto podrá desplazarse por los terrenos agrícolas sin tener que ser teleoperado por un usuario. El sistema elaborado será capaz de reducir la cantidad de agua usada para los cultivos. Cumpliendo con el objetivo de optimizar el proceso de riego.

ÍNDICE DE CONTENIDO

	Pág.
RESUMEN.....	1
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	3
ÍNDICE DE TABLAS	7
ÍNDICE DE FIGURAS.....	9
GLOSARIO DE TÉRMINOS.....	12
INTRODUCCIÓN	1
MARCO DE REFERENCIA	3
1.1 Marco Histórico	3
1.2 Marco teórico	7
1.2.1 Tipos de riego.....	7
1.2.2 Características del suelo en cultivos de uvas	8
1.2.3 Índice de estado hídrico	9
1.2.3.1 Estrés hídrico.....	9
1.2.3.2 Indicadores en el estrés hídrico	10
1.2.3.3 Efecto del estrés hídrico en las uvas	11
1.2.4 Conceptos y algoritmos para detección de líneas de cultivo.....	11
1.2.4.1 Segmentación de imágenes orientada a la obtención de verdes.....	12
a) Segmentación basada en índices espectrales	12
b) Segmentación basada en umbralización específica	13
c) Segmentación basada en aprendizaje	13
1.2.4.2 Detección de líneas de cultivo.....	13
a) Método basado en regiones.....	14
b) Método basado en la transformada de Hough	14

c) Método basado en análisis de frecuencia	14
1.2.5 Autonomía usando ROS.....	15
1.2.5.1 Conceptos básicos de ROS	15
1.2.5.2 Gazebo y Rviz	17
1.2.5.3 Navegación con ROS	17
a) Mapeo y localización simultánea.....	17
b) Planificador global.....	19
c) Planificador local	20
1.3 Marco metodológico	21
1.4 Objetivos	22
DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO	23
2.1 Requerimientos	23
2.2 Estructura de funciones	24
2.3 Diseño Mecánico.....	27
2.3.1 Sistema de elevación	28
2.3.1.1 Carcasa de elevación.....	29
2.3.1.2 Soporte y mecanismo de elevación	29
a) Selección del motor DC	29
b) Selección de cable de elevación.....	33
c) Cálculos para tambor	34
2.3.1.3 Carcasa de la cámara.....	35
a) Cálculo de espesor	36
2.3.2 Sistema para el riego	40
2.3.2.1 Cálculos para selección de bomba	41
2.3.2.2 Cálculo de sección de manguera	43
2.3.2.3 Soporte para tanque y manguera	45
2.3.2.4 Electroválvula	45

2.4 Sistema Electrónico.....	46
2.4.1 Módulo de sensores.....	47
2.4.1.1 Cámara Infrarroja	47
2.4.1.2 Cámara de visión.....	49
2.4.1.3 Láser.....	49
2.4.1.4 Sensor de final de carrera.....	50
2.4.1.5 Driver motor DC	51
2.4.2 Plataforma computacional.....	52
2.4.3 Comunicación inalámbrica.....	54
2.4.4 Cálculos electrónicos	54
2.4.5 Alimentación del sistema	56
2.4.6 Diagrama esquemático	57
2.4.5.1 Tarjeta controladora	59
2.4.5.2 Bornera e interruptores de batería.....	59
2.4.5.3 Borneras de alimentación.....	60
2.4.5.4 Borneras para motor.....	60
2.4.5.5 Driver para motor.....	61
2.4.5.6 Control de altura.....	61
2.4.5.7 Sensor de voltaje	62
2.4.5.8 Buzzer	62
2.4.5.8 Regulador de 6V y borneras para bomba.....	63
2.4.5.9 Borneras y control para electroválvula	63
2.5 Sistema de control.....	64
2.5.1 Arquitectura de control	64
2.5.2 Implementación con ROS	66
2.5.3 Autonomía.....	67
2.5.4 Control ascenso y descenso de la cámara	71

2.5.5 Riego	72
2.6 Experiencia de Usuario	73
2.6.1 Inicio	73
2.6.2 Funcionalidades disponibles	73
2.6.2.1 Perfil	74
2.6.2.2 Yupibots	74
2.6.2.3 Consejos	75
2.6.2.4 Soporte	76
2.6.3 Diagrama de interacción	76
2.6.4 Aplicación integración	78
SIMULACIONES	79
3.1 Entorno de trabajo	79
3.2 Mapeo del robot en el entorno de trabajo.....	80
3.3 Seguimiento de las líneas de cultivo	80
PLANOS Y COSTOS	82
4.1 Relación de planos	82
4.2 Costo de material y fabricación de elementos mecánicos.....	83
4.3 Costo de componentes electrónicos y de control	84
4.4 Costo total del robot.....	84
CONCLUSIONES	86
RECOMENDACIONES	87
BIBLIOGRAFÍA	88

ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. 1: Resumen de máquinas agrícolas de riego	4
Tabla 1. 2: Resumen de robots para riego.	5
Tabla 1. 3: Resumen de los tipos de riego.	7
Tabla 1. 4: Efecto de las características del suelo en la producción de uva.	8
Tabla 1. 5: Indicadores de estrés hídrico.	10
Tabla 2. 1: Características principales del motor seleccionado.	32
Tabla 2. 2: Valores de coeficientes Kc según clasificación.	33
Tabla 2. 3: Propiedades del alumide.	36
Tabla 2. 4: Características principales de pulverizadora de riego.	43
Tabla 2. 5: Características de opciones de electroválvula.	46
Tabla 2. 6: Características de opciones de cámara infrarroja.	48
Tabla 2. 7: Características de opciones de cámaras de visión.	49
Tabla 2. 8: Características de opciones de LIDAR.	50
Tabla 2. 9: Características de opciones de sensor de final de carrera.	51
Tabla 2. 10: Características de opciones de controladores para motor DC.	52
Tabla 2. 11: Opciones de microcontroladores.	53
Tabla 2. 12: Características principales del controlador del SUMMIT XL.	54
Tabla 2. 13: Características principales del router.	54
Tabla 2. 14. Consumo de corriente de los componentes electrónicos.	55
Tabla 2. 15: Características de la batería seleccionada.	57
Tabla 2. 16: Comparativo Python vs. C++.	65

Tabla 4. 1: Relación de planos.	82
Tabla 4. 2: Costos de elementos mecánicos.	83
Tabla 4. 3: Costo de componentes electrónicos y de control.	84
Tabla 4. 4: Costo total.	84

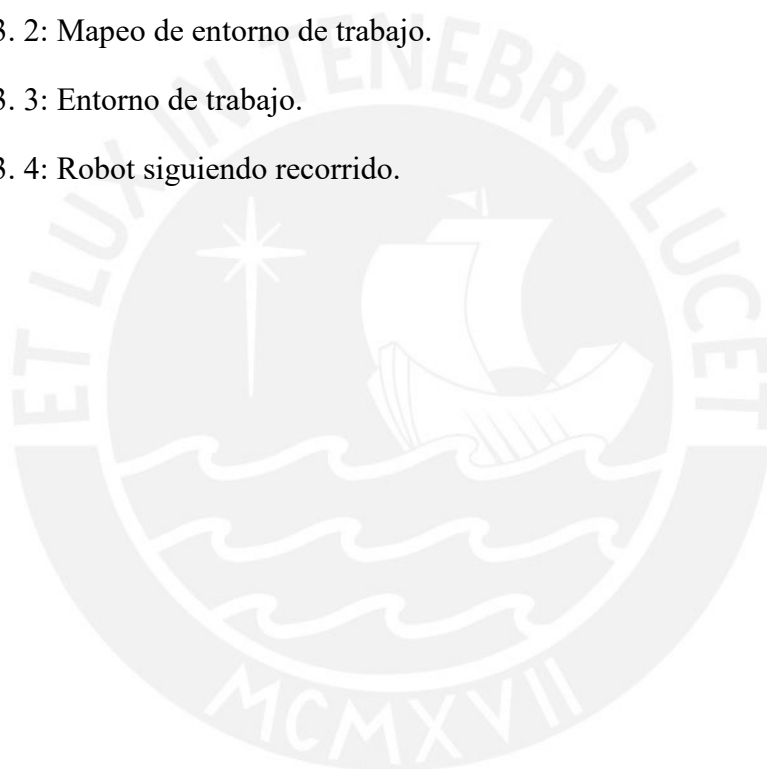


ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. 1: Función de segmentación según Ribeiro.	12
Figura 1. 2: Ejemplo de nodo.	15
Figura 1. 3: Funcionamiento de tópicos.	15
Figura 1. 4: Servicios en ROS.	16
Figura 1. 5: Master.	16
Figura 1. 6: Paquetes para navegación ROS.	17
Figura 1. 7: Mapa obtenido con gmapping del campo de Freiburg.	18
Figura 1. 8: Representación de filtro de partículas.	19
Figura 1. 9: Robot usando el planificador global.	20
Figura 2. 1: Caja negra del sistema.	25
Figura 2. 2: Estructura de funciones.	25
Figura 2. 3: Diseño mecánico del sistema.	27
Figura 2. 4: Sistema para elevación.	28
Figura 2. 5: Carcasa del sistema de elevación y unión a soporte de mecanismo.	29
Figura 2. 6: Propiedades físicas del soporte para la cámara.	30
Figura 2. 7: Características del cable seleccionado.	34
Figura 2. 8: Relación diámetro para polea seleccionada.	34
Figura 2. 9: Carcasa de la cámara	36
Figura 2. 10: Geometría y dimensiones de las orejas.	36
Figura 2. 11: Diagrama de cuerpo libre de las orejas.	37
Figura 2. 12: Ganchos de soporte de acero para cargas livianas.	37
Figura 2.13: Factor de concentración de esfuerzos.	39

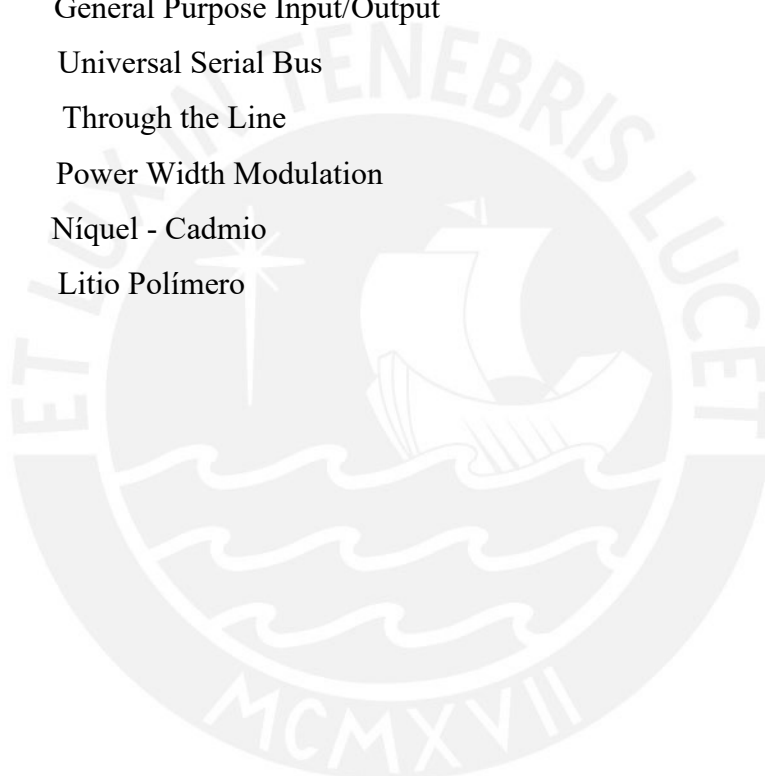
Figura 2. 14: Sistema para riego.	40
Figura 2. 15: Vista isométrica.	41
Figura 2. 16: Tablas comerciales de mangueras para riego.	44
Figura 2. 17: Soporte para tanque y manguera.	45
Figura 2. 18: Esquema de conexiones entre los componentes del sistema.	47
Figura 2. 19: Esquemático de la tarjeta para el desplazamiento de la cámara.	58
Figura 2. 20: Conexiones de Arduino Mega.	59
Figura 2. 21: Borneras e interruptores batería.	60
Figura 2. 22: Borneras de alimentación.	60
Figura 2. 23: Borneras para motor.	61
Figura 2. 24: Conexiones del controlador para motores.	61
Figura 2. 25: Esquemático para control de altura	62
Figura 2. 26: Esquemático del sensor de voltaje.	62
Figura 2. 27: Esquemático de buzzer.	63
Figura 2. 28: Bornera para bomba y (b) Regulador a 6V.	63
Figura 2. 29: (a) Borneras para electroválvula y (b) Control de electroválvula.	64
Figura 2. 30: Esquema de diagrama de control.	65
Figura 2. 31: Flujo general de control.	66
Figura 2.32: Paquetes más usados en navegación autónoma.	67
Figura 2. 33: Diagrama de flujo para la detección de las líneas de cultivo.	68
Figura 2. 34: Resultado de detección de líneas de cultivo.	69
Figura 2. 35: Prueba con RPLIDAR	70
Figura 2. 36: Diagrama de flujo para navegación autónoma.	70
Figura 2. 37: Diagrama de flujo para control de ascenso y descenso de la cámara.	71
Figura 2. 38: Diagrama de flujo para el riego.	63
Figura 2.39: Prototipo de aplicación móvil.	73
Figura 2.40: Prototipo de aplicación móvil, sección Principal.	74

Figura 2.41: Prototipo de aplicación móvil, sección Mi Perfil.	74
Figura 2. 42: Prototipo de aplicación móvil, sección Yupibots.	75
Figura 2. 43: Prototipo de aplicación móvil, sección Consejos.	75
Figura 2. 44: Prototipo de aplicación móvil, sección Soporte.	76
Figura 2. 45: Diagrama de secuencia.	77
Figura 2.46: Comunicación ROS – Android.	78
Figura 3. 1: Entorno de trabajo.	79
Figura 3. 2: Mapeo de entorno de trabajo.	80
Figura 3. 3: Entorno de trabajo.	81
Figura 3. 4: Robot siguiendo recorrido.	81



GLOSARIO DE TÉRMINOS

ROS	Robotic Operative System
RGB	Red Green Blue
AMCL	Adaptive Monte Carlo Localization
SLAM	Simultaneous and Localization Mapping
LED	Light Emitting Diode
LIDAR	Light Detection and Ranging
GPIO	General Purpose Input/Output
USB	Universal Serial Bus
TTL	Through the Line
PWM	Power Width Modulation
Ni- Cd	Níquel - Cadmio
LiPo	Litio Polímero



INTRODUCCIÓN

El escaso abastecimiento del agua y la creciente demanda de este recurso en los distintos sectores ha hecho que la Naciones Unidas lo catalogue como un tema de crisis mundial. La agricultura es el sector que usa el 70% del consumo mundial de agua dulce, por lo que si se desea reducir el desabastecimiento de agua se debe mejorar la eficiencia de este recurso primordial para la vida en este sector [1]. Por ello, a nivel internacional se ha presentado un mayor interés en el desarrollo de tecnologías para lograr una agricultura sostenible en el tiempo. Esta se basa en busca satisfacer las necesidades básicas de alimentación humana contribuyendo también a mejorar la calidad ambiental haciendo uso adecuado principalmente del agua y de los pesticidas que a su vez tiene un impacto positivo económicamente para los agricultores.

En Perú, la situación es similar ya que la agricultura consume el 80% de agua que se distribuye en el país y de ese porcentaje el 30% del recurso se desperdicia de acuerdo con el ex jefe de la Autoridad Nacional del Agua [2]. Esto se debe básicamente a que gran parte de los agricultores usan una infraestructura rústica sin el uso de tecnologías que permitan un uso eficiente de este recurso tan vital y necesario. Por ello, distintos organismos tanto nacionales como internacionales han empezado a tomar acciones, entre ellos la ANA y el Programa de las Naciones unidas para el Medio Ambiente (PNUMA) con la finalidad de optimizar los sistemas de riego y promover la gestión integrada del uso del agua [3]. Además, el uso ineficiente de este recurso también causa un efecto adverso en los alimentos especialmente en los cultivos de mango, arroz y uva que necesitan una cantidad de agua específica [4].

La uva es una de las frutas más exportadas en el Perú, pero requiere un adecuado riego hídrico ya que de lo contrario su calidad cae drásticamente si no se respeta los niveles de agua en la vid se presenta un déficit de la composición final de la uva [5]. Por ello, es importante contar con un sistema de riego de acuerdo con las necesidades hídricas de la uva, sin embargo, en el país los riegos más empleados son los tradicionales los cuales consumen mayor cantidad de agua causando problemas de anegamiento y salinización [6]. Esto se debe al bajo nivel tecnológico de desarrollo del riego y la falta

de un adecuado diseño de un equipo que de acuerdo con las condiciones del cultivo pueda regular los parámetros para un riego efectivo y se obtengan productos de calidad [7].

En resumen, un uso inadecuado de agua sumado a la dependencia de la situación climatológica para sus riegos puede generar que la producción agrícola cese y el negocio del agricultor pueda terminar arruinado si los períodos son muy largos [8]. También, el exceso de agua por riegos prolongados o no controlados genera salinidad en las tierras y un deterioro de la producción de alimentos [9]. Por lo cual, el uso de sistemas de riego de precisión que permita la utilización más eficiente de los recursos de agua según las necesidades de las plantas es fundamental para el futuro de la agricultura. En estas últimas décadas, se han desarrollado robots y drones para ayudar a los agricultores en la toma de muestras que permitan conocer los requerimientos hídricos de los cultivos ayudando así a mejorar en gran medida el control de agua, no obstante, aún existe escasa tecnología desarrollada que acopla la obtención de la información del estado de la planta con el riego autónomo.

En base a la necesidad planteada y la situación actual, el presente trabajo tiene como finalidad diseñar un sistema de riego automatizado para el control óptimo del agua en los cultivos de uva. Este será integrado en la plataforma móvil SUMMIT XL. El cual utilizará una arquitectura de control abierta y modular basada en ROS, sistema operativo robótico, que permite una mejor abstracción de hardware y control de dispositivos. Estas características ayudarán en el desplazamiento del sistema en el campo. Por otro lado, el diseño electrónico del sistema está compuesto de sensores que determinarán el estado del fruto. La data obtenida por los sensores servirá para controlar los actuadores y así se dosificará la cantidad óptima de agua. El software del módulo debe comunicarse con el controlador del SUMMIT XL para que se detenga en el proceso de determinar las condiciones del fruto y luego continúe con su recorrido y realice un óptimo riego.

CAPÍTULO 1

MARCO DE REFERENCIA

El presente capítulo consta de temas importantes para el desarrollo óptimo de la tesis. En primer lugar, se presenta el marco histórico de las tecnologías de riego tanto máquinas como robots. En segundo lugar, el marco teórico en el cual se detalla información acerca de los tipos de riego, características de los cultivos de uva, conceptos sobre el estado hídrico, estrés hídrico y estado del arte de los algoritmos para navegación autónoma. Finalmente, se describe el marco metodológico usado para la realización del trabajo.

1.1 Marco Histórico

En la actualidad, existe una gran variedad de maquinarias agrícolas que simplifican la ardua labor de la agricultura. Dentro de estas, se encuentran las que facilitan el proceso de riego tecnificado, estas se clasifican de acuerdo con el uso y el tipo de riego. Los tipos de riego pueden ser por aspersión, microaspersión, goteo, entre otras; estos conceptos serán explicados en el marco teórico. Respecto a los tipos de riego según el uso existen para invernaderos, jardines y terrenos agrícolas. Adicionalmente, algunos sistemas de riego pueden ser controlados y otros no, pero todas permiten mejorar la eficiencia de riego reduciendo la cantidad de agua a usar comparado al riego no tecnificado. A continuación, en la Tabla 1.1 presentan cuatro distintos tipos de maquinarias para el riego.

Tabla 1.1: Resumen de máquinas agrícolas de riego. Fuente: Elaboración propia.

Maquinaria terrestre	Riego Combi	HA Boom	990 gx	Pivote central
Empresa desarrolladora	Agrinet	Agrinet	RM E	Chamsa
Dimensiones (Largo x Ancho)	13 x 100 m	32 x 120 m	7.2 x 2.55 m	Varía según área
Altura	Ajustable	850 – 1400 mm	4320 mm	4000 mm
Control	Control manual fuera del área de riego.	Panel de control fijo con operación manual.	Taquímetro electrónico.	Ordenador o teléfono móvil.
Capacidad	5000 litros	35 litros	140 litros	No se especifica
Aspecto				

Riego Combi es una máquina de riego por aspersión que tiene una eficiencia en patrón de riego del 98% lo cual ayuda a usar más eficientemente el agua. El control de las máquinas es de tipo manual y cuenta con un tinaco con gran capacidad de almacenamiento de agua 5000 litros, sin embargo, al ser de tipo estático solo serviría en zonas para invernaderos o espacios de cultivos de dimensiones menores a la especificada. [10]. Otra máquina de riego conocida es la HA Boom, la cual se diferencia de la anterior porque no solo cuenta con un tanque para agua sino también para el fertilizante. Además, posee dos velocidades de operación de 3.5 y 7 m/min. y cuenta con un panel de control fijo con operación manual y control de la bomba, consume 120 L/min de agua [11]. A diferencia de las anteriores, la 990 gx es móvil por lo cual podría cubrir áreas grandes y tiene una turbina hidráulica con flujo cerrado que garantiza un funcionamiento continuo incluso cuando el agua contiene impurezas considerables. [12]. Por último, el pivote central es un mecanismo que no requiere mano de obra. Se puede controlar desde un ordenador o teléfono móvil, lo cual le agregue un valor adicional ya que puede ser tele operado por el agricultor. Además, cuenta con reguladores de presión de 0 a 3.5 kg/cm² ajustables manualmente, según la necesidad del cultivo [13].

En resumen, las maquinarias presentadas con anterioridad han reducido los tiempos de riego y permiten una mejor eficiencia del agua, sin embargo, aún no es un sistema

suficiente para lograr una agricultura sostenible debido a que el riego es controlado por el usuario y no de acuerdo con las necesidades hídricas de los cultivos, sin embargo, además de estas maquinarias existen otras tecnologías como robots agrícolas que usan sensores para obtener data y realizar un procesamiento de estas para detectar cuando los cultivos requieren agua. De esta forma, existe un mayor ahorro de agua ya que el riego se realiza de acuerdo con el estado del cultivo. En la Tabla 1. 2, se muestran algunos de los robots más comerciales usados para el riego.

Tabla 1. 2: Resumen de robots para riego. Fuente: Elaboración propia.

Robots para el riego	Farmbot	Lettuce Bot	Ebee Ag
Empresa desarrolladora	Farmbot	Blue River Technology	senseFly
Open source	Si	No	No
Tipo de cultivo	Variado	Lechuga	Variado
¿Operado?	No	Si	Si
Acciones que realiza	Siembra, regado y cuidado de las plantas.	Arado, siembra, regado y cuidado de las plantas.	Envía datos al tractor para aplicar agua o pesticida.
Aplicación móvil	Si	No	No
¿Fijo?	Si	No	No
Sensores para riego preciso	Cámara, sensor de suelo.	Cámaras de alta resolución.	Cámaras espectrales.
Aspecto			

Farmbot es una máquina de agricultura open source, usada generalmente en invernaderos. Puede realizar varias funciones como sembrar una gran variedad de semillas y encargarse de regarlas cuando sea necesario ya que cuenta con un sensor de suelo que le permite saber las necesidades hídricas de las plantas. [14]. Lettuce Bot, es un robot que automatiza la tarea de producción específicamente de las lechugas. Su funcionamiento es bastante completo ya que va desde el arado de la tierra, sembrado de las lechugas hasta el regado y uso de pesticidas en caso el vegetal lo necesite. Tiene unas cámaras de alta resolución que en base a la coloración y forma de la lechuga determina si necesita riego o pesticida [15]. Ebee Ag, es un drone que realiza un vuelo

planificado por el usuario. En su vuelo determina el índice de estado hídrico que le permite conocer las condiciones del cultivo. Con esta información genera un mapa completo de la situación en la que se encuentra el cultivo y envía esta data a un tractor para que realice el regado o el pesticida según sea el caso en el área requerida [16].

En resumen, estos robots automatizan el proceso de riego, pero con ciertas limitantes. El primero es fijo, es decir, que solo podrá trabajar un área determinada y es más orientado a trabajar en invernaderos. El segundo, es móvil y puede abarcar grandes áreas, pero está orientado solo para la producción de lechugas lo cual lo limita a poder realizar el mismo proceso para otros vegetales o frutas. Por último, el tercero necesita complementarse con otro robot para que pueda realizar la tarea, lo cual aumenta el costo de la tecnología.

Las Tablas 1.1 y 1.2 muestran la situación actual de productos comerciales que optimizan el riego. También, existen otros proyectos no comerciales, así como proyectos y patentes que se están realizando con el mismo objetivo lograr una agricultura sostenible. Entre uno de los proyectos con mejor expectativas está RHEA, desarrollado por la comunidad europea, el cual consiste en un móvil autónomo que por medio de cámaras espectrales determina el estado del cultivo en base a la data obtenida para que el riego y uso de pesticidas se haga cuando sea necesario de acuerdo con los requerimientos de la planta. [17]

Por otro lado, existen patentes relacionadas a la optimización del agua en el riego. El sistema de riego autónomo [18] y el sistema de riego por microprocesador con sensores de humedad en múltiples zonas [19]. El primero consiste en atender a bajo costo la irrigación operando automáticamente en ciclos de fertirrigación usando una mínima energía de accionamiento y reducido caudal de agua. Esto lo logra usando un conjunto de actuadores de riego, un conjunto electrónico de bajo consumo y una red distribuidora de baja restricción. El segundo, divide las zonas de cultivo y cada una de estas tiene una válvula de agua solenoide en serie con dispositivos dispensadores de agua y sensores de humedad que miden periódicamente los cultivos y mandan esta información al microprocesador para realizar el riego.

1.2 Marco teórico

El marco histórico posibilita conocer las tecnologías de riego existentes. A diferencia, el marco teórico permite conocer los conceptos claves para la mejora de esta tecnología o desarrollo de una nueva. En este caso, para el diseño del sistema de riego autónomo para las uvas es importante los conocimientos sobre los tipos de riego, las características de los cultivos de la uva, el estado hídrico y como afecta al crecimiento de las uvas en sus distintas etapas y, por último, los algoritmos que permiten la autonomía del robot. Esto ayudará a definir qué tipo de riego es el más conveniente para el presente trabajo, las etapas de la uva donde es más crítica la falta de agua, los sensores que permiten detectar el estado hídrico de la uva y los algoritmos a usar para el desplazamiento autónomo del SUMMIT XL por el terreno de cultivo.

1.2.1 Tipos de riego

En la agricultura existen principalmente cuatro tipos de riego por inundación, por aspersión, por microaspersión y por goteo. Es importante conocer las características de los tipos de riego para seleccionar el óptimo para la implementación del sistema. A continuación, se muestra la Tabla 1. 3 con la información detallada de estos tipos de riego.

Tabla 1. 3: Resumen de los tipos de riego. Fuente: Elaboración propia.

Tipos de riego	Uso	Tipos de terreno	Facilidad de control	Consumo de agua	Eficiencia
Riego por inundación	Recomendado para el uso de producción de arroz.	Planos o semiplanos.	Se puede controlar a través de compuertas.	Método que consume mayor cantidad de agua.	40 - 65%
Riego por aspersión	Adecuado para cultivos altos y frondosos	Planos o semiplanos.	Se puede controlar por la relación de caudal/tiempo de los aspersores.	Consume regular agua.	80 – 85 %
Riego por micro aspersión	Cultivos de espaciamiento amplio.	Todo tipo de terreno.	Se puede controlar por la relación de caudal/tiempo de los micro-aspersores.	Consume regular agua.	85 -90%

Continuación Tabla 1. 3: Resumen de los tipos de riego. Fuente: Elaboración propia.

Tipos de riego	Uso	Tipos de terreno	Facilidad de control	Consumo de agua	Eficiencia
Riego por goteo	Cultivos de espaciamiento amplio.	Todo tipo de terreno.	Se puede controlar por la relación de caudal/tiempo de los goteros.	Consume muy poca agua.	90 - 95%

El primer tipo de riego es el menos eficiente, pero tiene como ventaja su bajo costo ya que para su implementación solo se hace uso de compuertas. El segundo tipo de riego es más eficiente que el anterior pero aún consume regular cantidad de agua. El agua llega a los cultivos como grandes flujos en forma de lluvia. Los dos últimos son muy semejantes en su implementación, pero difieren en que se controlan de manera distinta uno con micro aspersores y el otro con goteros. En el caso de micro- aspersión, el riego es similar al de aspersión, pero con menos alcance y gotas de agua menores. Requiere una larga inversión inicial. Por último, el riego por goteo se caracteriza por una aplicación de agua lenta y localizada en la planta. Por lo que permite ahorrar mayor cantidad de agua. [20]

1.2.2 Características del suelo en cultivos de uvas

Las características del terreno en el cultivo de uvas dan información sobre el entorno en el cual trabajará el sistema de riego automatizado. Esta información es importante ya que el adecuado desplazamiento del vehículo móvil depende de la inclinación, la textura y pedregosidad del terreno.

Tabla 1. 4: Efecto de las características del suelo en la producción de uva. Fuente: Elaboración propia

Textura				
Muy fina	Fina	Moderada fina a gruesa	Gruesa	Muy gruesa
Limitación moderada.	Limitación leve.	Sin limitación.	Sin limitación.	Limitación leve.
Pedregosidad				
<15% piedras	15-25 % piedras	25-35% piedras	35 – 60% piedras	>60% piedras

Continuación Tabla 1. 4: Efecto de las características del suelo en la producción de uva.

Fuente: Elaboración propia.

Sin limitación.	Sin limitación.	Sin limitación.	Limitación leve.	Limitación moderada.
Pendiente				
0 – 2 % inclinación	2 – 6 % inclinación	7 – 10 % inclinación	11 – 20 % inclinación	21 – 30 % inclinación
Sin limitación.	Sin limitación.	Sin limitación.	Limitación moderada.	Excluido para producción.

De la Tabla 1. 4, se observa como la producción es apta o no dependiendo de las características del terreno. El terreno donde se puede obtener una buena producción de uva presenta una textura de moderada fina a gruesa, con pedregosidad de hasta 35% de todo el terreno y con una pendiente de hasta 10%. Estas características del terreno se tendrán en cuenta para la implementación del sistema de riego. [21] En terrenos con textura muy gruesa y pedregosidad mayor a 35% con pendiente mayor a 10% puede cultivarse las uvas con mayor trabajo y previa aplicación de técnicas para que crezcan las uvas. Por lo que, no se tomará en cuenta este tipo de terreno debido a que las condiciones no son óptimas para el cultivo de uvas.

1.2.3 Índice de estado hídrico

El índice de estado hídrico del cultivo (CWSI) es un valor adimensional. Se determina mediante la tasa de transpiración actual del cultivo a través de la medición de la temperatura y el déficit de presión de vapor en la planta. En base a estas medidas hechas por sensores, se tiene conocimiento sobre las necesidades de riego de las plantas. Este índice oscila entre 0 y 1. El cero indica que la planta tiene una adecuada condición de agua mientras el uno indica déficit, es decir, que presenta estrés hídrico y necesita riego. [22]

1.2.3.1 Estrés hídrico

Situación en la cual existe un aumento en la temperatura de la planta y una disminución de su transpiración, en consecuencia, la planta requiere de agua [23]. Como se explicó anteriormente, el índice de estado hídrico varía en el intervalo de 0 a 1. Se considera

que el cultivo se encuentra en estrés hídrico cuando el valor se encuentra entre 0.4 a 0.6, déficit moderado para el rango de 0.6 a 0.8 y un déficit alto de agua de 0.8 a 1 [24].

1.2.3.2 Indicadores en el estrés hídrico

La medición del estado hídrico es esencial para optimizar el uso de agua, el desarrollo y la producción final del cultivo. Permiten conocer el estado de la planta y la necesidad de riego. Existen dos tipos de indicadores para obtener esta información, los directos e indirectos. Dentro de los indicadores directos, se encuentran los de potencial hídrico, conductancia estomática al vapor de agua, flujo de savia y fluorescencia de la clorofila. En los indicadores indirectos están los sensores termográficos y los de dendrometría. En la Tabla 1.5, se muestra los indicadores de estrés hídrico más usados en la agricultura de precisión como a su vez su aplicación comercial, sensibilidad y el costo de estos dispositivos.

Tabla 1. 5: Indicadores de estrés hídrico. Fuente: INNOVAGRI [25]

	Sensibilidad	Costo (\$)	Aplicación comercial
Indicadores directos			
Potencial hídrico foliar/ tallo	$\pm 0,01$ MPa	400-450	Psicrómetro versátil, para muestras de suelo, hojas y semillas.
Conductancia estomática al vapor de agua (gs)	10%	3000-4300	Mediciones de estrés hídrico.
Flujo de savia	Árboles con un diámetro menor a 15 cm.	500-700	Identificación del estado de la planta.
Fluorescencia de la clorofila	Límite de detección <0.01 ug/L	3900-4500	Estudio in-situ de clorofila y clases de agua.
Indicadores indirectos			
Termografía / Infrarroja	± 2 %, ± 2 °C	400-1300	Mide la temperatura hídrica de las plantas sin necesidad de contacto.
Diámetro del tronco (dendrometría)	100kPa - 200kPa	300-400	Evaluación del estado hídrico de la planta, relación entre el crecimiento y las condiciones climáticas.

1.2.3.3 Efecto del estrés hídrico en las uvas

La influencia del estrés hídrico en las uvas varía dependiendo de la etapa de crecimiento en la que se encuentre [26]. En la etapa de brotación a floración, no es común la presencia de estrés hídrico, pero en caso de presentarse existirá una brotación desigual en las uvas. En la etapa de floración a cuajado, el déficit hídrico reduce la cosecha potencialmente y el número de racimos. Del cuajado¹ a envero², si existe déficit hídrico se reduce considerablemente la cosecha y el área foliar de la uva. En la etapa de envero a vendimia³, si se produce riegos tardíos tiene como consecuencia retrasos en la maduración. Finalmente, en la etapa de vendimia a caída de hojas no es normal que se presente estrés hídrico, pero si se presentará, provocará la reducción del crecimiento radicular.

En conclusión, las etapas críticas donde se debe evitar el estrés hídrico, en otras palabras, la falta de agua en las uvas, van desde la floración al envero ya que el efecto es una gran pérdida en la cosecha. En estas etapas las uvas tienen una altura de 0.5 m a 1m. [27]

1.2.4 Conceptos y algoritmos para detección de líneas de cultivo

Los conceptos presentados posteriormente son teoría para los algoritmos que servirán en la autonomía del robot. Primero, se explicará los diferentes tipos de técnicas existentes para segmentar imágenes de color verde. Así, se podría detectar las zonas verdes del cultivo y consecutivamente detectar las líneas de cultivo. La detección de estas líneas permitirá al robot tener una guía por donde dirigirse de manera autónoma. Sin embargo, esto no es suficiente para garantizar la autonomía, se requiere el uso de otros sensores y algoritmos para lograr la navegación autónoma que se detallarán posteriormente.

¹ Concepto. Fase del ciclo vegetativo de la uva. La flor se transforma en un pequeño fruto.

² Concepto. Fase de maduración de la uva. En esta fase, se determina la calidad final del fruto.

³ Concepto. Tiempo de la uva.

1.2.4.1 Segmentación de imágenes orientada a la obtención de verdes

El primer paso, para detectar las líneas de cultivo es detectar las áreas verdes del terreno. Para ello, se usa visión computacional ya que proporciona métodos que permiten la segmentación de imágenes separando la región de interés del resto de la imagen. Existen dos tipos de segmentación por discontinuidad y por similitud [28]. La primera se realiza en base a los cambios bruscos de nivel de gris por detección de líneas, bordes o puntos aislados. La segunda en base a zonas que tengan valores similares según un criterio seleccionado previamente ya sea por crecimiento de una región o por umbralización. Para la obtención de colores verdes se realiza la segmentación por similitud. En las siguientes líneas, se describe los principales métodos usados para la segmentación de las imágenes orientas a la obtención de verde.

a) Segmentación basada en índices espectrales

Esta segmentación se basa en los índices de vegetación (VI), medidas obtenidas al cuantificar y combinar dos o más bandas del espectro electromagnético, el infrarrojo y la luz visible que reflejan la vegetación [29]. Estos índices son usados para la detectar la zona de cultivos y algunas propiedades de estos como su estado, tipo y cantidad. Esta técnica se basa principalmente en el índice de exceso de verde [30]. Asimismo, existen otros como el índice de color de la vegetación CIVE [31], el índice de vegetación [32], combinaciones de los componentes RGB de la imagen [33]. Dentro de estos últimos, el método de Ribeiro en el cual se convierte cada píxel de la imagen RGB a negro o blanco teniendo en cuenta la iluminación y el color de la imagen ha tenido buenos resultados [34]. En la Figura 1. 1, se muestra la función con la cual se realiza la segmentación para lo cual primero se separa la imagen en sus tres capas.



Figura 1.1 Función de segmentación según Ribeiro. Fuente: [34]

La segmentación de la imagen según la función se realiza en todos los píxeles de la imagen. Los valores recomendados son 40 para shadow y 100 para light, según Ribeiro después de estudios y experimentos realizados en el campo [34].

b) Segmentación basada en umbralización específica

Estas técnicas se usan para problemas bi-clase, es decir, cuando se quiere separar algo en específico del resto. En este caso las plantas del terreno. Esta segmentación se usa para imágenes en escala de grises. Dentro de esta técnica se han realizado principalmente dos estudios uno basada en el método de Otsu a partir de una imagen en escala de grises obtenida mediante el índice de diferencia normalizado y el exceso de verde; y la otra es con respecto a la media estadística de la imagen transformada obtenida por los índices de vegetación. [33] De los resultados de estos estudios, se concluyó que el mejor método es través de la media.

c) Segmentación basada en aprendizaje

Esta segmentación se realiza con técnicas basadas en fuzzy a partir de imágenes en escala de grises obtenidas a partir de imágenes de color mediante los índices de vegetación [29]. Es una técnica de aprendizaje no supervisado que usa el método de fuzzy tiene en cuenta el grado de pertenencia de un píxel a distintas clases agrupando los que poseen un color similar separándolas [35]. De esa forma, se extrae regiones de similares características mediante obtención de varios umbrales en este caso para la obtención de las regiones verdes. La separación en clases es validada por redes neuronales.

1.2.4.2 Detección de líneas de cultivo

La detección de las líneas del cultivo es importante ya que permitirá que en base a esto se arme una trayectoria que el robot pueda seguir para su desplazamiento. A continuación, se muestran los principales métodos para la detección de las líneas de cultivo.

a) Método basado en regiones

En el 2006, Fontaine y Crowe propusieron un algoritmo basado en buscar las zonas blancas de la imagen binaria ya que aquí se encontrarían las líneas de cultivo después de la segmentación de la imagen. Las zonas de más de 200 píxeles etiquetadas de blanco son las que se detectan como líneas de cultivo, se considera que las regiones con menor cantidad de píxeles de la zona es ruido. Después de determinar estas zonas, el algoritmo determina el ángulo de sus ejes principales y localiza el centro de gravedad [33].

b) Método basado en la transformada de Hough

La transformada de Hough se aplica sobre imágenes binarias para detectar figuras geométricas como rectas, círculos o elipses. En este caso, la imagen binaria que se usa es la obtenida después de la segmentación de la imagen por zonas verdes. Para detectar las líneas de cultivo de la imagen, se asume que las únicas líneas existentes en la imagen son las del cultivo. El resultado de la aplicación del algoritmo para la detección de las líneas de cultivo no siempre es la ideal, se necesita realizar restricciones en la pendiente que debe tener las líneas para que sean consideradas parte del cultivo. Esta técnica se usa también para guiado autónomo de vehículos agrícolas [33] [36].

c) Método basado en análisis de frecuencia

Este método se basa en la toma de imágenes perpendiculares. Por lo tanto, las líneas de cultivo son verticales y al proyectarlas en la imagen se observa un claro comportamiento en el dominio de la frecuencia de estas en comparación al resto de la imagen. Se aplica la transformada de wavelets para detectarlas. Para ello, se selecciona una función wavelets madre con una frecuencia adecuada para la identificación que es obtenida a través de transformada de Fourier [33]. Los resultados de este método tienen problemas para hallar la frecuencia correcta cuando en el cultivo existe una gran variedad de malas hierbas teniendo como resultado líneas de cultivo en direcciones incorrectas o no tomadas en cuenta.

1.2.5 Autonomía usando ROS

Un robot es considerado autónomo cuando realiza sus funciones sin intervención humana. Esto incluye que el robot pueda realizar su recorrido en un entorno desconocido sin chocarse con objetos en el camino. Para ello, el robot debe conocer su posición y realizar o tener un mapeo de la zona para que se desplace en ella. Para ello, se hace uso de algoritmo de mapeo y la localización. El más usado es SLAM (Simultaneous and Localization Map). Actualmente, las dos implementaciones más usadas de SLAM en 2D son Gmapping/OpenSLAM y Héctor SLAM [36]. Tienen un complejo grado de implementación por la matemática que involucra, pero gracias a los investigadores se ha desarrollado paquetes que permiten el uso de estos algoritmos de una manera más sencilla usando ROS, sistema operativo de robótica. Además, ROS cuenta con un paquete entero para navegación autónoma que tiene incluido los algoritmos de SLAM. A continuación, se explicará con mayor detalle los conceptos básicos de ROS, Gazebo, Rviz y los paquetes que permiten la navegación autónoma de un robot

1.2.5.1 Conceptos básicos de ROS

ROS provee servicios de abstracción de hardware, control de dispositivos, paso de mensajes entre procesos, entre otros. [37]. Para entender ROS se debe entender los siguientes conceptos.

- **Nodos:** Los nodos son procesos individuales que se realiza en ROS. Se escribe con el lenguaje C++ usando la librería roscpp o con Python con la librería rospy. Cada nodo tiene un nombre único que lo diferencia del resto. Se encargan de realizar una acción ya sea controlar un sensor o un actuador. [38] En la Figura 1. 2, se muestra un ejemplo de dos nodos. El nodo 1 envía información al nodo 2 a través del tópico 1.



Figura 1. 2: Ejemplo de nodo. Fuente: [39]

- **Tópicos:** Los tópicos son canales de comunicación para transmitir información con un tipo de dato definido. Se usa para comunicar nodos entre sí. Los tópicos son unidireccionales, es decir, un nodo que envía data por un tópico no recibirá directamente una respuesta por ese tópico ni sabrá el estado de los mensajes. En la Figura 1. 3, se muestra cómo funcionan los tópicos gráficamente.



Figura 1. 3: Funcionamiento de tópicos. Fuente: [39]

- **Servicios:** Los servicios es otra forma de comunicar nodos a diferencia de los tópicos el nodo ofrece un servicio y cualquier otro nodo puede utilizarlo llamándolo con un mensaje y esperando un mensaje como respuesta [40]. En la Figura 1. 4, se muestra gráficamente el concepto de servicios.

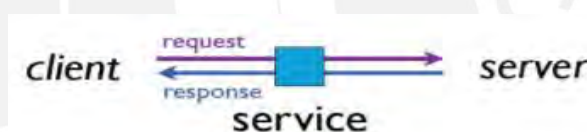


Figura 1. 4: Servicios en ROS. Fuente: [39]

- **Lanzadores:** Los lanzadores o launchers se usan cuando se requiere ejecutar varios nodos. La herramienta que permite en ROS lanzar múltiples nodos es “roslaunch”. Estos archivos son launch y están escritos en XML.
- **Máster:** El máster o roscore es el nodo principal del sistema que proporciona una plataforma mediante el registro de nombres, servicios y parámetros que permiten la comunicación como se muestra en la Figura 1.5. Mediante este es posible la comunicación entre nodos. [39]



Figura 1. 5: Máster. Fuente: [39]

1.2.5.2 Gazebo y Rviz

Gazebo es un simulador 3D que permite realizar simulaciones de robots en entornos complejos, interiores o exteriores y realistas. Rviz también es un entorno de visualización 3D que permite combinar el modelo de los robots con la data de los sensores. Estos dos simuladores se pueden juntar, es decir, se puede crear un entorno similar en el que el robot trabajará y en Rviz se verá como el robot realizaría los programas creados para su funcionamiento.

1.2.5.3 Navegación con ROS

En la Figura 1. 6, se muestra los paquetes que son necesarios para la navegación autónoma de un robot usando ROS. Sirve para configuraciones diferenciales, omnidireccionales y skid- steer. La data usada para la navegación es obtenida por la odometría, cámaras, láser y la posición a la cual se desea llegar. La data del láser y la cámara permite conocer el entorno en el que se encuentra el robot para crear un mapeo de la zona y evitar choques.

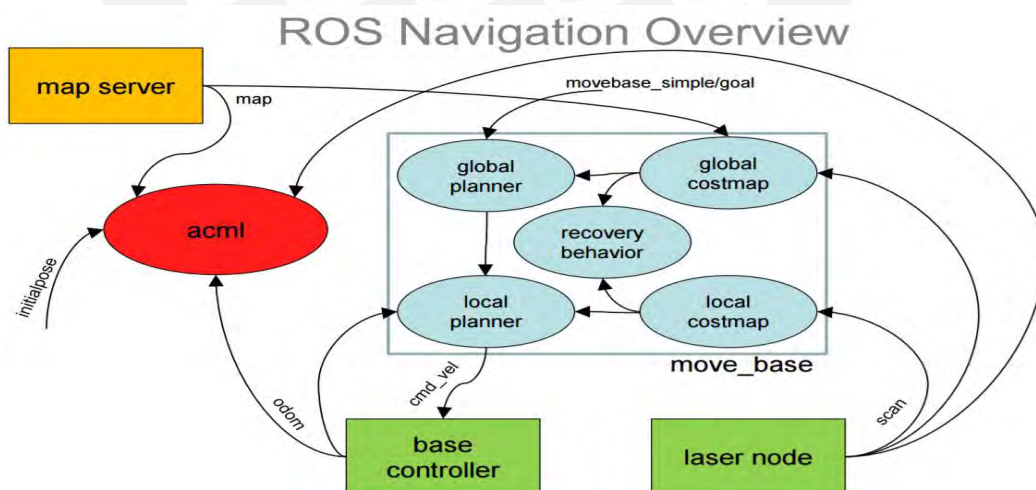


Figura 1. 6: Paquetes para navegación ROS. Fuente: Institute for Software Technology [41]

a) Mapeo y localización simultánea

El mapeo y localización simultánea, SLAM, son algoritmos que construyen mapas de un entorno desconocido y que estiman la posición del robot. Lo primero que se realiza

es crear un mapa del entorno donde se desplazará el móvil. Luego, se realiza la navegación y planificación de la ruta [42]. Los mapas son representados en forma de grafos en los cuales se representan las posibles ubicaciones del robot en el entorno de trabajo. Conforme el robot se mueve se va creando el mapa hasta que el robot encuentre el lugar donde inicio su recorrido y se cierre el bucle.

El paquete gmapping perteneciente a ROS realiza el algoritmo de SLAM con el filtro de partículas Rao-Blackwellized. En el que cada partícula de este tiene su propio mapa del entorno [43] [44] lidiando con el problema de la dependencia mutua entre el mapeo y la localización. El mapa individual que cada partícula lleva se construye usando una correspondencia de escaneo de acuerdo con el movimiento de cada partícula. El problema de este filtro es que se tienen varios mapas y se debe seleccionar el correcto, el que representa con mayor precisión al entorno. Para ello, se reduce el número de partículas con los datos de odometría y con la última observación del láser [43]. Pero esto produce un agotamiento en las partículas lo que genera pérdida de información. Se resuelve usando técnicas de re-muestreo adaptables [45] [43] para tener una variedad de partículas aceptables después de la reducción. En la Figura 1. 7, se observa un mapa creado usando el paquete de gmapping de ROS con un vehículo móvil del campo de Freiburg.



Figura 1. 7: Mapa obtenido con gmapping del campo de Freiburg. Fuente: [43]

Por otro lado, para el algoritmo de localización se usa el filtro de partículas probabilísticos que implemente la localización de Monte Carlo. Se basa en un enfoque de localización probabilística representada por partículas que vienen a ser la posición 2D del robot (x, y, θ). En la Figura 1. 8, se observa el funcionamiento de este algoritmo para una localización unidimensional. Primero se tiene una distribución de probabilidades uniforme para cada una de las posibles posiciones del robot que se irán actualizando. Para la actualización de las partículas se genera un ruido aleatorio con

desviación estándar que es definido por el error del sistema de odometría. Este produce que las partículas se dispersen aleatoriamente aumentando la probabilidad de tener una de ella con el movimiento real. Luego se añade a las partículas la medición realizada por los sensores. Esto implica actualizar la probabilidad de la partícula que compara la medida realizada con la que cada partícula debe tener. Finalmente, se compara con el mapa a ese error y se determina la posición del robot.

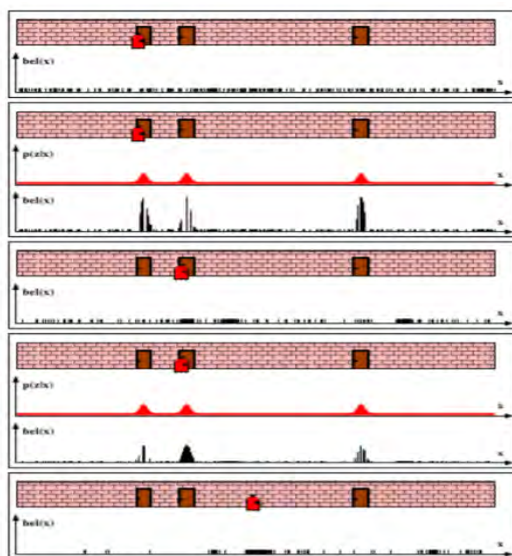


Figura 1. 8: Representación de filtro de partículas. Fuente: [46]

La localización esta conforma por la localización local y la global. La primera funciona de modo continuo a una frecuencia mayor que la segunda [47]. El localizador global funciona en modo discreto cada cierto tiempo publica una posición que sirve para corregir la local. EL localizador global emplea el algoritmo de localización de Monte Carlo y el local la información de los sensores.

b) Planificador global

ROS incorpora el paquete nav_core para la planificación global, esto quiere decir que después de indicar en el mapa la posición del robot, se busca el camino mínimo a través del sistema de celdas. Luego se usa un cálculo de potencial cuadrático para aproximarse a su destino suavizando las trayectorias [48]. Para encontrar el camino se puede usar el algoritmo A* o Dijkstra. El algoritmo A* genera una búsqueda inteligente encontrando el camino más corto desde una posición inicial a la meta a

través de un espacio de problema empleando una heurística óptima. Pero debido a que ignora los caminos cortos algunas veces la solución de camino no es óptima [49]. Por otro lado, el algoritmo de Dijkstra resuelve los problemas de caminos mínimos asignados por pesos de destino simple en un grafo dirigido [50]. Hace una búsqueda uniforme diferencia del algoritmo A* analizando todos los posibles caminos desde la posición inicial [47].

c) Planificador local

El planificador local sirve para conectar el planificador a la ruta del robot. El planificador crea una trayectoria cinemática para llegar desde su posición actual hasta su objetivo. Para ello, crea a su alrededor una función de costos de sus posibles trayectorias. Para evitar los obstáculos recibe constante información del planificador global [48]. Primero muestrea de forma discreta el espacio de control del robot (dx , dy , $d\theta$). Para cada velocidad simula un estado del robot y así predecir lo que pasará. Luego evalúa las trayectorias usando la proximidad de obstáculos, ruta global y la velocidad. Eliminando las trayectorias que producirían choques. Finalmente se escoge la mejor trayectoria y se envía la velocidad al `move_base`. El cual es un paquete de ROS que maneja el desplazamiento del robot por medio de sus controladores. Los pasos se repiten hasta completar el recorrido [48]. En la Figura 1. 9, se muestra el funcionamiento del planificador local. Las líneas punteadas son las trayectorias que se generan al inicio.

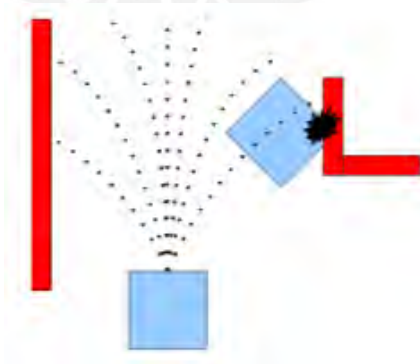


Figura 1. 9: Robot usando el planificador global. Fuente: [48]

La importancia de los conceptos y algoritmos de autonomía expuestos con anterioridad sirven para que el robot se pueda desplazar en el campo de cultivo sin que un humano

lo control. Esto le da una mayor utilidad al sistema ya que podrá realizar sus tareas de manera autónoma una vez energizada. El sistema además de controlar el riego en los cultivos automatizará el proceso.

1.3 Marco metodológico

El desarrollo del presente trabajo está basado en la metodología VID 2222, la cual consta en cuatro etapas investigación y análisis, comparación, desarrollo del modelo y aplicación. Estas cuatro fases serán expuestas en el documento de la siguiente forma: en el primer capítulo se realizó una investigación científica y tecnológica que sustentó el desarrollo de un sistema de riego automatizado. Para ello, se hizo una revisión de las máquinas comerciales y los proyectos que tienen patentes sobre esta temática. También, sobre los mecanismos que se usan para el riego, los sensores que se necesitan para obtener data confiable del cultivo para la determinación del estado del cultivo y sobre los algoritmos que se han desarrollado para el riego automatizado. Además, se hizo un análisis y comparación de cada tecnología que cumple una funcionalidad similar al objetivo de la tesis.

La siguiente etapa se basa en el desarrollo del modelo y aplicación del sistema mecatrónico para desarrollar un sistema de riego automatizado usando el Summit XL. Este incluye cinco subetapas: i) Selección de concepto óptimo; ii) Diseño del sistema mecánico; iii) Diseño del sistema electrónico; iv) Diseño del sistema de control y v) Experiencia de usuario.

En la primera subetapa, se selecciona el concepto solución óptimo. Para ello, se toma en cuenta la secuencia de procesos técnicos y la estructura de funciones (Ver Anexo 1). El producto de este análisis es la matriz morfológica (Ver Anexo2). De la matriz, se escogen tres posibles soluciones en base a un análisis técnico - económico, se selecciona el concepto de solución adecuado para resolver la problemática y así poder empezar con el desarrollo del sistema.

En la segunda subetapa, se desarrollará el diseño mecánico del sistema considerando los cálculos previos respecto a dimensiones y peso para que este se pueda integrar en

el SUMMIT XL. También, se analiza la resistencia del módulo y la elaboración de los planos mecánicos.

En la tercera subetapa, se realizarán los cálculos de potencia y energía requeridos por el sistema para seleccionar los sensores y actuadores que cumplan con los requerimientos. Además, se realiza el diagrama esquemático del sistema.

En la cuarta etapa se desarrollará la lógica y estrategia de control del sistema. Esto incluye los diagramas de flujo y esquemas de lazo de control. Además, la programación de los microcontroladores, sensores y actuadores involucrados en la realización del sistema de riego.

En la última etapa, se detallará la experiencia del usuario con el sistema. Para ello, se decidió crear una aplicación móvil para los celulares. También, se presentará como será la comunicación de ROS con una aplicación Android.

Por último, se presentará una simulación del sistema mecatrónico en un ambiente virtual como el que sería si se encontrara en un campo real. Esta simulación se realizará en la plataforma Gazebo perteneciente a ROS (Sistema Operativo de Robótica). Resultado de esta, se detallarán las conclusiones y recomendaciones del presente trabajo.

1.4 Objetivo

El objetivo principal de la presente tesis es desarrollar una plataforma mecatrónica para el riego de uvas. El riego debe realizarse de manera automática y gestionando correctamente el uso del recurso hídrico de tal forma que la uva pueda crecer en las mejores condiciones.

CAPÍTULO 2

DISEÑO DEL SISTEMA MECATRÓNICO

En el presente capítulo se detalla los requerimientos del sistema mecatrónico, se presenta la estructura de funciones del sistema que sirve como entrada para realizar la matriz morfológica la cual se encuentra en el Anexo1. A partir de esta, se define el concepto de solución óptimo después de un análisis técnico- económico de las tres posibles soluciones que cumplirían con el funcionamiento del sistema. Además, se presenta el diseño del sistema, los componentes mecánicos y electrónicos empleados para su funcionamiento y los algoritmos de control que permitirán cumplir con los requerimientos del sistema.

2.1 Requerimientos

El diseño del sistema mecatrónico requiere una previa definición de los requerimientos mecánicos, electrónicos y del control de sistema que a continuación son detallados:

Requerimientos Mecánicos

- El peso máximo del sistema de riego debe ser de 30 kg para mantener la estabilidad del SUMMIT XL.
- Las dimensiones del sistema deben ser menores a 500 x 400 mm (largo x ancho).
- El tanque de agua debe tener una capacidad de 10 L
- El sensor de estrés hídrico debe ser capaz de desplazarse 40 cm

Requerimientos Electrónica

- El sistema electrónico deberá contar con una protección IP55, cumpliendo la norma *IEC60529 Degrees of Protection*.
- El sistema de riego deberá tener autonomía mínima de 3 horas.
- El sistema deberá ser alimentado con una batería de corriente continua, donde el voltaje puede estar entre 12V – 24V.
- Monitoreo de la carga de la batería mediante medición constante de nivel de voltaje, el cual se encontrará entre 12 – 24V dependiendo la batería que se use según cálculos posteriores.

Requerimientos de Control

- El sistema deberá comunicarse con el SUMMIT XL para controlar el movimiento de este. La comunicación entre estos debe ser constante. La máxima diferencia entre el envío y recepción de datos no debe superar los 2 segundos.
- La recolección de la información sobre el estado de la uva se mostrará por Rviz, visualizador 3D que permite ver la data de los sensores que usan ROS. Esta data es sobre el estado hídrico de la planta.
- Se realiza el riego cuando la medida del estado hídrico sea mayor a 0.3
- La interfaz de usuario será mediante un computador donde podrá visualizarse la información obtenida por los sensores. El tiempo en el que se actualizará la información será de 0.25s la información

2.2 Estructura de funciones

La estructura de funciones contiene de forma ordenada y secuencial las funciones que realizara el sistema mecatrónico en el dominio mecánico, electrónico y de control. Para obtener la estructura de funciones es recomendable realizar una abstracción del sistema. Para ello, se hace uso de la caja negra. La caja negra permite que se tengan claro las entradas y salidas del sistema, pero sin tener en cuenta todo el proceso interno que se realiza para su funcionamiento. En la Figura 2. 1, se muestra la caja negra del sistema de riego automatizado para la mejora del proceso productivo de las uvas.

Los datos de entrada son la energía eléctrica necesaria para los componentes electrónicos, el agua que se usara para el riego, el estado de la uva, es decir, la altura a la que se debe ubicar el sensor para que detecte a la uva y pueda analizarla. Las salidas son la información sobre el estado hídrico de las uvas, el agua en caso se realice riego, una señal de alerta en caso la batería sea menor al voltaje requerido por el sistema y por último los ruidos, el calor y las vibraciones que se producen con el funcionamiento del sistema.

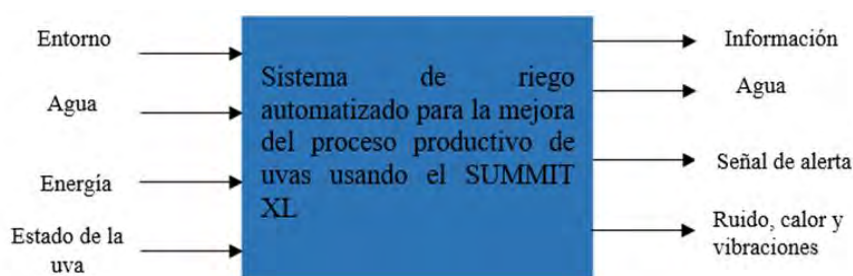


Figura 2. 1: Caja negra del sistema. Fuente: Elaboración propia.

Después de realizada la caja negra, se realiza la estructura de funciones que se muestra en la Figura 2. 2. La cual está dividida en tres aspectos la mecánica del sistema, la electrónica y el control. Posteriormente, se explicará a mayor detalle la estructura para entender el funcionamiento del sistema.

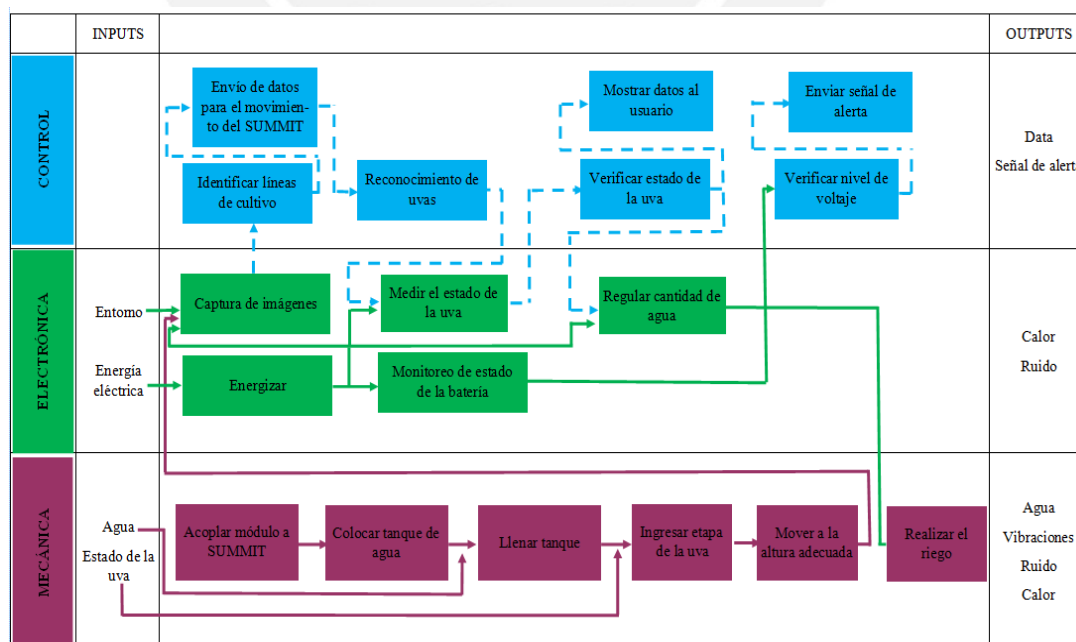


Figura 2. 2: Estructura de funciones. Fuente: Elaboración propia.

La energía se transmite a todos los componentes necesarios mientras se mide el estado de la carga para asegurar un funcionamiento adecuado. En caso la medición sea menor o se acerque al valor mínimo que se necesita para el adecuado funcionamiento del sistema, se enviará una señal de alerta ya sea sonora o visual para que el usuario pueda recargar las baterías del sistema.

Los datos respecto al entorno son capturados por sensores que permitirán la detección de las uvas y el reconocimiento de las líneas de cultivo. Para ello, primero se debe modificar la altura de la cámara infrarroja para que pueda medir el estado hídrico de las uvas. De esta forma, se puede tomar medidas más precisas. La información procesada de la cámara infrarroja determinará si es necesario realizar el riego. En caso sea necesario, se energizará el actuador para realizar el riego.

El desplazamiento del sistema por las líneas de cultivo se hará mediante el uso de la plataforma móvil, Summit XL, que permitirá al robot desplazarse en terreno de hasta 15° de pendiente. El robot se moverá de acuerdo con la información obtenida de su entorno mediante el procesamiento de la data obtenida por los sensores. Esta data tendrá como resultado un camino que el robot deberá seguir para cumplir con su función.

Finalmente, el sistema mostrará la data de su recorrido en tiempo real para que el usuario pueda monitorear el estado de su cultivo mientras se hace el proceso de riego. Así podrá observar que partes de sus cultivos presentan mayor problema y tenerlo en cuenta para futuras sembradíos.

La estructura de funciones del sistema presentada permitió realizar la matriz morfológica de la cual se obtuvo tres posibles conceptos de solución. Estos conceptos fueron evaluados por distintos aspectos técnicos y económicos teniendo como resultado una solución óptima para el diseño del sistema. Tanto la matriz como los conceptos de solución y la evaluación técnica - económico se encuentra desarrollada en detalle en el Anexo 1. A continuación, se muestra el diseño mecánico, electrónico que incluye la selección de sensores para el funcionamiento del sistema y los diagramas de flujo como los algoritmos del concepto óptimo para el sistema de riego automatizado.

2.3 Diseño Mecánico

La propuesta del sistema desarrollado por el presente trabajo de tesis comprende la realización de un sistema para el control de riego en los cultivos de uvas como solicitud del proyecto Yupibots. Este sistema se acoplará a la plataforma móvil SUMMIT XL, la cual permitirá su desplazamiento por las zonas de cultivo. El diseño mecánico está dividido en dos partes principales; cada una cumple una función requerida por el sistema. El primer subsistema es el mecanismo de ascenso y descenso de la cámara infrarroja para el análisis de las uvas en dos diferentes etapas de crecimiento. El segundo subsistema es la plataforma que soporta el sistema de riego. La dimensión total del sistema en conjunto es aproximadamente de 45 cm de largo, 32 cm de ancho y 47 cm de alto cumpliendo con el requisito de tener un largo menor a 55 cm y un ancho menor a 40 cm. En la Figura 2. 3, se puede ver el sistema de riego diseñado.

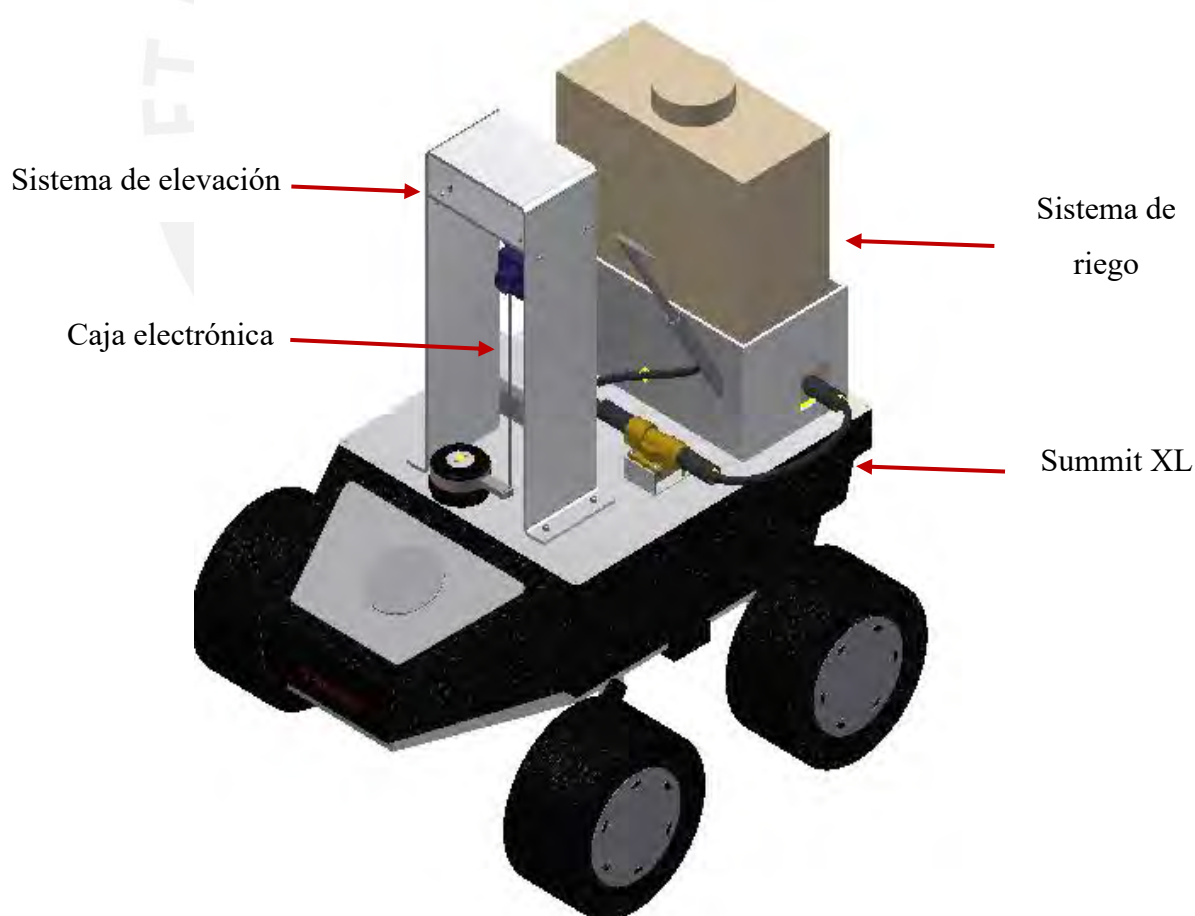


Figura 2. 3: Diseño mecánico del sistema. Fuente: Elaboración propia.

En las siguientes líneas, se detalla los dos subsistemas del sistema para el control de riego en los cultivos de uvas. Cada subsistema está compuesto por componentes mecánicos y electromecánicos que fueron escogidos debido a que sus características cumplían con los requerimientos del sistema que fueron necesarios para su diseño.

2.3.1 Sistema de elevación

El sistema de elevación permite que la cámara infrarroja pueda desplazarse 40 cm y así analizar el estado hídrico de las uvas en dos diferentes etapas de su crecimiento. En la Figura 2. 4, se observa las partes principales del mecanismo. Para su desplazamiento consta de un motor DC con encoder, un carrete, un acople del motor hacia el carrete y un cable que será enganchado al soporte de la cámara. La selección de los componentes se detallará y justificará en las siguientes líneas.

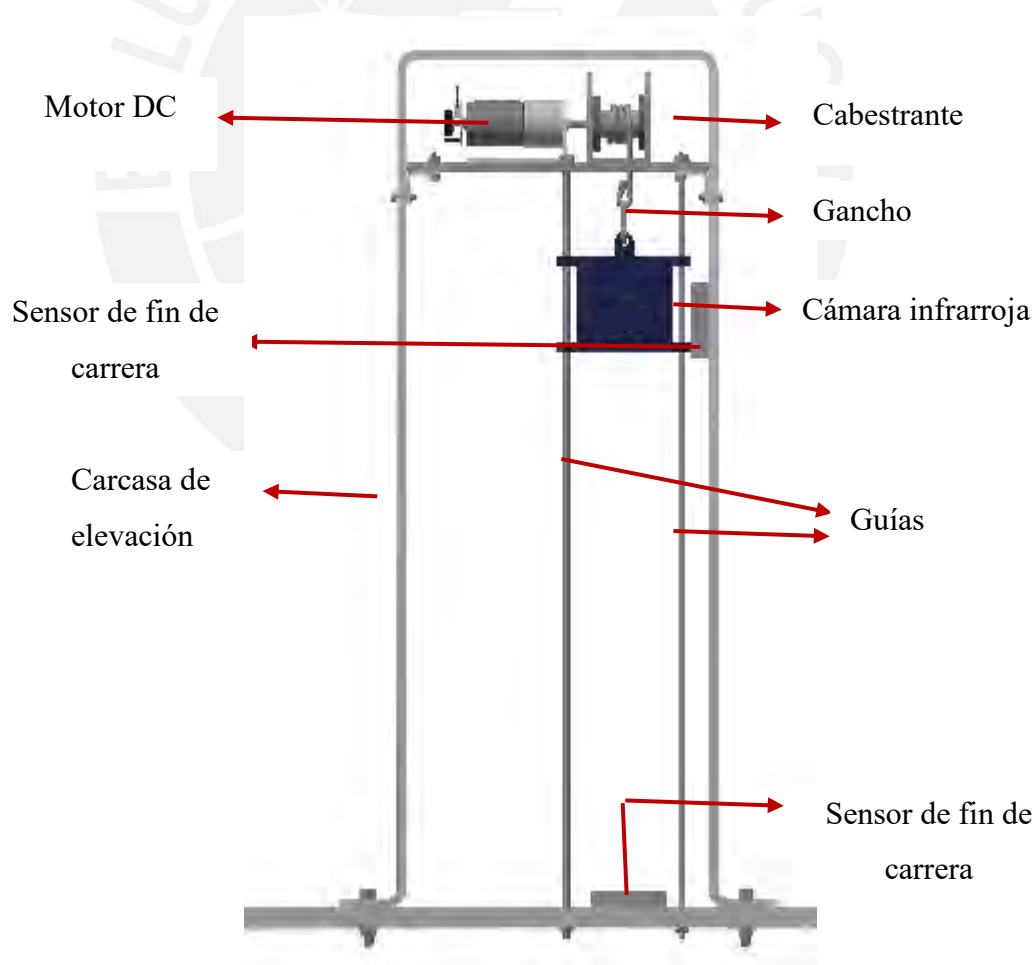


Figura 2. 4: Sistema para elevación. Fuente: Elaboración propia.

2.3.1.1 Carcasa de elevación

La carcasa del sistema de elevación está hecha de una plancha de aluminio A6061, se usa este material debido a que es liviano, resistente ante la corrosión y de fácil acceso en el mercado. Esta pieza está unida al soporte del mecanismo de elevación por medio de unas pequeñas bisagras que permitirán su rigidez. En la Figura 2. 5, se muestra la carcasa del sistema de elevación. Así mismo, se muestra el dispositivo que permite la unión de la carcasa al soporte del mecanismo.

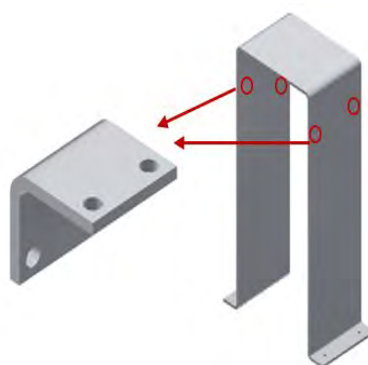


Figura 2. 5: Carcasa del sistema de elevación y unión a soporte de mecanismo. Fuente: Elaboración propia.

2.3.1.2 Soporte y mecanismo de elevación

El mecanismo de elevación esta soportado en una base el soporte para el mecanismo de elevación se encuentra el motor DC con encoder para regular la altura de la cámara infrarroja, un carrete con una soga y unas varillas que permitirán el desplazamiento de la cámara. A continuación, se presentan los cálculos que fueron necesarios para la elección de los componentes.

a) Selección del motor DC

En la selección del motor DC, se tiene en cuenta cuanta fuerza tiene que realizar el motor para subir o bajar la cámara según sea el caso, la velocidad a la cual debe operar y la potencia que necesitará para su funcionamiento. Seguidamente, se muestra los cálculos realizados para su elección como el motor seleccionado que cumple con los requerimientos.

- Parámetros para la elección del motor DC:

En la selección del motor que permitirá desplazar a la cámara, se tiene en cuenta los siguientes parámetros de funcionamiento establecidos en los requerimientos, así como también el peso de la cámara que levantará o bajará.

- Altura de desplazamiento 0.40 m
- Velocidad máxima 0.10 m/s
- Masa de la cámara: La masa de la cámara es de 0.195 kg
- Masa de la carcasa de la cámara: La masa se obtiene de Inventor luego de definir el material del cual será hecho en las propiedades del sólido.

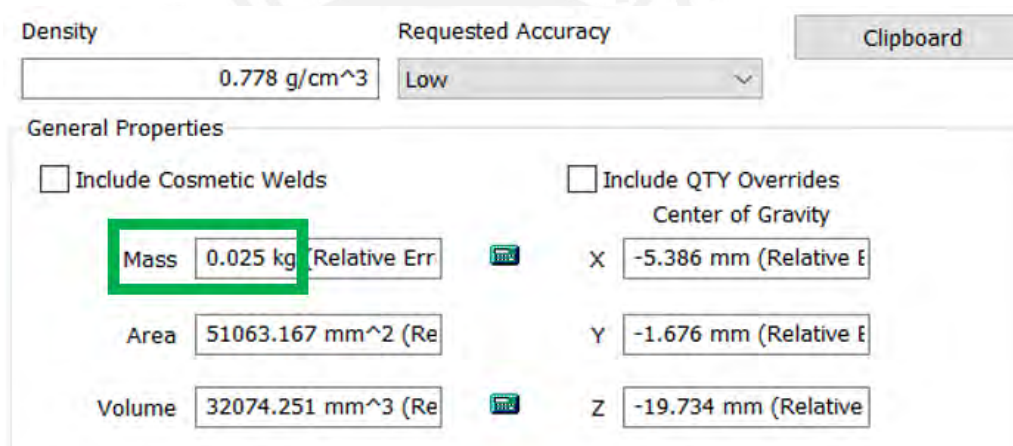


Figura 2. 6: Propiedades físicas del soporte para la cámara. Fuente: Elaboración propia

En la Figura 2. 6, se muestra las propiedades físicas del sólido su masa, área, volumen y densidad. De esta información, el valor de la masa tiene un valor de 0.025 kg. Por lo tanto, la carga total es igual a 0.22 kg

- Análisis de la fuerza del motor

El torque necesario para el motor se determina por la fuerza que debe realizar el motor para elevar la cámara con su soporte. Para ello, se utiliza la siguiente fórmula:

$$T = F \times \frac{D}{2} \dots\dots\dots (a)$$

Donde:

F es la fuerza para subir la cámara $\rightarrow F = 0.22 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2 = 2.158 \text{ N}$

D es el diámetro de la polea de 30 cm $\rightarrow 0.3 \text{ m}$

T es el torque requerido

Reemplazando los datos en la ecuación (a) se obtiene que el torque necesario para desplazar la cámara es de 0.324 N.m

- Análisis de la velocidad del motor

En la selección del motor es necesario conocer el valor de la velocidad rotacional requerida. Esta se relaciona con la velocidad linear cuyo valor es conocido. La velocidad rotacional se calcula con la ecuación (b).

$$w = 19100 \times \frac{v}{D} \dots\dots\dots (b)$$

Donde:

W es la velocidad rotacional en RPM

19100 es el factor de conversión

V es la velocidad deseada en m/s (0.1 m/s)

D es el diámetro de la polea en mm (300 mm)

$$W = 19100 \times \frac{0.1}{300} = 6.367 \text{ RPM}$$

Finalmente, la potencia requerida en el motor a partir del torque y la velocidad angular se halla con la ecuación (c)

$$P = w \times \tau \dots\dots\dots (c)$$

La potencia requerida por el motor después de realizado los cálculos es de 2.06 W

- Motor seleccionado

Después de los cálculos realizados previamente se tiene en cuenta que el motor debe tener una potencia requerida mínima de 2.06 W para desplazar la cámara infrarroja 40 cm cuando los cultivos de uva sean más altos y así se pueda seguir midiendo el nivel de estrés hídrico. Por otro lado, para que pueda girar a una velocidad de 0.1 m/s requiere de una velocidad nominal como mínimo de 6.367 rpm. Además, para subir la cámara infrarroja el torque mínimo debe ser de 0.324 N.m.

Tabla 2. 1: Características principales del motor seleccionado. Fuente: Elaboración propia.

Fabricante	Pololu
Aspecto	
Voltaje nominal	12V
Torque	0.444 N.m
Velocidad	220 rpm
Potencia	5.28 W
Caja de reducción	34: 1
Diámetro del eje	4 mm
Peso	0.101 kg
Encoder	Si

En la Tabla 2. 1, se muestran las principales características del motor seleccionado. Este motor servirá para el desplazamiento de la cámara infrarroja, fue fabricado por Pololu, tiene las siguientes dimensiones 25D x 52L con un encoder 48PR. Este motor trabaja a 12 V con un torque de 0.444 N.m. por lo tanto cumple con el requerimiento mínimo. Por otro lado, cuenta con una velocidad de 220 rpm, si bien es más de 30 veces del valor del que se requiere, tiene una caja reductora con relación 34:1 que hace que su velocidad se reduzca a 6.47 rpm cumpliendo con el requerimiento técnico. La potencia que posee es superior al requerimiento técnico con eso se garantiza que funcionará correctamente.

b) Selección de cable de elevación

Los cables de elevación que se usan son metálicos. Estos cables están compuestos por alambres que forman cordones y que están enrollados en un alma. Están diseñados para aguantar el peso de la carga. Para definir el diámetro del cable se hará uso de la norma DIN que establece la fórmula (d), también se hace uso de la Tabla 2. 2

$$d \geq Kc \times \sqrt{S} \dots (d)$$

Siendo:

D: Diámetro del cable de elevación

Kc: Coeficiente según grupo al que pertenece

S: Tensión máxima del cable

Tabla 2. 2: Valores de coeficientes Kc según clasificación. Fuente: [51]

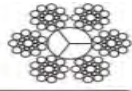
Grupo motor según DIN 15020	Coeficiente	
	Cargas y cable antigiratorio	Peligrosas
	180	200
1 Bm	0.265	0.250
1 Am	0.280	0.265
2 m	0.315	0.280
3 m	0.355	0.325
4 m	0.375	0.365
5 m	0.425	0.400

El valor de la tensión máxima a la que el cable estará sometido es de 2.158 N. El coeficiente Kc escogido es de 0.265 ya que la carga no es peligrosa debido a su liviano peso menor a 2 kilos. Por lo tanto, el valor sería igual a:

$$d \geq 0.265 \times \sqrt{2.158} = 0.4$$

Del resultado obtenido, se concluye que diámetro es muy pequeño debido a la baja carga que elevará por lo que cualquier diámetro cumpliría con el requerimiento. El cable escogido es un cable negro halcón 6 x 19 con un diámetro de 3.18 mm. En la imagen 2.7, se muestra las características del cable de acero.

HALCÓN
CLASE 6 x 19
Alma de Fibra (AF)



Diámetro		Peso Aprox.	Resist. ruptura ton. métrica	
mm	plg	kg/m	A.M.	A.E.M.
3.18	1/8	0.036	0.63	0.69
4.76	3/16	0.094	1.36	1.50
6.35	1/4	0.160	2.49	2.70
7.94	5/16	0.240	3.86	4.20

Figura 2. 7: Características del cable seleccionado. Fuente: Cable de acero [52]

c) Cálculos para tambor

Según Larrode , existe una relación entre el diámetro del tambor y la vida útil del cable, mientras menor sea el tamaño del tambor, menor será la vida útil del cable [50]. Por ello, las empresas que fabrican estos cables dan una relación del diámetro de la polea y el de cable. En la Figura 2. 8, se observa la relación recomendada por el fabricante para el cable seleccionado que se debe cumplir para poder garantizar un correcto funcionamiento.

RELACIÓN DIÁMETRO POLEA/DIÁMETRO CABLE

Construcción del cable	Relación sugerida	Relación mínima
	D/d	D/d
6x7	72	42
19x7	51	34
18x7	51	34
6x19 S	51	34
6x21 F	45	30

Figura 2. 8: Relación diámetro para polea seleccionada. Fuente: Cables de acero [52]

Por lo tanto, el diámetro mínimo de polea para cable de 1/8" en construcción 6 x 19 S se halla con la ecuación (e).

$$D = d \times \text{relación mínima} \dots(e)$$

Donde:

D: Diámetro mínimo de polea

d: Diámetro del cable seleccionado

Entonces: $D = 3.18 \times 34 = 108.12 \text{ mm}$. El diámetro mínimo del tambor es de 109 mm. El largo del tambor depende del número de espiras enrolladas y el diámetro del cable. A su vez el número de espiras enrolladas depende de la longitud enrollada del cable, el diámetro del tambor y el cable [50].

$$\# \text{ de espiras} \approx \frac{\text{Longitud de cable enrollado}}{\pi \times (D+d)} \dots (f)$$

Aplicando la ecuación (f), $\# \text{ de espiras} \approx \frac{3 \times \pi \times 109 + 40}{\pi \times (109 + 3.18)} \approx 3.02 \text{ espiras}$. Para el cálculo de la longitud de tambor cubierta por el cable se usa la ecuación (g).

$$L_{\text{mintambor}} = d_{\text{cable}} \times (\# \text{ de espiras} + 3 \text{ espiras adicionales}) \dots (g)$$

Entonces: $L_{\text{mintambor}} = 3.18 \times (3 + 3) = 19.08 \text{ mm} \approx 20 \text{ mm}$. La longitud del tambor será de 22 mm debido a que se requiere un espaciado adicional en los extremos del tambor [51].

2.3.1.3 Carcasa de la cámara

En la Figura 2. 9, se muestra el soporte para la cámara que permitirá su desplazamiento por las varillas de aluminio mediante (a), (b), (c) y (d). El material que se usa es alumide y se fabricará en una impresora 3D. El alumide es una combinación de materiales en polvo, poliamida y aluminio. En la Tabla 2. 3, se observan sus principales características mecánicas.

Se usa este material ya que la carcasa se deslizará por las varillas y si fuera de plástico se desgastaría el protector de la cámara pudiendo dañarla. No se realizó con aluminio al igual que los otros componentes debido a que su mecanización sería complicada y costosa por la precisión de sus dimensiones.

El case tiene una pequeña oreja (e) por donde se enganchará a un cable que permitirá subir o bajar la cámara según el usuario inicialmente especifique por medio de botones que se encontrarán en la base del SUMMIT XL.

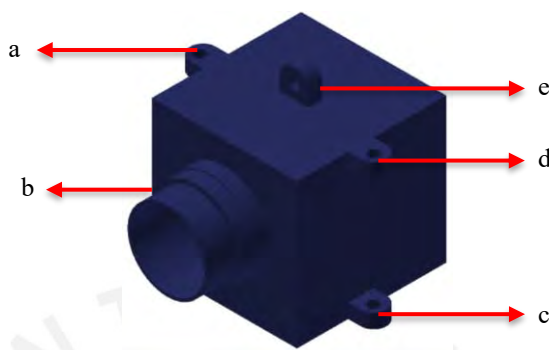


Figura 2. 9: Carcasa de la cámara. Fuente: Elaboración propia

Tabla 2. 3: Propiedades del alumide. Fuente: Electro Optical System [53]

Propiedad	Valor
Densidad	$1.35 \pm 0.05 \text{ g/cm}^3$
Módulo de Tracción	3800 MPa
Resistencia a la tracción	48 MPa

a) Cálculo de espesor

En la carcasa de la cámara, existen cinco orejas que dan soporte a la cámara, cada una de ellas tiene un espesor adecuado para soportar el peso de la cámara y asegurar que exista un correcto desplazamiento mediante las varillas. En la Figura 2.10, se muestra la geometría y dimensiones de las orejas:

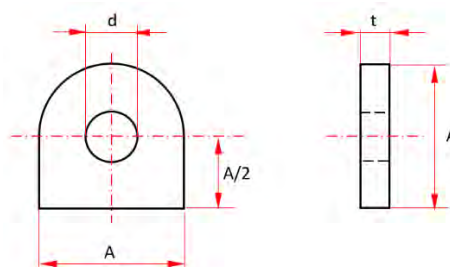


Figura 2. 10: Geometría y dimensiones de las orejas. Fuente: Elaboración propia

Las orejas tienen un eje de simetría y-y. En el caso de la oreja (e), está soportada por un gancho y un cable de elevación, y en el caso de las orejas (a), (b), (c) y (d) están soportadas por los cables; por ende, las fuerzas actúan en dirección vertical y pasan por su centro de gravedad y las orejas quedan bajo cargas de tracción.

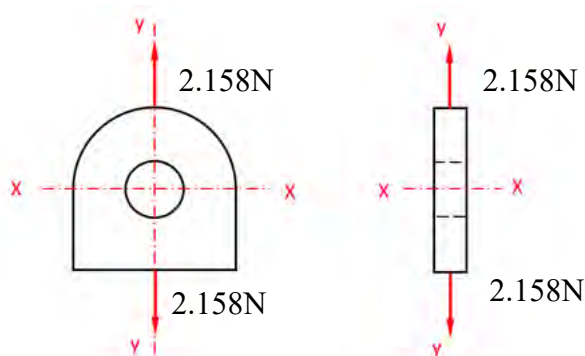
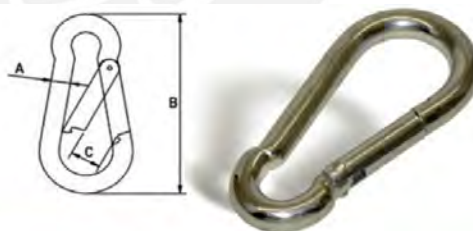


Figura 2. 11: Diagrama de cuerpo libre de las orejas. Fuente: Elaboración propia

Un paso importante para definir el espesor de la oreja (e) es tener como dato el diámetro del gancho. Para ello, se usará una tabla comercial estándar donde de acuerdo a la capacidad de carga, se escogerá el ítem adecuado. De acuerdo a la Figura 2.12, el gancho que cumpliría con la suficiente capacidad de carga, sería el de diámetro de 4 mm ya que tiene una capacidad de carga de 40 kg.



CÓDIGO	MEDIDA	DIMENSIONES (mm)			CARGA DE TRABAJO Kg	PESO Gr
		A	B	C		
11910402	40	4	40	6	40	8
11910502	50	5	50	7	100	16
11910602	60	6	60	8	120	27
11910702	70	7	70	8	180	43
11910802	80	8	80	10	230	64
11910902	90	9	90	10	250	90
11911000	100	10	100	11	350	120
11911200	120	11	120	16	380	180
11911400	140	12	140	19	400	250
11911600	160	13	160	23	410	350
11911912	180	14	180	30	560	460

Figura 2. 12: Ganchos de soporte de acero para cargas livianas. Fuente: Elnova [54]

En base a los valores anteriores, se procede a calcular el esfuerzo nominal de la oreja mediante la siguiente formula:

$$\sigma_{nom} = \frac{F}{(A-d)*t} \dots(h)$$

Donde:

σ_{nom} : Esfuerzo de la tracción

F: Fuerza normal

A = W: Ancho de la oreja

t : Espesor de la oreja

Aplicando la ecuación (h), se tiene lo siguiente $\sigma_{nom} = \frac{2.158}{(10-4)*5} = 0.072 \text{ Mpa}$

Debido a que la oreja tiene un agujero se presenta una concentración de esfuerzos:

$$K_t = \frac{\sigma_{m\acute{a}x}}{\sigma_{nom}} \dots(i)$$

Este factor se determina mediante la relación:

$$\frac{d}{W} = \frac{4}{10} = 0.4$$

Con el valor calculado previamente y considerando que la fuerza es aplicada por una barra en el agujero, se debe determinar el factor de concentración para validar que el espesor de la oreja sea el correcto y pueda soportar el esfuerzo al cual es sometido. En la Figura 2.13, se muestra una gráfica para calcular el factor de concentración, el cual se calculará mediante la curva B, como se observa a continuación:

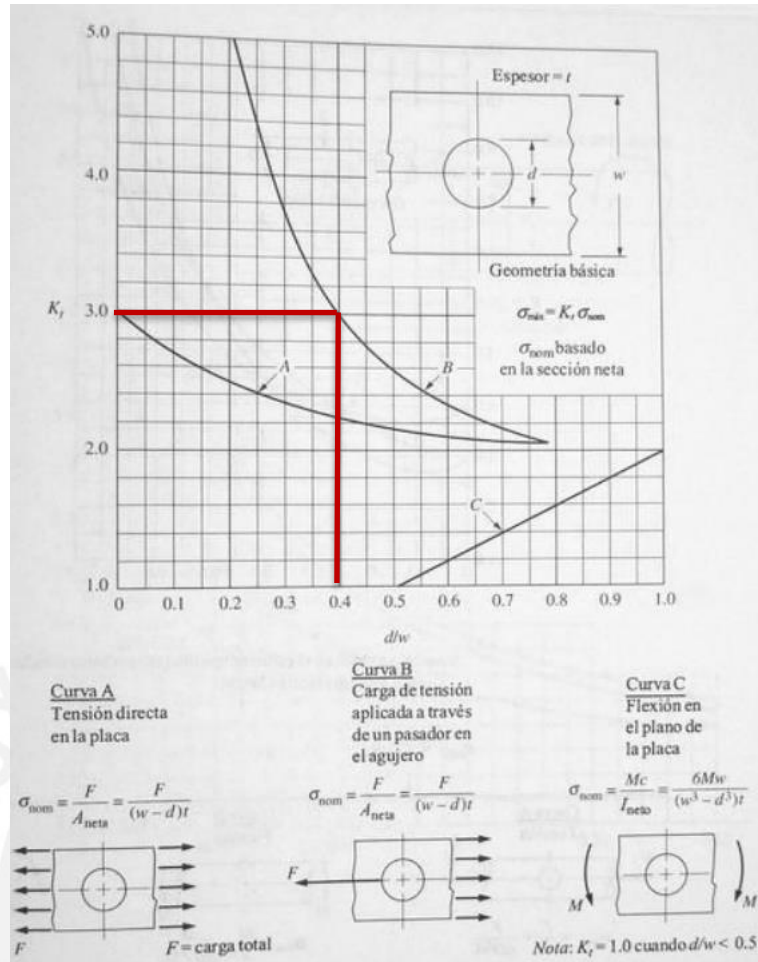


Figura 2.13: Factor de concentración de esfuerzos. Fuente: Diseño de elementos de máquina [55]

El valor del $K_t = 3$ usando la fórmula (i), el valor del esfuerzo máximo es el siguiente: $\sigma_{max} = \sigma_{nom} \times K_t = 0.072 \times 3 = 0.216 \text{ Mpa}$

El valor del esfuerzo de fluencia del material es igual a:

$$\sigma_{adm} = \frac{\sigma_{max}}{FS} \dots (j)$$

Considerando un factor de seguridad (FS) igual a 2.5 y usando la fórmula (j), se obtiene lo siguiente:

$$\sigma_{adm} = \frac{0.216}{2.5} = 0.086 \text{ Mpa}$$

Entonces:

$$\sigma_{nom} \leq \sigma_{adm}$$

$$0.072 \leq 0.086$$

Por lo tanto, se demuestra que el espesor de la oreja escogido igual a 5 mm cumpliría un valor aceptable.

2.3.2 Sistema para el riego

En la Figura 2. 14 y Figura 2.15, se muestra el sistema para el riego como se observa el sistema cuenta con un tanque pulverizador de cinco litros que contendrá el líquido para el riego. El riego se realizará mediante el uso de una bomba, un sistema de tuberías y una electroválvula.



Figura 2. 14: Sistema para riego. Fuente: Elaboración propia.

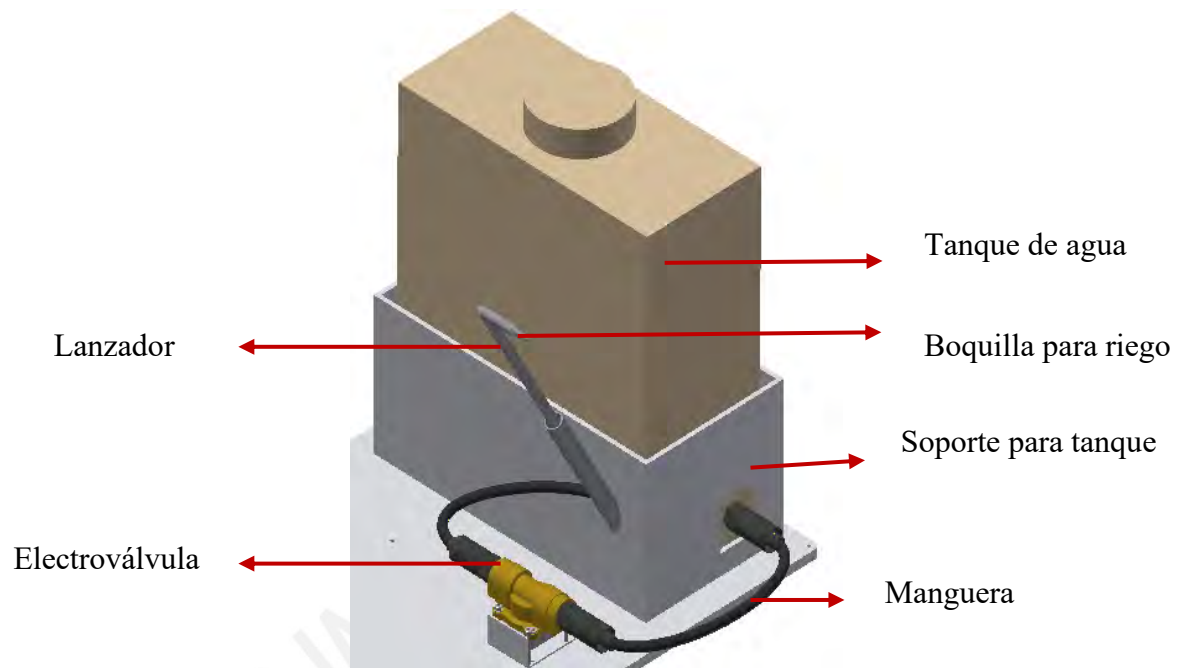


Figura 2. 15: Vista isométrica. Fuente: Elaboración propia.

A continuación, se procede a realizar los cálculos que determinarán los parámetros para la selección de los componentes del sistema de riego como el tipo de aspersor, la bomba, la electroválvula y la manguera.

2.3.2.1 Cálculos para selección de bomba

En los sistemas de riego para la agricultura se usan principalmente dos tipos de bomba la de pistón y la de diafragma. Se usará una bomba de diafragma ya que son más simples en construcción más resistentes al desgaste y necesitan menos mantenimiento a diferencia de las bombas de pistón.

Definida el tipo de bomba que se va a usar se considera los parámetros de caudal, la altura que tendrá que bombear, las pérdidas por la tubería y la eficiencia que se requiere para la elección de la bomba.

- Caudal: Por requisito el caudal será de 0.8 L/h
- Altura: La altura que tendrá que desplazarse es de 80 mm
- Eficiencia: La eficiencia requerida es del 90 %

Se usa la siguiente fórmula:

$$P_b = \frac{H \times \rho \times g \times Q}{745 \times E_b} \dots(k)$$

Donde:

P_b: Potencia de la bomba en HP hidráulicos

Q: Caudal en m³/s (0.066 m³/s)

H: Altura dinámica en metros

ρ : Densidad del agua (1000 kg/m³)

g: Coeficiente de gravedad (9.8 m/s²)

E_b: Rendimiento de la bomba 90%

$$\text{Entonces: } P_{\text{útil}} = \frac{0.8 \times 1000 \times 9.8 \times 0.0002}{745 \times 0.9} = 0.771 \text{ W}$$

Conociendo la potencia de la bomba, se puede seleccionar la bomba a emplear para el sistema de riego. Para ello, también es importante conocer las características de las mangueras, su diámetro y su largo ya que en estas se producen pérdidas. Asimismo, seleccionar el tipo de boquilla que se usará para el riego que define el caudal de salida.

El diseño del sistema de riego, se hará mediante el uso de un pulverizador de agua, el cual tiene incluido una mini bomba de diafragma de 6V la cual cumple con los requerimientos de potencia del sistema. Además, incluye acoples de la manguera al tanque, una manguera y un lanzador que, junto con el tubo de la manguera, el cual fue diseñado, permitirá que esta no se enrede y se mantenga en una posición estable en el recorrido del robot.

Este pulverizador está compuesto por un tanque de almacenamiento que está conectado a una bomba. La cual está conectada a una manguera pulverizadora. Está tiene conexión con una lanza de pulverización que tiene en el extremo una boquilla por donde se realiza el riego. La lanza de pulverización está diseñada para mantener una distancia entre el pulverizador y el tanque. La lanza da rigidez al sistema ya que no es flexible y mientras el robot avance se podría ir enredando.

También, viene un control manual para realizar el riego. Sin embargo; se requiere que el riego sea automatizado y pueda realizarse solo cuando las plantas lo necesiten. Por lo cual, no se empleará para este diseño ya que el control de esta se realizará por medio de una electroválvula como se explicará posteriormente. En la Tabla 2.4 se muestra las características de este producto.

Tabla 2. 4: Características principales de pulverizadora de riego. Fuente: Elaboración propia

Proveedor	Idaltrifa
Diseño	
Voltaje de bomba	6 V
Corriente de operación	1 A
Presión	1.5 bar
Capacidad	10 L
Peso	13 kg
Dimensiones	315 x 145 x 400 mm

2.3.2.2 Cálculo de sección de manguera

El sistema de riego cuenta con una manguera, a continuación, se presenta los cálculos correspondientes para la elección de la manguera de acuerdo al diámetro.

$$Q = A \times v \dots (1)$$

Donde:

Q: Caudal en m³/s (0.066 m³/s)

A: Área

V: Velocidad (0.5 m/s)

El área es igual a : $A = \pi r^2 = \pi \left(\frac{d}{2}\right)^2$. Usando la fórmula (1), se tiene lo siguiente:

$$Q = \pi \frac{d^2}{4} \times v$$

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4 \times 0.0002}{\pi \times 0.5}} = 0.022 \text{ m}$$

Por lo tanto, el valor del diámetro de la manguera para cumplir con las condiciones necesarias debería ser como mínimo igual a 22 mm. Con este valor se escoge la manguera comercial de 25 mm mostrada en la Figura 2.16, como se muestra a continuación:

MANGUERA G-1005

Tubo ligero, construido sobre mandril, para impulsión de agua a baja presión, especialmente recomendado en tareas de riego y limpieza en general.
Susceptible de ser enrollado plano para facilitar su manejo y almacenaje.



LEHENGOAK S.A.

Composición

Tubo interior: Caucho SBR negro.

Refuerzo: Textil de alta tenacidad.

Cubierta exterior: Caucho SBR / EPDM negro. Impresión tela fina.

Longitudes de fabricación: 40 m. hasta el diámetro 102 mm.

Gama de temperatura: De -25° a 70° C.

mm	"	mm	"	bar	psi	bar	psi	kg/m
15	5/8	22	7/8	6	85	18	260	0,36
20	3/16	27	1 1/16	6	85	18	260	0,45
25	1	32	1 1/4	6	85	18	260	0,48
30	1 3/16	37	1 7/16	6	85	18	260	0,56
35	1 3/8	42	1 11/16	6	85	18	260	0,73
40	1 9/16	47	1 7/8	6	85	18	260	0,83
45	1 3/4	52	2 1/16	6	85	18	260	0,92
50	2	57	2 1/4	6	85	18	260	1,01
60	2 3/8	67	2 5/8	6	85	18	260	1,19
70	2 3/4	77	3 1/16	6	85	18	260	1,38
75	3	82	3 1/4	6	85	18	260	1,50
80	3 3/16	87	3 1/2	6	85	18	260	1,59
90	3 9/16	97	3 15/16	6	85	18	260	1,77
100	4	107	3 5/16	6	85	18	260	1,97

Otros diámetros, longitudes y características a consultar. FABRICAMOS TODO TIPO DE MANGUERAS ESPECIALES

Figura 2. 16: Tablas comerciales de mangueras para riego. Fuente: Lehengoak [56]

2.3.2.3 Soporte para tanque y manguera

La estructura de soporte está hecha de Aluminio A6061. El proceso que se realiza para su obtención consta de doblados y la realización de agujeros para su fijación en la base del SUMMIT XL. Esta se encuentra soldada a un soporte para la manguera, de esta forma se mantiene en una posición estable mientras se realiza el recorrido por los campos agrícolas. A continuación, en la Figura 2.17 se muestra el diseño del soporte.

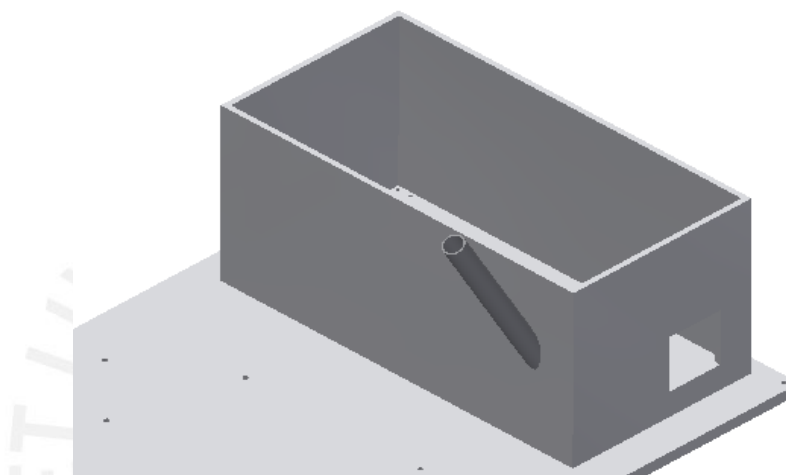


Figura 2. 17: Soporte para tanque y manguera. Fuente: Elaboración propia

2.3.2.4 Electroválvula

Se usará una válvula solenoide para controlar el paso del flujo de agua para el riego. La cual es un tipo de electroválvula de funcionamiento abierto/cerrado. Al pasar una corriente eléctrica a través de su bobina, se genera un campo electromagnético que tiene como efecto el accionamiento de la válvula.

En la selección de la electroválvula se considera el tipo de líquido que fluirá. También, se considera el tamaño del puerto, es decir, para que diámetro de acople a la manguera se usará la electroválvula. Existen dos tipos de configuraciones con normalidad cerrada y normalmente abierta. Las normalmente cerradas impiden el paso del flujo mientras no se le aplique un voltaje que le haga cambiar de estado. Por otro lado, el número de vías es importante a considerar antes de la elección de la electroválvula como también la presión mínima, la presión máxima y el caudal de trabajo.

En el sistema de riego el tipo de flujo que pasará será agua. El diámetro de acople es de $\frac{1}{2}$ ", el tipo de configuración que se usará es normalmente cerrado ya que solo se habilitará cuando el estado hídrico de la planta sea mayor a 0.3 para realizar el riego. Será de dos vías. La presión debe ser menor a 4 bar como se especificó en los requerimientos. A continuación, en la Tabla 2.5, se muestra la electroválvula escogida y sus principales características.

Tabla 2. 5: Características de opciones de electroválvula. Fuente: Elaboración propia.

Proveedor	Naylamp Mechatronics
Diseño	
Voltaje	12 V
Corriente de operación	0.6 A
Presión	0.02 – 0.8MPa
Tiempo de repuesta	Menor a 0.15 s (apertura) y Menor a 0.3s (cierre)
Dimensiones	60 x 85 x26 mm

2.4 Sistema Electrónico

El esquema de conexiones para el sistema de riego acoplado a la plataforma móvil consiste en la comunicación inalámbrica entre la plataforma computacional del SUMMIT XL y una computadora portátil, el módulo de sensores para la navegación autónoma y detección del estado hídrico, módulo de actuadores para el riego, plataforma computacional, el Arduino Mega, la interacción con el usuario y la fuente de alimentación. En la Figura 2. 18, se observa las conexiones de los componentes necesarios para cumplir los requerimientos presentados anteriormente. Asimismo, también se observan dos fuentes de alimentación donde la primera es la del SUMMIT XL y la segunda es del sistema que se desarrolló. El robot ya tiene un sistema de encendido mientras que para el sistema se colocará uno en la parte superior cerca de la caja electrónica, así ambos trabajan independientemente. En fin de lograr el funcionamiento para la presente tesis, se requiere que ambos botones estén encendidos

para que así el robot pueda desplazarse y realizar el reconocimiento del cultivo que necesite agua.

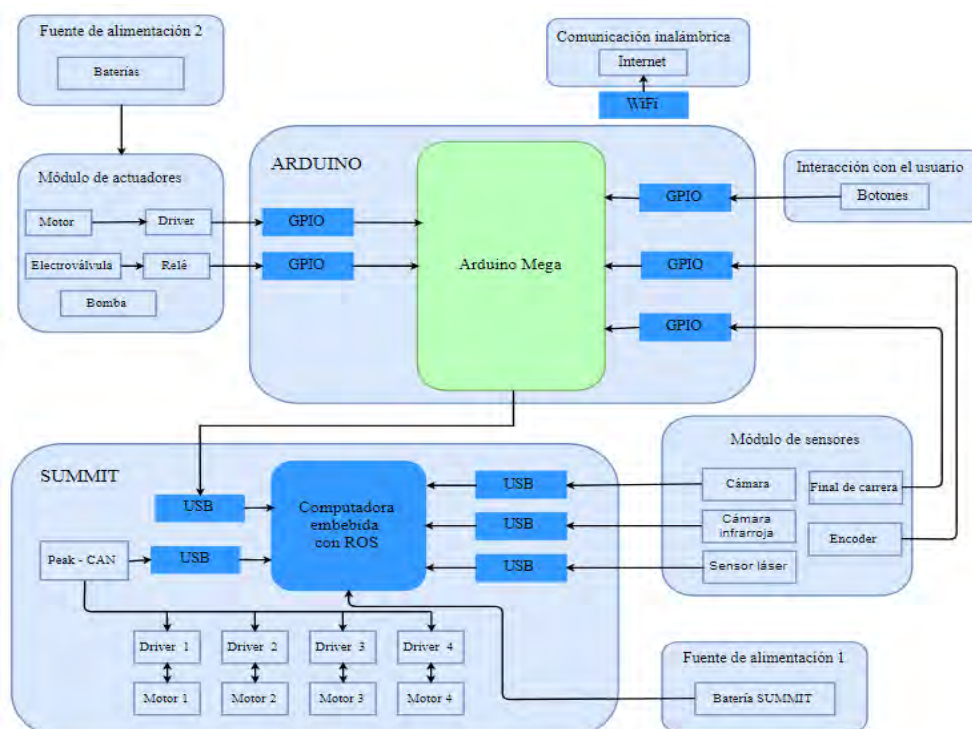


Figura 2. 18: Esquema de conexiones entre los componentes del sistema. Fuente: Elaboración propia

2.4.1 Módulo de sensores

El sistema está compuesto de cinco sensores una cámara infrarroja, cámara de visión un láser, sensor de final de carrera, un controlador para el motor y encoder. En el caso del encoder se usará el que ya viene integrado en el chasis Summit XL. El resto de los sensores que en conjunto permiten la autonomía del robot y la detección del estado hídrico de la planta, serán descritos a continuación, así mismo se seleccionará un sensor comercial que cumpla con los requerimientos mínimos que se encuentran en la descripción del sensor.

2.4.1.1 Cámara Infrarroja

La medición de la data para calcular el estado hídrico de la uva se hará mediante el uso de una cámara infrarroja. La cámara infrarroja se basa en la detección de la radiación infrarroja emitida por los cuerpos, en este caso las plantas. La información obtenida

del entorno lo convierte en imágenes visibles para el usuario. Luego de un procesamiento de imagen se puede determinar si la planta presenta estrés hídrico y por lo tanto necesita ser regada.

El sensor que se usará debe tener un grado de protección mayor o igual a IP55. Además, es necesario un campo de visión mínimo de 30 x 50 para analizar mejor la planta cuando se vuelva frondosa conforme va creciendo. En la Tabla 2. 6, se muestra una comparación de diferentes cámaras considerando su tamaño, campo de visión, resolución y frecuencia de imagen.

Tabla 2. 6: Características de opciones de cámara infrarroja. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Flir A35	Fotonic 3D Camera	PI 160
Diseño			
Tamaño	40 x 43 x 106 mm	80 x 80 x 86.3 mm	45 x 45 x 62
Resolución	336 x 256 pixeles	160 x 120 pixeles	160 x 120 píxel
Peso	0.200 kg	0,800 kg	0,195 kg
Campo de visión (h) x (v)	25° x 18.5°	70° x 53°	72° x 52°
Frecuencia de la imagen	60 Hz	15000 MHz	120 Hz
Clase de protección	-	IP 65	IP 67
Alimentación	24 V	24 V	5 V

De la Tabla 2. 6, se puede apreciar que todas las cámaras infrarrojas presentadas cumplen con el requerimiento de protección. La cámara PI 160 tiene menor tamaño, menor peso y mayor rango de visión en comparación al resto, pero tiene menor frecuencia en la toma de imágenes comparada con la cámara Fotonic 3D. La cámara seleccionada es la PI 160 por las ventajas mencionadas y porque no es necesaria una frecuencia tan alta como la que tiene la otra cámara.

2.4.1.2 Cámara de visión

El sistema autónomo requiere sensores para obtener data y en base a eso poder tener un recorrido correcto. Para ello, se requiere un sensor como una cámara con amplio rango de visión de 360° y con una protección mínima IP55. En la Tabla 2. 7, se muestra tres distintas opciones de cámara.

Tabla 2. 7: Características de opciones de cámaras de visión. Fuente: Elaboración propia

Nombre	360 Fly	Axis PTZ Camera	Key Mission 360
Diseño			
Peso	0.142 kg	2.5 kg	0.198kg
Tamaño	61 x 61 x 61 mm	217 x 188 x 188 mm	66.4 × 46.8 × 42.7 mm
Campo de visión (h) x (v)	360° x 240°	360° x 180°	360°
Alimentación	12 V	12 V	12 V
Clase de protección	IP 67	IP 66	IP 65

Las tres cámaras de visión cumplen con el nivel de protección necesaria para el sistema. La cámara 360 Fly presenta más ventaja en comparación al resto en peso, tamaño y campo de visión. Sin embargo, se escoge la AXIS PTZ debido a que esta cámara viene incluida con el precio del SUMMIT XL y ya cuenta con un soporte para su posicionamiento en la plataforma móvil.

2.4.1.3 Láser

Este sensor determina la distancia de los objetos que tenga cerca por medio de un láser. Calcula la distancia por medio del tiempo que transcurre desde la emisión de los pulsos de luz hasta la recepción de estos. Se usará para la navegación autónoma del robot. Como requisito deberá tener un rango de visión horizontal mayor a 180°.

Adicionalmente, se prefiere de tamaño mediano y de peso menor a 2 kilos. En la Tabla 2. 8, se muestra las características principales de los LiDAR considerados para la elección.

Tabla 2. 8: Características de opciones de LIDAR Fuente: Elaboración propia.

Nombre	URG-04LX-UG01	RP LIDAR A2 360°	Sweep
Diseño			
Voltaje	5V	5V	5V
Corriente	500 mA	200 mA	300 mA
Rango	5600 mm	6000 mm	40000 mm
Rango angular	240°	360°	360°
Resolución	+/- 30 mm	+/- 15 mm	+/- 0.01 mm
Resolución angular	0.352°	0.9°	1.4 -7.2 °
Dimensiones (largo x ancho x alto)	50 x 50 x 70 mm	75.7 x 75.7 x 40.8 mm	65 x 65 x 52.9 mm
Peso	0.160 kg	0.340 kg	0.120 kg
Precio	\$ 1,100	\$ 449	\$ 27,2990

De la Tabla 2.8, se observa que todos los sensores trabajan a 5V. De las opciones presentadas, el sensor RP LIDAR A2 tiene un mayor rango, consume menos corriente y su precio es menor al resto. Debido a sus ventajas y a que cumple con los requerimientos, se escoge este sensor.

2.4.1.4 Sensor de final de carrera

El sensor de final de carrera tiene dos estados NC, normalmente cerrado, y el NO, normalmente abierto, tiene una respuesta binaria, funciona como un relé. Para la selección de este componente se considerará su peso, tamaño y precio en el mercado.

Este sensor evitará que la carcasa de la cámara se dañe delimitando la posición final en el ascenso y descenso. En el sistema de elevación detallado en el diseño mecánico, se observaron dos sensores de final de carrera, uno será ubicado en la parte superior y otro en la parte inferior.

Tabla 2. 9: Características de opciones de sensor de final de carrera. Fuente: Elaboración Propia

Fabricante	MarkerBot	Getech	Chuang Zhuo
Diseño			
Voltaje	5V	5V	5V
Dimensiones	40 x 16 x 9 mm	45 x 16 x 8 mm	40 x 17x 12 mm
Peso	0.009 kg	0.004 kg	0.004 kg
Precio	\$ 1.99	\$ 4.16	\$ 3.74

De la Tabla 2. 9, se observa que el peso en los tres sensores de final de carrera es prácticamente despreciable. Por otro lado, el sensor de la marca MarkerBot tiene menores dimensiones y su precio es menor en comparación a los otros dos, ya que no se requiere tener en cuenta algún requerimiento en específico, se escoge ese modelo.

2.4.1.5 Driver motor DC

En el diseño mecánico del sistema, se mencionó anteriormente que se requiere el uso de un controlador para controlar el giro del motor DC perteneciente al mecanismo de elevación. Las especificaciones del controlador son definidas por el motor seleccionado. Por lo tanto, el voltaje de operación debe ser de 12V, la corriente máxima que deberá soportar es de 200 mA y su señal de control debe ser controlable por el microcontrolador. En la Tabla 2.10, se muestran los controladores comerciales más usados con sus características principales.

Tabla 2. 10: Características de opciones de controladores para motor DC. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Roboclaw 2x60 A	G2 High Power	VNH 5019
Fabricante	Ion Motion Control	Pololu	Pololu.
Diseño			
Voltaje	6 – 34 V	6.5 – 30 V	5.5 – 24 V
Corriente	60 A	25 A	12 A
Señales de control	USB, TTL, PWM	PWM	PWM
Dimensiones	86.36 x 99.06 x 35.56 mm	33.02 x 20.32 mm	65.02 x 51.3 x 9.65mm
Peso	0.205 kg	0.005 kg	0.018 kg
Precio	\$ 200	\$ 40	\$ 49.95

De la Tabla 2. 10, todos los controladores para el motor DC tienen señales de control compatibles con la mayoría de los microcontroladores y embebidos. Además, cumplen con los requerimientos de corriente y voltaje de operación. Por lo que cualquiera de ellos podría ser seleccionado. Se escoge el VNH 5019 debido a que su precio es moderado y consume menos corriente que el resto.

2.4.2 Plataforma computacional

La plataforma computacional del sistema está compuesta por la computadora embebida del SUMMIT XL y un microcontrolador que permita interactuar con la plataforma móvil. Este microcontrolador debe poder interconectarse con diversos dispositivos ya sea por medio de USB o por sus pines GPIO. Además, debe poder interactuar el sistema operativo de robótica (ROS). En la Tabla 2. 11, se muestra tres opciones distintas de microcontroladores con sus características más importantes.

Tabla 2. 11: Opciones de microcontroladores. Fuente: Elaboración propia

Nombre	Arduino Mega	Arduino Uno	Arduino Zero
Diseño			
Microcontrolador	ATmega 2560	ATmega 328P	32 –Bit ARM Cortex M0+
Voltaje	5V	5V	3.3V
Corriente	20 mA	20 mA	7 mA
Clock	16 MHz	16 MHz	48 MHz
Flash	256 kB	32 kB	256 kB
RAM	8 kB	2 kB	32 Kb
EEPROM	4 kB	1 kB	-
Pines	54	14	20
PWM	15	6	18
Periféricos	CSI, DSI, SPI, I2C, HDMI	HDMI, UART, PWM, SPI, I2C, CAN	HDMI, SPI, I2C

Los controladores mostrados pueden trabajar con ROS, sistema operativo con el cual funcionará el sistema. De los microcontroladores presentados, el Arduino Zero es más potente, cuenta con un procesador ARM y tiene mayor memoria RAM. Sin embargo, se alimenta con 3.3 voltios lo que significaría el uso de un conversor para su alimentación. Entre el Arduino Mega y el Arduino Uno, ambos son compatibles con el voltaje de alimentación igual a 5 voltios. Pero el primero tiene una mayor cantidad de pines (54 pines lógicos) y una mayor cantidad de memoria FLASH, RAM y EEPROM comparado con el segundo. Por otro lado, la velocidad de procesamiento del Arduino Mega es menor al Arduino Zero. Sin embargo, se escoge el Arduino Mega ya que el sistema no realizarla un procesamiento de alto nivel con el microcontrolador.

El Arduino Mega interactuará con el embebido del SUMMIT XL, la Jetway NF9QU, que posee un procesador de cuarta generación Intel con 4 GB de RAM. Además, cuenta con 3 puertos USB y 6 puertos más expandibles. Las principales características del computador embebido del SUMMIT XL se muestran en la Tabla 2. 12.

Tabla 2. 12: Características principales del controlador del SUMMIT XL. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Jetway NF9QU
Diseño	
Procesador	Intel Core i5
Núcleos	5
SD externa	No
USB 2.0	1
GPIO	1
Periféricos	HDMI, RS232

2.4.3 Comunicación inalámbrica

El sistema tiene la capacidad de comunicarse de forma inalámbrica con una computadora personal para que el usuario pueda observar la data en tiempo real. Para ello, se emplea la red WiFi que cuenta el SUMMIT XL. En la Tabla 2. 13, se muestra las características principales del router.

Tabla 2. 13: Características principales del router. Fuente: Elaboración propia

Estándar inalámbrico	IEEE 802.11n
Velocidad de transferencia	450 Mbps
Frecuencia de operación	2.4 – 2.4835 GHz
Dimensiones (ancho x largo x alto)	225 x 141 x 30 mm

2.4.4 Cálculos electrónicos

En esta sección, se detallan los cálculos realizados para poder determinar la fuente de energía a usar de acuerdo con el consumo de los componentes electrónicos y el tiempo mínimo de funcionamiento.

Los actuadores del sistema serán alimentados por una batería externa que se seleccionará a partir de los cálculos del consumo de corriente de estos. Los sensores usados para la navegación autónoma como para la detección del estado hídrico serán alimentados por la batería del SUMMIT XL. A continuación, se muestra los consumos de corriente y potencia para cada dispositivo electrónico empleado en el sistema mecatrónico

Tabla 2. 14. Consumo de corriente de los componentes electrónicos. Fuente: Elaboración propia.

Cantidad	Componente	Voltaje	Corriente	Potencia	Alimentación
1	Arduino Mega	5V	20 mA	0.1 W	Batería SUMMIT
1	Sensor de voltaje	5V	40 mA	0.2 W	Batería externa
1	Cámara Infrarroja	5V	500 mA	2.5 W	Batería SUMMIT
1	Cámara Axis	12V	1780 mA	21.36 W	Batería SUMMIT
1	LiDAR	5V	200 mA	1 W	Batería SUMMIT
1	Motor DC	12 V	200 mA	2.4 W	Batería externa
1	Encoder	5V	10 mA	0.05 W	Batería SUMMIT
2	Sensores de final de carrera	5V	4 mA	0.02W	Batería SUMMIT
1	Electroválvula	12V	250 mA	3 W	Batería externa
1	Back pack sprayer	6 V	1000 mA	6W	Batería externa

De la Tabla 2.14, se observa que el voltaje para la batería externa es de 12V y 6V. Por ello, se deberá uniformizar estos valores para obtener el valor total de corriente a utilizar.

$$\text{Suma } I_{6V} = 1000 \text{ mA}$$

Suma $I_{12V} = 450 \text{ mA}$

Uniformizando la corriente de 6V a 12V.

$$I_{(6V \rightarrow 12V)} = (1000 \times 6)/12 = 500 \text{ mA}$$

$$I_{\text{TOTAL}} = 450 + 500 = 950 \text{ mA}$$

De acuerdo con el requisito del sistema mecatrónico para riego, se detalló que se requiere un funcionamiento de tres horas, por lo tanto:

$$I = 950 \text{ mA} \times 3 \text{ h} = 2850 \text{ mAh}$$

Por otro lado, los sensores serán alimentados por la batería del SUMMIT XL, la cual está compuesta por 16 células LiFePO₄. El voltaje nominal de cada célula es de 3.2V y con una corriente nominal de 15000 mAh.

2.4.5 Alimentación del sistema

La alimentación se realizará por medio de baterías por lo tanto primero se seleccionará el tipo de batería Ni-Cd, Plomo-ácido o LiPo. A continuación, se describirá la característica más relevante de cada una. Las baterías Ni-Cd poseen el efecto memoria que afecta al proceso de descarga ya que este se acelera después de cada carga. Por otro lado, las baterías de Plomo-ácido son pesadas y altamente contaminantes, por lo que dado que se busca un impacto ambiental positivo éstas quedan descartadas. Por último, las baterías LiPo tienen una alta densidad de carga por menos peso. Las desventajas de este tipo de batería es que no se debe descargar a un valor menor del que está recomendado en la hoja de datos y no debe sufrir choques fuertes, para evitar que se produzca un desperfecto. Después de analizar, las ventajas y desventajas de cada una, se selecciona las baterías LiPo a pesar de sus inconvenientes, dado que el sistema contará con un medidor de voltaje, que emitirá una alarma cuando las baterías se estén acercando a su nivel más bajo de carga recomendado, así mismo el estado de la batería se mostrará en la aplicación que el usuario podrá acceder, la cual se detallará en la experiencia de usuario. Asimismo, por fines de seguridad si es que el nivel de batería se encuentra muy bajo se procederá automáticamente el apagado para evitar daños en las baterías o equipo.

Luego de seleccionar el tipo de batería se procede a escoger la batería con los requerimientos técnicos detallados con anterioridad, donde se debe tener en cuenta que el voltaje de operación que se necesita para alimentar los actuadores es de 12V y la corriente mínima necesaria es de aproximadamente 3000 mAh. Dada las características mencionadas, se optó por escoger la batería que se muestra en la Tabla 2.15. Por otro lado, es importante mencionar que para alimentar a la bomba para el riego se requiere un voltaje de 6V por lo que se contempla usar un regulador en el sistema para brindar el voltaje correcto.

Tabla 2. 15: Características de la batería seleccionada. Fuente: Elaboración propia.

Nombre	Multi – Rotor Lipo 4S
Diseño	
Capacidad	4000 mAh
Celdas	4
Voltaje de operación	14.8 V
Peso	32 g
Tamaño (largo x ancho x alto)	112 x 34 x 40 mm

2.4.6 Diagrama esquemático

En el diagrama esquemático del sistema, se elaboró en el software Eagle. En este diagrama se detallan los sensores y los elementos electrónicos que se han descrito con anterioridad y que son necesarios para el funcionamiento del sistema mecatrónico. El esquema interno de funcionamiento de cada componente se detalla en su hoja de datos, datasheet que se encuentre en el Anexo B del documento. A continuación, en la Figura 2.19, se observa los componentes que irán en la tarjeta que se creará.

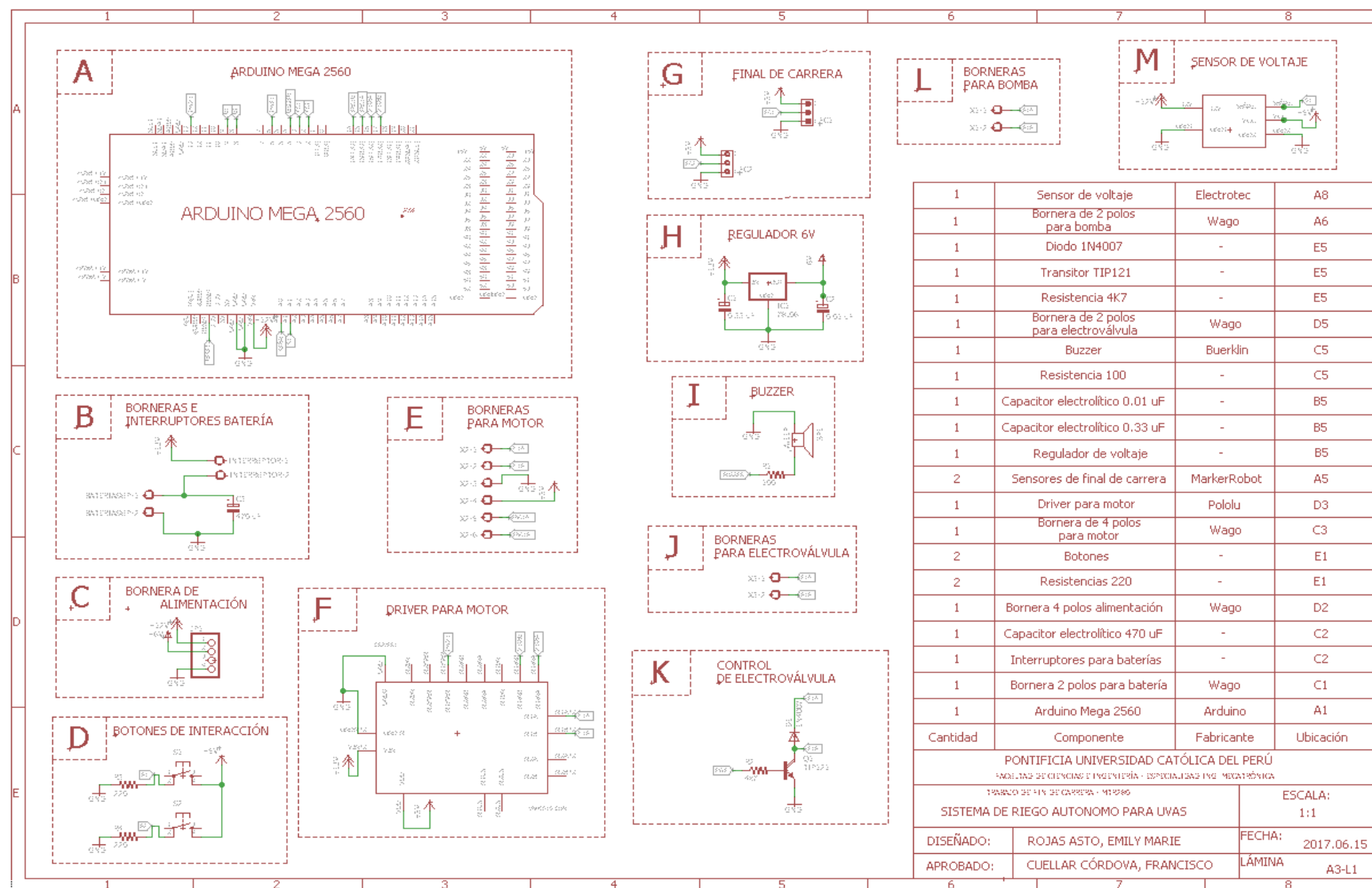
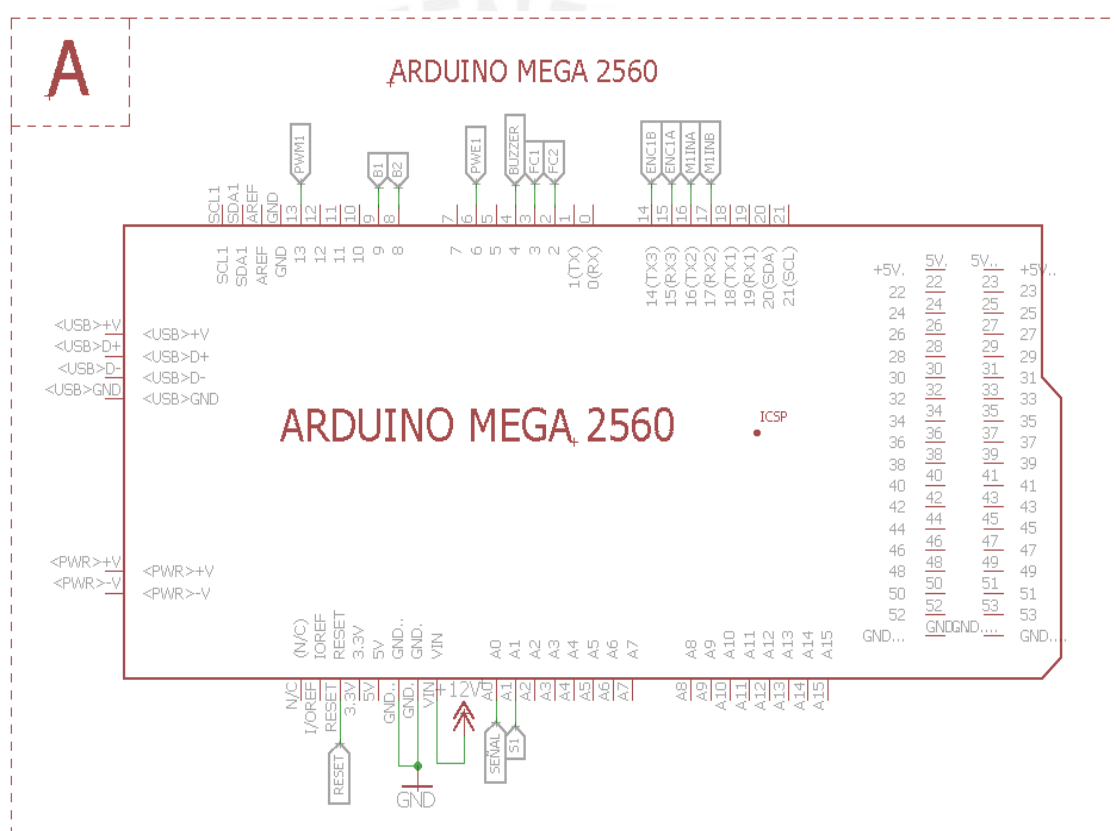


Figura 2. 19 Esquemático de la tarjeta para el desplazamiento de la cámara. Fuente: Elaboración propia

2.4.5.1 Tarjeta controladora

El módulo que se encargará de controlar el movimiento del motor y el accionamiento de la electroválvula es la tarjeta de Arduino Mega. Entre sus características principales esta que su voltaje de operación es de 5V, tiene un Clock de 16 MHz, posee 54 pines GPIO y 15 PWM. Para su alimentación e intercambio de data se conectará por vía USB al Jetway. Recibirá la información del entorno y los resultados de procesamiento a través de los tópicos publicados por la placa computacional del SUMMIT XL. En la Figura 2. 20, se observa las conexiones al Arduino Mega.



sensores conectados al Arduino Mega. En la Figura 2. 21, se muestra su presentación en el esquemático.

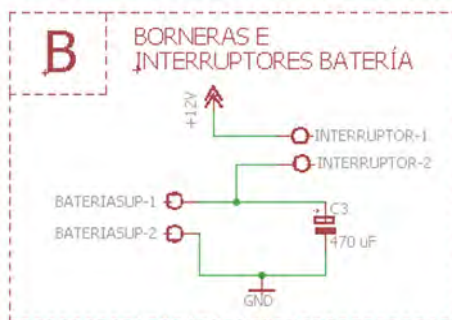


Figura 2. 21: Borneras e interruptores batería. Fuente: Elaboración propia.

2.4.5.3 Borneras de alimentación

Las borneras de alimentación de 4 polos se encargarán de alimentar a los componentes del sistema según su voltaje de operación 6V o 12V. Proviene de la batería y la salida del regulador. En la Figura 2. 22, se muestra su presentación en el esquemático.

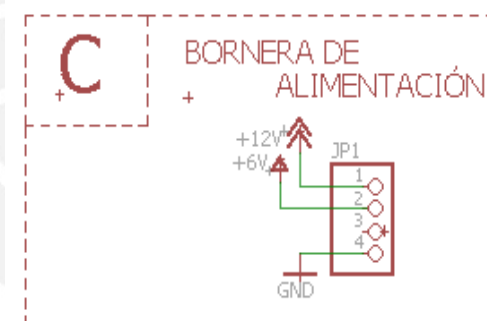


Figura 2. 22: Borneras de alimentación. Fuente: Elaboración propia

2.4.5.4 Borneras para motor

Las borneras sirven para conectar los pines del motor y encoder al Arduino para su alimentación y control. El encoder se alimenta de 5V y está conectado a un pin PWM del Arduino para controlar su velocidad. El motor solo cuenta con dos pines para su alimentación. En la Figura 2. 23, se muestra su presentación en el esquemático.

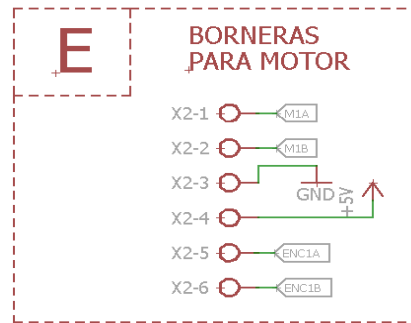


Figura 2. 23: Borneras para motor. Fuente: Elaboración propia

2.4.5.5 Driver para motor

En los cambios de giro horario a antihorario y viceversa del motor DC se usará el controlador VNH5019. El cual se encuentra alimentado por la fuente y las señales de entrada provienen del Arduino Mega 2560. De esta forma, se controlará el ascenso y descenso de la cámara infrarroja. El fabricante del controlador es POLOLU al igual que el del motor. En la Figura 2. 24, se muestra su presentación en el esquemático.

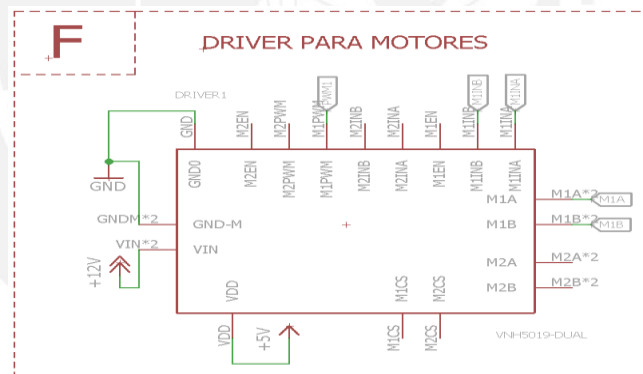


Figura 2. 24: Conexiones del controlador para motores. Fuente: Elaboración propia

2.4.5.6 Control de altura

La cámara tiene dos posiciones uno en la base del SUMMIT XL y otro 40 cm arriba de la base. Para seleccionar, la posición de la cámara que permitirá un mejor análisis del estado hídrico de las uvas, el usuario seleccionará una de estas dos posiciones antes de que el robot empiece su recorrido. Para ello, se usarán dos botones uno indicará el ascenso de la cámara y otro el descenso. También se usará, dos sensores de final de carrera para detener el motor cuando llegue a la posición superior o inferior. A

continuación, se muestra los diagramas esquemáticos de los botones de interacción y de los sensores de final de carrera. En la Figura 2. 25, se muestra su presentación en el esquemático.

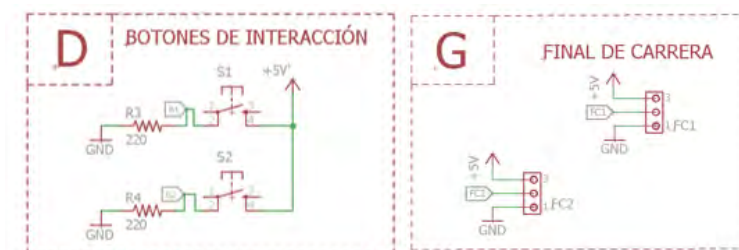


Figura 2. 25: Esquemático para control de altura. Fuente: Elaboración propia.

2.4.5.7 Sensor de voltaje

El monitoreo del voltaje de la batería se hará con un sensor de voltaje. El funcionamiento de este sensor es similar al de un divisor de voltaje solo que al ser un componente fabricado posee mayor eficiencia y facilita las conexiones. Cuando el nivel de batería sea menor al requerido por el sistema 12V se enviará una señal al microcontrolador para que active el buzzer. En la Figura 2. 26, se muestra su presentación en el esquemático.

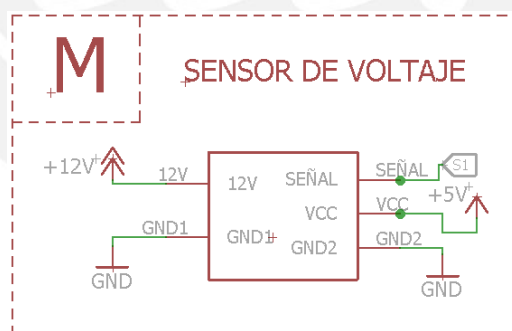


Figura 2. 26: Esquemático del sensor de voltaje. Fuente: Elaboración propia.

2.4.5.8 Buzzer

Se usará un Buzzer que se activará cuando el nivel de voltaje sea menor a 12V. Así, el usuario será notificado mediante un sonido que el nivel de voltaje es menor al requerido por el sistema y que se necesita recargar las baterías. El buzzer cuenta con dos polaridades una negativa y otra positiva. Usualmente y por recomendación del

fabricante se usa una resistencia de 100 ohmios entre su pin positivo y la fuente de alimentación de 5 V. El esquemático del Buzzer se muestra en la Figura 2. 27.

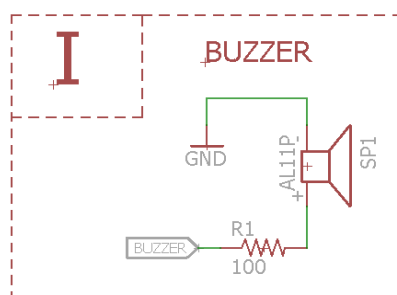


Figura 2. 27: Esquemático de buzzer. Fuente: Elaboración propia.

2.4.5.8 Regulador de 6V y borneras para bomba

El sistema empleará una mini bomba de diafragma para el riego. En la Figura 2. 28(a), se muestra el esquemático de las borneras para su alimentación. El voltaje de operación de esta mini bomba es de 6V. Por ello, se hace uso de un regulador de 12V a 6V. El esquemático de este se muestra en la Figura 2. 28(b).

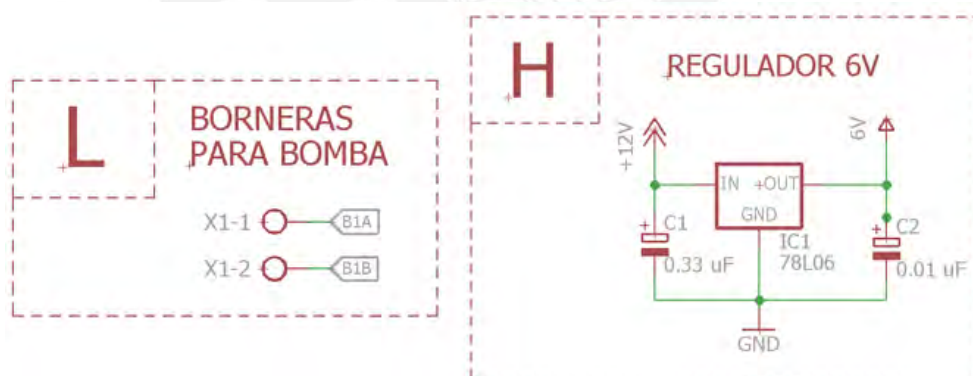


Figura 2. 28: Bornera para bomba y (b) Regulador a 6V. Fuente: Elaboración propia

2.4.5.9 Borneras y control para electroválvula

Las borneras de electroválvula estarán conectadas a 12V y GND para su alimentación. Para el control de la electroválvula se usa una resistencia conectada a un pin digital del Arduino, un transistor TIP121 y un diodo de protección. Se usa un transistor ya que la señal que da el Arduino es baja (40 mA) a comparación de la electroválvula que es más de 10 veces. Su uso evita que el Arduino Mega se queme. El diodo 1N4007 se usa

para proteger al transistor bloqueando el paso de la corriente inversa cuando la bobina se descarga. En la Figura 2. 29, se muestra su presentación en el esquemático.

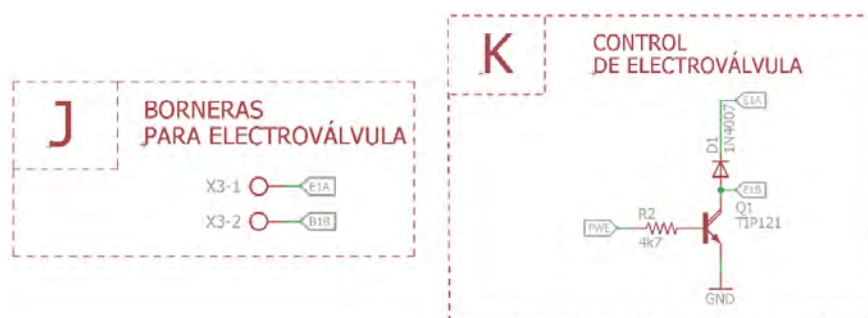


Figura 2. 29: (a) Borneras para electroválvula y (b) Control de electroválvula. Fuente: Elaboración propia.

2.5 Sistema de control

El sistema de control es fundamental en el diseño mecatrónico debido a que mediante la data obtenida por sensores se determina la acción que se realizará ya sea realizar el riego, esquivar un obstáculo para que el móvil se siga desplazando correctamente, entre otras que se verá en detalle a continuación.

2.5.1 Arquitectura de control

En la Figura 2.30, se muestra el diagrama de la arquitectura de software del sistema de control general para la autonomía del vehículo, el control de la elevación de la cámara y el riego. El diagrama permite apreciar la relación entre los dispositivos físicos del sistema y los algoritmos asociados que en conjunto se encargarán del adecuado funcionamiento del sistema. Para el control existen tres niveles inferior, medio y superior. En el inferior están las conexiones entre los sensores y actuadores a los controladores, en la imagen se puede ver esta sección como riego. En el nivel medio están los algoritmos que realizarán la obtención de data y procesamiento de esta, esto se ve en la sección de análisis. Finalmente, en el nivel superior se realiza la navegación autónoma. Además, de la activación del actuador para realizar el riego si es necesario. En esta sección no se observa la comunicación del sistema con Android, dado que eso se considera en la experiencia del usuario que será detallada posteriormente.

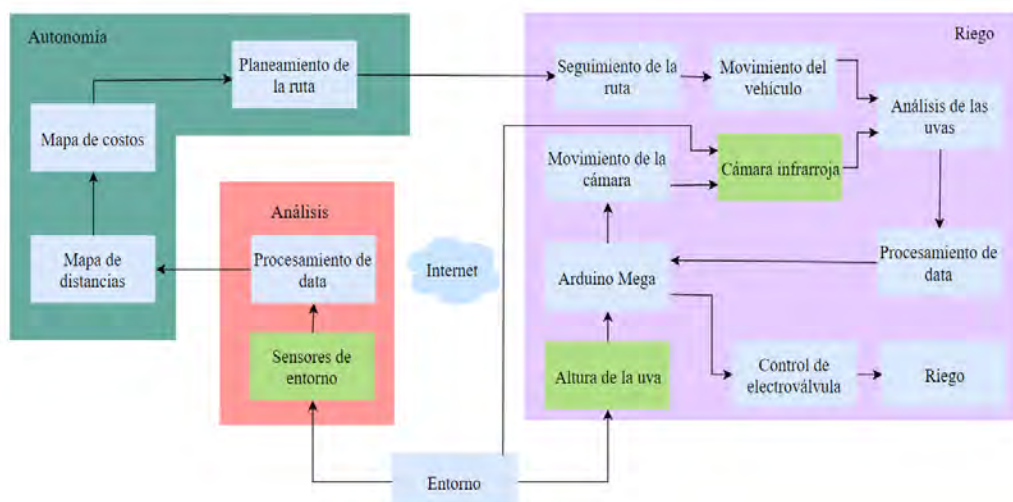


Figura 2. 30: Esquema de diagrama de control. Fuente: Elaboración propia.

La lógica empleada para el funcionamiento del sistema mecatrónico será implementada en la placa computacional Jetway y el Arduino Mega. Ambos trabajarán con ROS, se puede trabajar con dos tipos de lenguaje principalmente C++ y Python. En la Tabla 2.16, se muestra un comparativo de estos dos lenguajes para poder seleccionar el adecuado:

Tabla 2.16: Comparativo Python vs. C++. Fuente: The Construct [57]

Ventajas		Desventajas
Python	- Fácil construcción de prototipos. - Gran cantidad de bibliotecas. - Programas cortos para cosas complejas. - Fácil detección de bugs.	- Funciona más lento dado que Python es un lenguaje interpretado.
C++	- Ejecución rápida. - Se detecta errores en el tiempo de compilación, en lugar del tiempo de ejecución.	- Depuración de errores compleja. - Una pequeña demostración requiere mucho código.

De acuerdo con las ventajas y desventajas de ambos lenguajes de programación, se escoge Python y se instalará rospy librería que se maneja en ROS para trabajar con ese lenguaje. A continuación, en la Figura 2. 31, se muestra el diagrama de flujo del programa principal que empieza con la configuración inicial y lectura de los sensores.

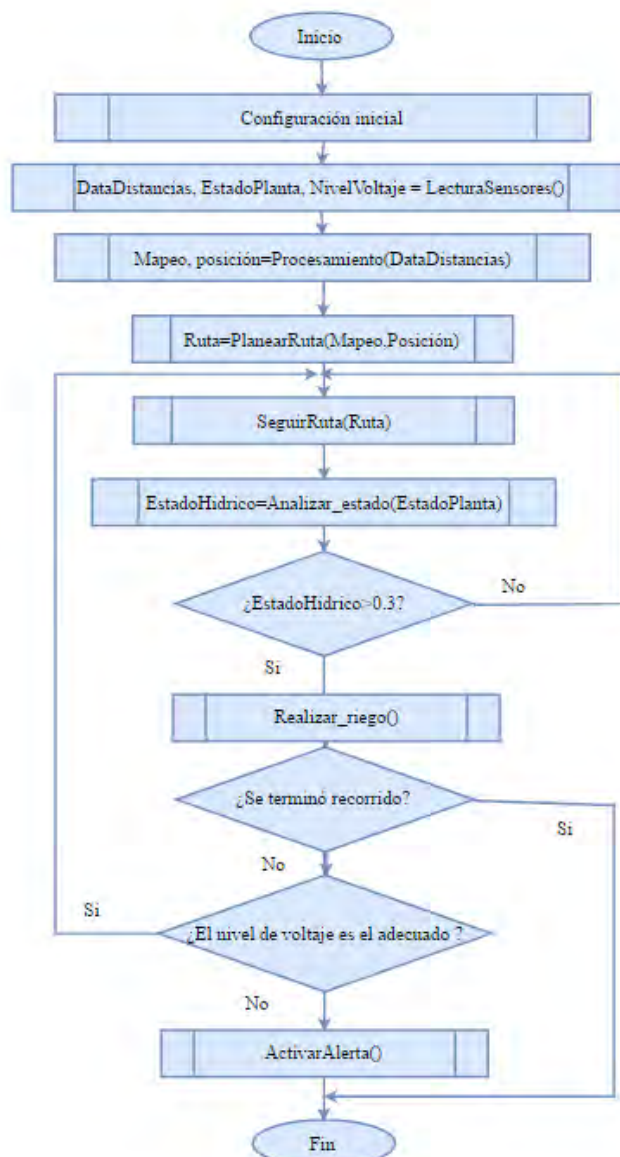


Figura 2. 31: Flujo general de control. Fuente: Elaboración propia.

2.5.2 Implementación con ROS

El sistema operativo que se eligió fue Linux Ubuntu en su versión 14.04 donde se instaló ROS. Este es un meta sistema operativo de código abierto usado en la robótica ya que la base central no requiere mucho espacios y recursos. Además, se puede integrar con varios tipos de robots y cuenta con una gran variedad de paquetes, entre otras ventajas se puede comunicar fácilmente con Python y otros lenguajes como C++. En primer lugar, se instaló ROS en Ubuntu, luego se procedió a instalar los paquetes de Summit XL, Rviz y gazebo, para poder empezar a trabajar en la lógica. Los siguientes pasos fue revisar los tópicos que existían por cada paquete y así seleccionar

los que se podrían usar en la implementación. En la revisión mencionada, se observó que los paquetes que más se usan en la navegación autónoma son los que se muestran en la Figura 2.32. En el caso de la tesis, no se tendría un mapa detallado dado que el robot no se moverá en un área conocida. Por ello, se usará el paquete `acml`, para de acuerdo a la data obtenida por los sensores se pueda formar un mapa y un camino por donde el robot se dirigirá.

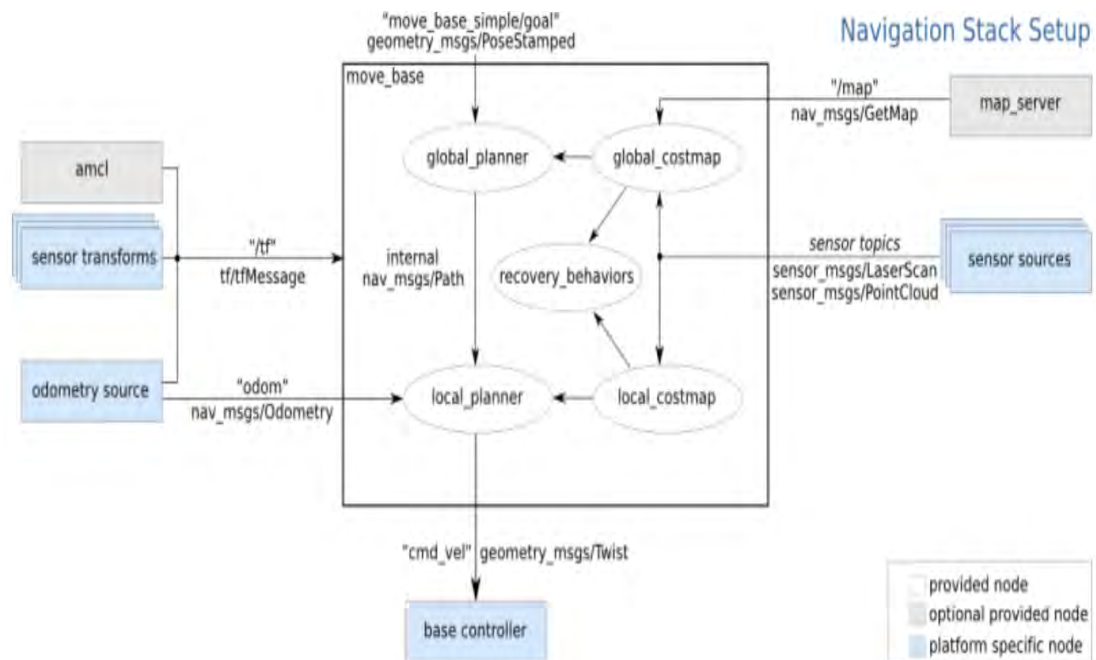


Figura 2.32: Paquetes más usados en navegación autónoma. Fuente: ROS [58]

2.5.3 Autonomía

La autonomía se realiza en el nivel medio y el nivel superior del sistema de control. En el nivel medio, se procesa la data del entorno en tiempo real obtenida por la cámara y el LIDAR. El resultado del procesamiento de la data permite generar líneas que servirán al robot como camino. Ambos sensores se complementan ya que la data de la cámara es relevante cuando los cultivos sean verdes y estén a una altura menor a 45 cm. Si la altura es mayor se hace uso de la data del LIDAR. El procesamiento de la cámara permite detectar las líneas de cultivo. En la Figura 2.33, se muestra el diagrama de flujo para la detección de las líneas de cultivo.

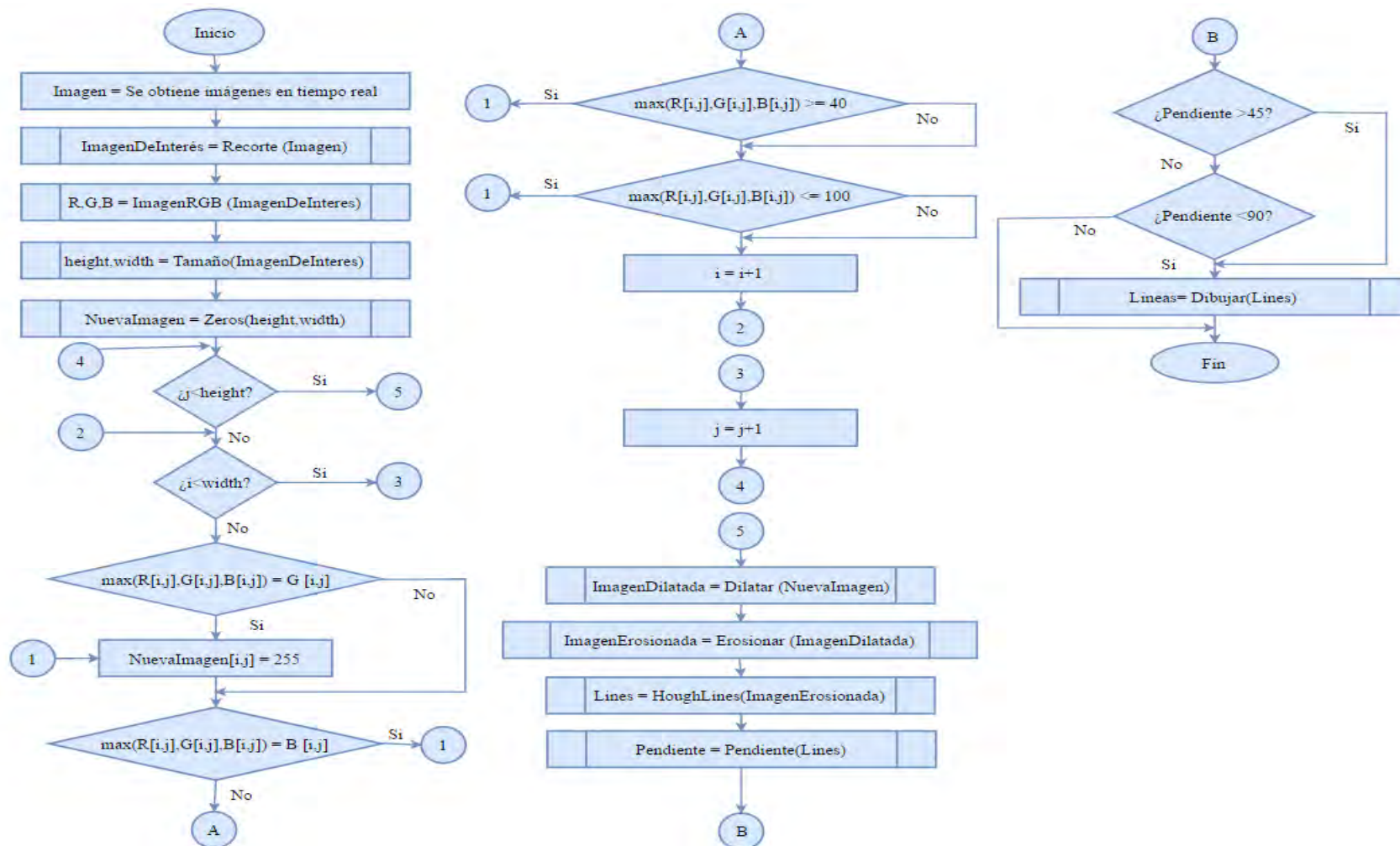


Figura 2. 33: Diagrama de flujo para la detección de las líneas de cultivo. Fuente: Elaboración propia.

En la Figura 2. 34, se muestra el resultado de la programación para detectar las líneas de cultivo. En primer lugar, se obtiene la imagen del exterior como se muestra en la Figura 2. 34(a). Luego de obtener la data, se elimina la información irrelevante de las imágenes que se obtiene cortando la tercera parte superior de la imagen que representa el horizonte. El resultado de esta operación se muestra en la Figura 2. 34(b). Posteriormente, se realiza la binarización de la imagen según el método de índices espectrales de Ribeiro, explicado en el marco teórico. El efecto de la binarización es colocar a blanco las líneas de cultivo y el resto de la imagen en negro, como se muestra en la Figura 2. 34(c). Hecho esto, se procede a detectar las líneas de cultivo usando la transformada de Hough explicada en el primer capítulo. Inicialmente, la identificación de líneas no es óptima ya que algunas líneas detectadas por el programa no pertenecen a las líneas de cultivo. Por ello, se restringe la pendiente de las líneas, considerando solo ángulos entre 45° y 90° . El resultado final se muestra en la Figura 2. 34(d), donde las líneas de cultivo que han sido detectadas están resaltadas de color lila.



Figura 2. 34: Resultado de detección de líneas de cultivo. (a) Imagen original. (b) Recorte de la imagen de interés. (c) Imagen después de la binarización, erosión y dilatación. (d) Resultado final.

Fuente: Elaboración propia

Como se mencionó, este resultado es relevante cuando los cultivos sean verdosos y se encuentren en sus primeras etapas de crecimiento. Cuando los cultivos de uva tengan una altura mayor a 45cm se hace uso de la data del LIDAR. Obtiene la información del entorno por medio del uso de un láser. Por lo que en el campo de cultivos detectaría

donde se encuentran las plantas de uva por medio de la detección de sus troncos. A continuación, se muestra como el LIDAR observa a los objetos que se encuentran a su alrededor. En la Figura 2. 35 (a), se toma la data del entorno en un laboratorio del CETAM, centro de tecnologías avanzadas en manufactura y en la Figura 2. 35 (b), se muestra en RVIZ como el sensor detecta a los objetos cercanos y los representa como puntos rojos. Los puntos rojos que pertenecen a un mismo objeto o se encuentran ubicados en un plano paralelo son detectados como puntos rojos consecutivos.

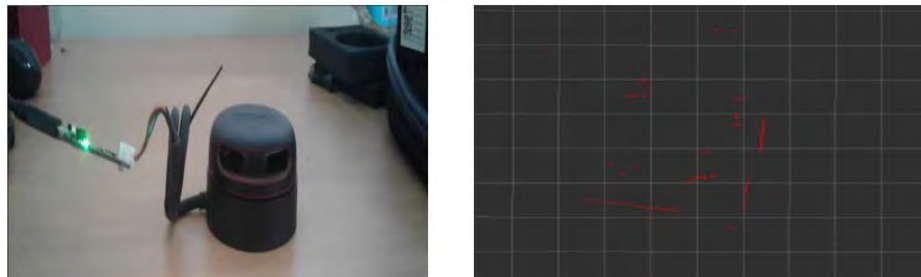


Figura 2. 35: Prueba con RPLIDAR (a) Toma de data RPLIDAR y (b) Resultado. Fuente: Elaboración propia.

Además, con la data del LIDAR se realiza el mapeo y la localización simultánea del robot en el mapa por medio del algoritmo SLAM que se detalló en el marco teórico. En la Figura 2.36, se muestra el diagrama de flujo para la navegación autónoma.

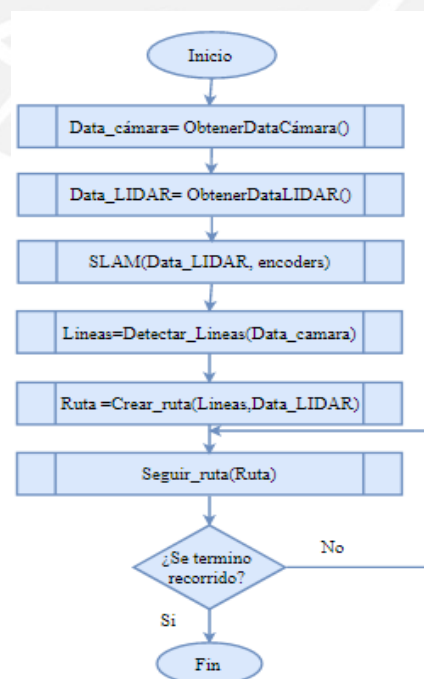


Figura 2. 36: Diagrama de flujo para navegación autónoma. Fuente: Elaboración Propia.

2.5.4 Control ascenso y descenso de la cámara

El funcionamiento para el control es el siguiente si se presiona el botón de subida y la cámara se encuentra en la posición baja, entonces subirá. Caso contrario, si se encuentra arriba y se presionó el botón se mantendrá en su posición actual. De manera análoga ocurre cuando se presiona el botón de bajada. El sistema sabe la posición en la que se encuentra la cámara por el estado activo o no del sensor de final de carrera. Este programa solo se ejecutará al inicio para la configuración de la altura de la cámara. En la Figura 2. 37, se muestra el diagrama de flujo del control.

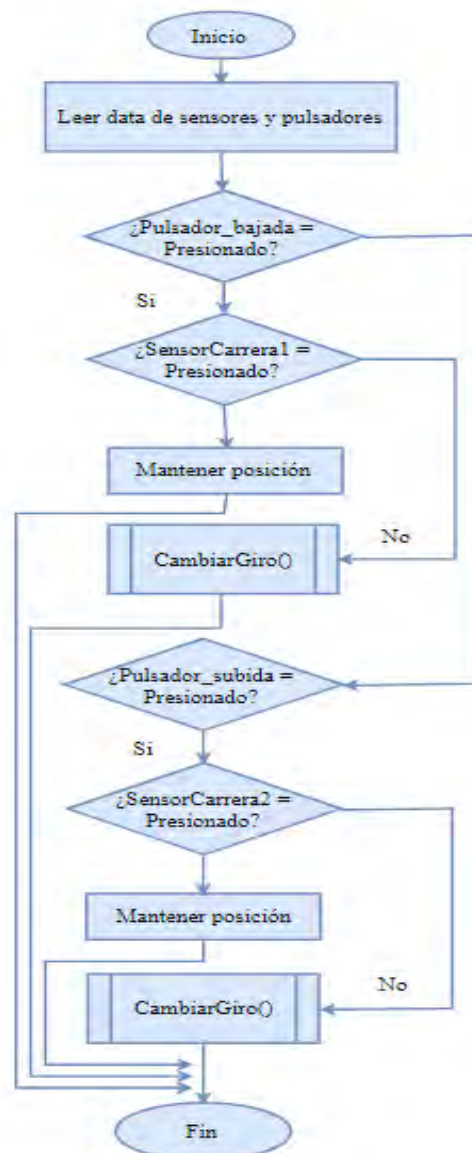


Figura 2. 37: Diagrama de flujo para control de ascenso y descenso de la cámara. Fuente: Elaboración propia.

2.5.5 Riego

El riego de las plantas se hará cuando la planta lo requiera, para ello se usará una cámara infrarroja mediante la cual se obtendrá la data que será analizada por el sistema. La cámara devuelve la temperatura de las plantas en tiempo real, esta temperatura es primordial para poder calcular el índice de estrés hídrico de la planta. Se calcula aplicando la siguiente formula en donde se normaliza los datos de temperatura de las uvas obtenidas por la cámara [59].

$$CWSI = \frac{T_c - T_w}{T_s - T_w} \dots (a)$$

Donde:

Tc: Temperatura media de la superficie de la transpiración (temperatura real medida por la cubierta iluminada) °C

Tw: Temperatura de referencia de las hojas húmedas (no estresadas) °C

Ts: Temperatura de referencia de las hojas secas (estresadas) °C

Las temperaturas de referencias para las hojas húmedas y secas son datos de entrada, para el cultivo de uvas en Ica la Tw = 25°C y la Ts= 30°C. Conociendo estos parámetros ya se tiene todos los valores necesarios para hallar el estado hídrico de la uva. Y siguiendo con la teoría presentada en el capítulo 1, se activará la electroválvula para que se realice el riego de la uva si el nivel de estrés hídrico es mayor a 0.3. A continuación, se muestra la Figura 2.38 con el diagrama de flujo para el riego.

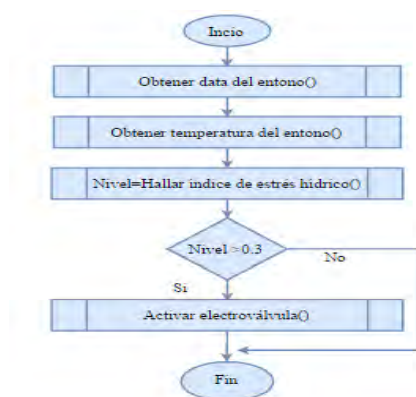


Figura 2. 38: Diagrama de flujo para el riego. Fuente: Elaboración propia

2.6 Experiencia de Usuario

La experiencia del usuario es importante para poder conseguir el éxito del proyecto. Por tal motivo se ha desarrollado un aplicativo móvil donde el usuario podrá tener acceso a indicadores claves y algunas recomendaciones útiles sobre el riego de sus cultivos. A continuación, se mostrará el detalle de la interfaz de usuario desarrollada en la plataforma de Figma.

2.6.1 Inicio

La aplicación tendrá las funciones básicas como el registro, login y reseteo de contraseña. Cualquier usuario podrá descargar la aplicación, pero solo aquellos que cuenten con el robot podrán registrarse y acceder a todas las funcionalidades. En la imagen Figura 2.39 se observa las funcionalidades indicadas líneas arriba.

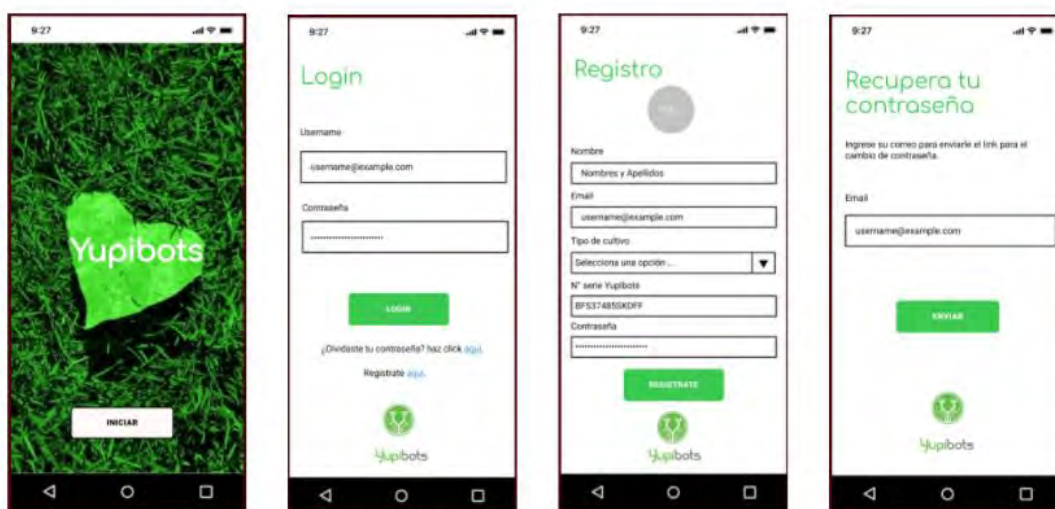


Figura 2.39: Prototipo de aplicación móvil. Fuente: Elaboración propia

2.6.2 Funcionalidades disponibles

Una vez registrado el usuario, le aparecerá una bienvenida con las funcionalidades disponibles como se muestra en la Figura 2.40. Además, se observa que en el lado derecho inferior existe un asistente para soporte en caso el usuario tenga una consulta respecto al aplicativo.



Figura 2.40: Prototipo de aplicación móvil, sección Principal. Fuente: Elaboración propia

2.6.2.1 Perfil

En la sección de perfil, se mostrará la información básica del agricultor como se muestra a continuación en la imagen Figura 2.41.



Figura 2.41: Prototipo de aplicación móvil, sección Mi Perfil. Fuente: Elaboración propia

2.6.2.2 Yupibots

En la sección de Yupibots, se mostrará la información básica de Yupibots como el estado de la batería, el código del producto, entre otros datos importantes como se muestra a continuación en la imagen Figura 2.42.

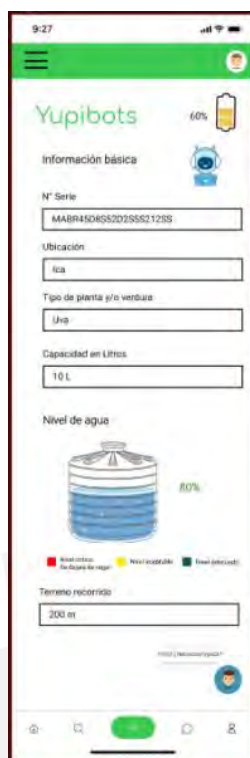


Figura 2. 42: Prototipo de aplicación móvil, sección Yupibots. Fuente: Elaboración propia

2.6.2.3 Consejos

En la sección de consejos, se brindará al agricultor algunas recomendaciones o datos para mejorar la calidad de la uva como se muestra a continuación en la imagen Figura 2.43.



Figura 2. 43: Prototipo de aplicación móvil, sección Consejos. Fuente: Elaboración propia

2.6.2.4 Soporte

En la sección de soporte, se brindará atención al agricultor sobre algunas consultas que pueda tener acerca de Yupibots, así como asesoría virtual en caso de consultas básicas como se muestra a continuación en la imagen Figura 2.44.

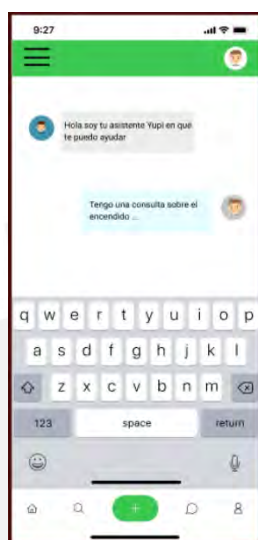


Figura 2. 44: Prototipo de aplicación móvil, sección Soporte. Fuente: Elaboración propia

2.6.3 Diagrama de interacción

El diagrama de secuencia muestra el detalle de la interacción que puede tener el usuario con las funcionalidades de la aplicación. Los componentes del diagrama de interacción son los siguientes; usuario, aplicación, API, base de datos y Yupibots. El usuario es quien interactuará con la aplicación y la aplicación es la parte visual que ve el usuario. La arquitectura que se usaría para la creación de los servicios englobados en la API, interfaz de programación de aplicaciones, es de tipo monolítica, es decir, se usa una base de código única para el desarrollo de los servicios recomendable para aplicaciones poco complejas y con baja cantidad de usuarios. La base de datos que se usará será MySQL, dado que es opensource, código abierto, y su uso es bastante sencillo, se almacenará los usuarios registrados de la plataforma con información básica y los consejos de los cuidados de las uvas. En cuanto a Yupibots, se está considerando el diseño del sistema mecatrónico, la comunicación con la aplicación se detallará líneas abajo. En la Figura 2.45, se encuentra el diagrama de interacción, donde se detalla los flujos principales de la aplicación como se muestra a continuación:

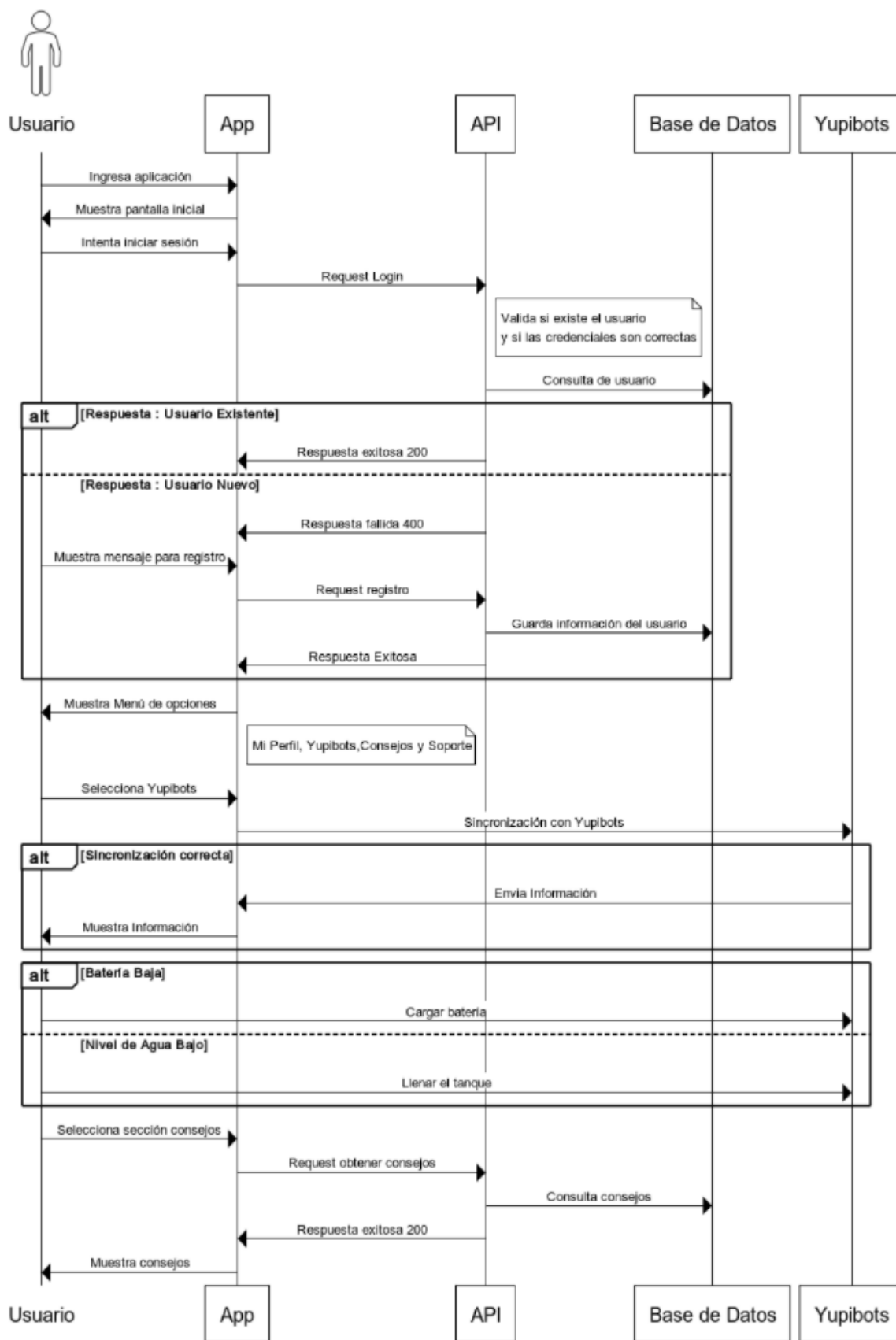


Figura 2. 45: Diagrama de secuencia. Fuente: Elaboración propia.

2.6.4 Aplicación integración

En el 90,6% de los hogares del Perú, existe al menos un miembro que tiene un celular, de acuerdo con un informe elaborado por la Instituto Nacional de Estadística e Informática (INEI) [60]. Los celulares se han vuelto indispensables para la población, dado que mediante distintas aplicaciones se puede realizar distintas tareas sencillamente. Por ello, se consideró contar con una aplicación móvil para dispositivos Android, donde el usuario pueda monitorear algunas funcionalidades básicas del sistema mecatrónico. La conexión de la aplicación con ROS se realizará mediante el paquete `android_core` soportado por `rojava`, basado en el repositorio oficial [61]. En la Figura 2.46, se muestra la comunicación entre estos dos softwares, cuando el usuario ingrese a la sección Yupibots, se realizará una petición a ROS para que se pueda obtener la data necesaria para luego ser mostrada en la aplicación. La aplicación se conecta primero con el robot Yupibots, luego se conecta mediante un tópico con el publisher, nodo 1 conocido como talker, y el subscriber, nodo 2 conocido como el listener que recibirá la data.

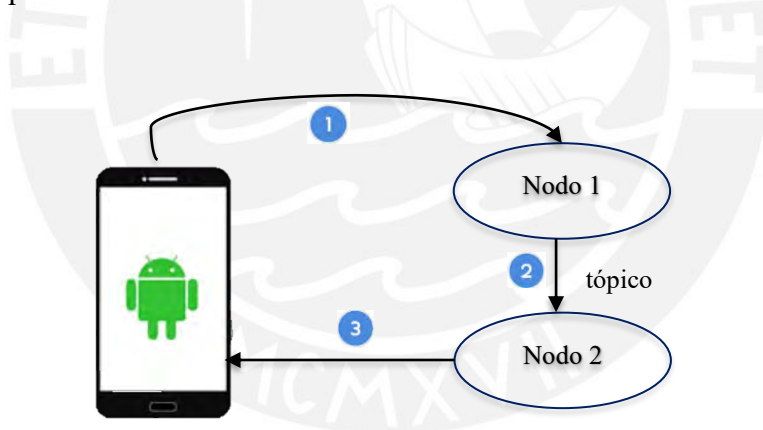


Figura 2.46: Comunicación ROS – Android. Fuente: Elaboración propia.

CAPÍTULO 3

SIMULACIONES

En el presente capítulo, se presentan las simulaciones de los algoritmos realizados para la navegación usando dos simuladores 3D, Rviz y Gazebo que se detallaron en el marco teórico. Esto se realizó con el fin de validar el funcionamiento de autonomía del sistema en un campo simulado al real. Además, sirve como sustento para la viabilidad del presente trabajo. Las simulaciones realizadas comprenden el desplazamiento del robot en el entorno de trabajo virtual, el mapeo del robot en dicho terreno y el seguimiento de líneas del robot.

3.1 Entorno de trabajo

El entorno de trabajo se elaboró mediante la plataforma de Gazebo. En la Figura 3. 1 (a), se observa el espacio de trabajo creado a partir de un archivo. dae de hojas, tierra y troncos. Las uvas en este caso vienen a ser los árboles que se encuentran espaciados en el campo una distancia aproximada de 30 cm. Debido a que, en los cultivos de uva reales, esa es la separación aproximada. En la Figura 3. 1(b), se muestra el SUMMIT XL en el espacio de trabajo.

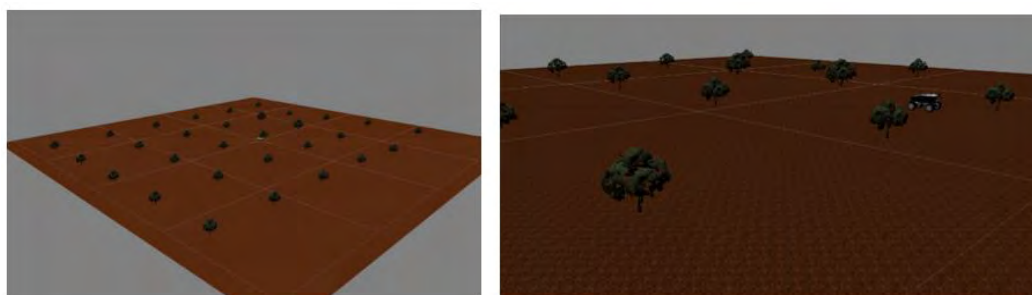


Figura 3. 1: (a) Entorno de trabajo (b) SUMMIT XL en entorno de trabajo. Fuente: Elaboración propia

3.2 Mapeo del robot en el entorno de trabajo

Con el sensor LiDAR y el entorno de trabajo presentado en la Figura 3.1, se puede realizar el mapeo de esa zona con la herramienta Rviz. La navegación se realiza usando el algoritmo de SLAM, para lo cual el error mínimo en la edometría debe ser inferior a 2cm/min y menor a 2° por cada 45° que sigue el robot [62]. Si el robot supera estos valores, la trayectoria que seguiría a su destino sería defectuosa. En la Figura 3. 2, se presenta los resultados del mapeo del robot en la zona de trabajo. Los círculos rojos punteados son los pequeños arbustos de uva detectado por el robot en el entorno de trabajo. Las zonas de grises claros representan las zonas que el robot ha mapeado en su recorrido y las más oscuras las que no.



Figura 3. 2: Mapeo de entorno de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

3.3 Seguimiento de las líneas de cultivo

En la Figura 3.3, se muestra inicialmente las líneas de cultivo como líneas amarillas. Estas líneas son obtenidas a partir del procesamiento de imágenes que se explicó en el capítulo anterior. Con estas líneas se creó un archivo líneas.world para generar la imagen mostrada. El robot deberá seguir las líneas amarillas para recorrer el campo y realizar el análisis del estado hídrico de las uvas de manera autónoma. En la Figura 3.4, se puede observar al robot posicionado en las líneas amarillas en diferentes posiciones ya que son imágenes captadas del robot en diferentes momentos en los que se está desplazando. Para el seguimiento de las líneas se hace un control PID para que el robot siga adecuadamente su trayectoria.

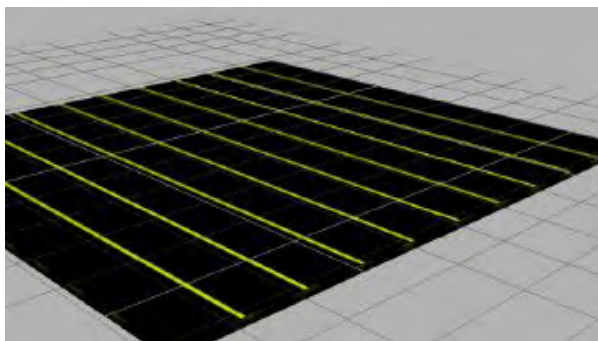


Figura 3. 3: Entorno de trabajo. Fuente: Elaboración propia.

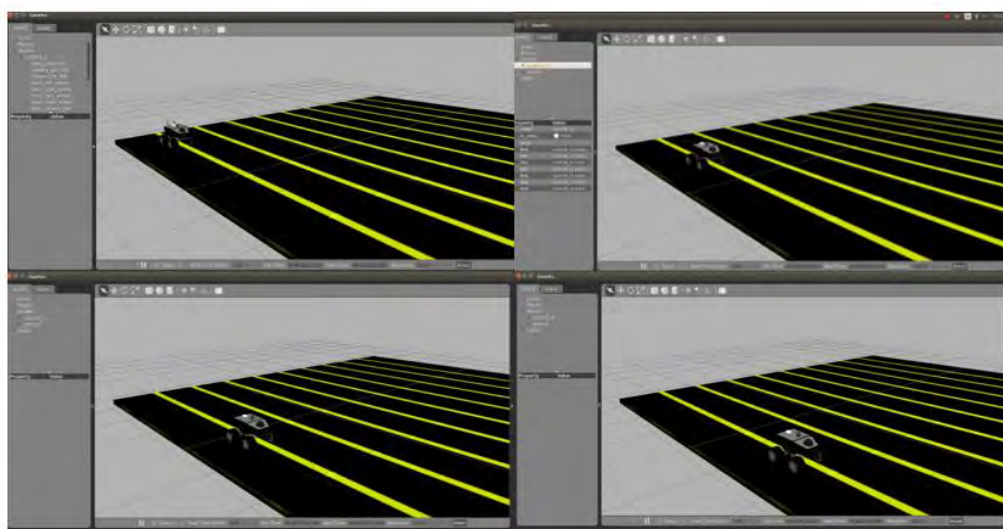


Figura 3. 4: Robot siguiendo recorrido. Fuente: Elaboración propia

CAPÍTULO 4

PLANOS Y COSTOS

En el presente capítulo, se detalla el costo del sistema mecatrónico, el listado de los planos de despiece y ensamble del sistema desarrollado. Los planos mencionados se encuentran anexados a este documento, los precios de los componentes incluyen el IGV y costo de envío, cabe mencionar que estos precios pueden variar con el tiempo dependiendo de la demanda del producto en el mercado y el tipo de cambio.

4.1 Relación de planos

La identificación de los planos se denota de la siguiente forma número de plano, descripción, tipo de plano y tamaño de la hoja como se muestra en la Tabla 4. 1.

Tabla 4.1: Relación de planos. Fuente: Elaboración propia.

Número	Descripción	Tipo de plano	Tamaño de la hoja
1	Sistema para riego	Ensamble	A1
1.1	Base SUMMIT XL	Despiece	A4
1.2	Soporte para tanque	Despiece	A3
1.3	Fijador para tanque	Despiece	A4
1.4	Soporte para manguera	Despiece	A4
1.5	Fijador para electroválvula	Despiece	A4
1.6	Carcasa	Despiece	A4
1.7	Unión carcasa – soporte	Despiece	A4
1.8	Base del motor	Despiece	A4
1.9	Carcasa de la cámara 1	Despiece	A4
1.10	Carcasa de la cámara 2	Despiece	A4

4.2 Costo de material y fabricación de elementos mecánicos

En la Tabla 1.2 se detalla el costo de los materiales para el diseño mecánico de la presente tesis, los costos fueron tomados por medio de una cotización realizada en que de acuerdo con el material, dimensión y forma coloca el precio promedio de costo en el mercado. Asimismo, para la estimación del precio de la carcasa de la cámara, la cotización se hizo mediante imaterialize.

Tabla 4.2: Costos de elementos mecánicos. Fuente: Elaboración propia

Componente	Descripción	Cantidad	Precio unitario (S/.)	Precio total (S/.)
Plancha de aluminio 5 mm 1120 x 120 mm	Carcasa de ascensor	1	350.00	350.00
Plancha de aluminio 5 mm 160 x120 mm	Soporte para mecanismo de elevación	4	240.00	240.00
Alumide	Carcasa de la cámara	1	177.00	177.00
Plancha de aluminio 2 mm 100 x 25 mm	Base del motor	1	120.00	120.00
Plancha de aluminio 2 mm 30 x 15 mm	Unión base - carcasa	1	80.00	80.00
Plancha de aluminio	Soporte de tanque	1	480.00	480.00
Tubo de aluminio φext 18 x φint 15 mm	Soporte de manguera	1	100.00	100.00
Plancha de aluminio 2 mm 130 x 50 mm	Soporte para electroválvula	1	100.00	100.00
Plancha de aluminio 2 mm 20 x 20 mm	Fijador - base	1	85.00	85.00
Plancha de aluminio 10 mm 400 x 500 mm	Base del SUMMIT XL	1	400.00	400.00
			Subtotal	S/.2732.00
			IGV 18%	S/. 491.76
			Total	S/.3223.76

4.3 Costo de componentes electrónicos y de control

En la Tabla 4.3, se indica el costo de los componentes del sistema electrónico y de control como se detalla a continuación:

Tabla 4.3: Costo de componentes electrónicos y de control. Fuente: Elaboración propia

Componente	Proveedor	Precio
Arduino Mega	Creatividad Ahora	\$12.95
Electric Sprayer	Italdifra	\$80.00
Electroválvula	Naylamp Mechatronics	\$7.62
Motor DC y encoder	Pololu	\$34.95
Driver de motor	Pololu	\$49.95
Cámara Infrarroja	Optris	\$2800.00
LiDAR	RobotShop	\$449.00
Sensor de nivel de voltaje	Electrotec	\$2.00
Buzzer	Buerklin	\$1.06
Batería	Hobbyking	\$27.66
Caja electrónica		\$12.58
	Total	\$3477.77

4.4 Costo total del robot

El costo del sistema mecatrónico es el que se muestra a continuación en la Tabla 4.4, no se está considerando el precio del Summit XL debido a que el objetivo de la tesis es desarrollar la tecnología para detección de necesidad hídrica de la planta y en caso necesite regarla, y que a futuro esta se pueda colocar en otro dispositivo móvil de tal forma que requiera los cambios mínimos.

Tabla 4.4: Costo total. Fuente: Elaboración Propia

Componente	Precio (\$)
Componentes mecánicos	\$994.64
Componentes electrónicos	\$3477.77
Total	\$4472.41

El precio del costo es elevado, sin embargo, comparando este sistema con tecnologías similares como se muestra en la Tabla 4.5, el precio se encuentra dentro del promedio si se sumará el precio del Summit XL igual se tendría un precio menor al Lettuce Bot. Las características ventajosas del sistema mecatrónico sería que es autónomo y que se puede regular la altura de acuerdo a la necesidad cumpliendo así los requerimientos presentados inicialmente.

Tabla 4.5: Tabla comparativa precio. Fuente: Elaboración Propia

Tecnología	Precio(\$)
Farmbot	\$3795
Lettuce Bot	\$230000
Ebee Ag Drone	\$8000

En el Perú, el precio del sistema sería excesivo para los agricultores, por ello es importante definir un buen plan estratégico de negocios donde se muestra las ventajas a corto y largo plazo del producto. Esto se podría financiar con el gobierno como un plan de mejora para las labores de los agricultores que además les permitiría tener productos de mejor calidad para la exportación. De todas formas, esto es algo que se debería analizar a detalle que actualmente no forma parte del presente documento.

CONCLUSIONES

En primer lugar, se logró diseñar un sistema mecatrónico en base a los requisitos expuestos previamente. Se podría considerar que el presente trabajo logra optimizar el uso de agua en el riego de los cultivos usando un vehículo móvil que permite el desplazamiento autónomo del robot en el campo. Además, el desplazamiento de la cámara permite evaluar el estado de las uvas en dos diferentes etapas de su crecimiento.

En segundo lugar, se validó la transmisión de data en tiempo real de lo que el robot capta del entorno con respecto a la simulación. La capacidad de conectar al robot con una computadora personal ayuda al usuario a observar la data en tiempo real, permitiéndole conocer de manera remoto el estado de sus plantas y que zonas de sus cultivos requieren mayor atención. El tiempo de retraso entre la data del láser es instantánea, pero del procesamiento de la data para las líneas del cultivo es mayor aproximadamente igual a 1.2s.

Según las simulaciones realizadas se validó la autonomía del robot en entornos de trabajo, creados en Rviz y Gazebo. El robot se desplaza sin chocarse con las uvas después de haberle asignado un recorrido. Por lo tanto, el sistema podría necesitar solo la mínima tele operación humana para su funcionamiento ya que existe un mínimo porcentaje de error de aproximadamente 1cm/m siendo menor a 2cm/min que es el error máximo que se debe tener para lograr un correcto seguimiento del camino.

En el año 2012, RPP realizó un estudio sobre la cantidad de hectáreas que se pierde por el inadecuado uso de agua siendo esta cifra igual a 300 mil hectáreas lo que equivale aproximadamente a 10 000 millones de dólares [63] [64]. Desde este último estudio que se realizó, las cifras no han cambiado sino han crecido ya que según la directora regional de la PNUMA solo en Pisco se han perdido miles de hectáreas de terreno apto para cultivos [65]. Por lo que comparándolo con el precio del sistema de riego automatizado la inversión que se realiza es sustentable.

RECOMENDACIONES

Como recomendaciones para un trabajo futuro, se propone implementar este sistema para riego en el proyecto Yupibots usándola como plataforma móvil en vez del SUMMIT XL debido a que este tiene como desventajas su baja capacidad de carga, 20 kilos, sus dimensiones y geometría lo limita a los cultivos que tengan un espaciado entre las líneas de cultivo igual a su ancho y a plantas que tengan una altura mayor a 40 cm para su análisis. La plataforma móvil podría usar los algoritmos empleados en la presente tesis para el análisis del estado hídrico de diferentes cultivos y el desplazamiento autónomo en el terreno.

Adicionalmente, se recomienda cambiar la capacidad de almacenamiento del tanque para que le permita regar una mayor cantidad de terreno agrícola. Si bien el presente trabajo tuvo como objetivo optimizar el uso del agua para el riego se podría agregar el control de pesticida al proyecto Yupibots. Ya que la cámara infrarroja también permite hallar el parámetro de índice de vegetación o nivel de clorofila en la planta usando un algoritmo para reconocer si la planta está infectada con alguna plaga. Y sólo echar el pesticida cuando se requiera.

Finalmente, se recomienda crear un diseño de interfaz gráfica para el usuario final. En el cual exista un registro por día de la información sobre el estado hídrico de las plantas por zonas y las estadísticas de las zonas que periódicamente sufren mayor estrés hídrico. Para que así, el usuario con esta información pueda tomar decisiones de mejora en las zonas de los cultivos más afectados.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] IAEA, "Gestión del agua con fines agrícolas", 2022. Organismo Internacional de Energía Atómica, Austria.
- [2] A. De La Torre, "80% del agua en Perú se destina a la agricultura", 2017. Autoridad Nacional del Agua, Perú.
- [3] UNOPS, "Lucha contra la escasez de agua en el Perú", 2020.
- [4] Universidad de Piura, "La escasez de agua podría causar la baja producción y hasta la pérdida de esta", 2020.
- [5] L. Martínez, "El riego del viñedo juega un papel crucial para la obtención de una producción homogénea y equilibrada entre años", 2022.
- [6] P. Myburgh, "Manejo de riego en vides para vino con referencia a la calidad", Manejo de riego y suelo en vides para vino y mesa, Chile, 2005, pp. 147.
- [7] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (FAO), "Mejora de la agricultura de regadío", 2019.
- [8] M. García, "Eficiencia del riego", Universidad de la República, 2019.
- [9] Autoridad Nacional del Agua (ANA), "La salinidad y su influencia en suelos y plantas".
- [10] Agrinet.mx, "Robots de riego Combi Boom BC".
- [11] Agrinet.mx, "Robots de riego HA Boom BC".
- [12] Rmirrigation.com, "Professional Hose-Reel Irrigator".
- [13] Agrinet.mx, "Robots de riego Combi Boom BC".
- [14] Farmbot.io, "Farmbot | Open-Source CNC Farming".
- [15] Blue River Technology, "See & Spray Agricultural Machines - Blue River Technology".
- [16] SenseFly, "El dron para la agricultura de precisión", pp. 3-5.
- [17] CSIC, "RHEA: Un proyecto Europeo para el desarrollo de robots aplicados a la protección vegetal", Malherbología. España, 2012.

- [18] B. Rosenfeld y J. Conca, "Sistema de riego ecológico autónomo", WO2009146571A2, 2009.
- [19] T. Olson, "Microprocessor-based irrigation system with moisture sensors in multiple zones", US 5337957 A, 1993.
- [20] Organización de las Naciones Unidas para la Alimentación y la Agricultura (OFA), "Factores que se deben considerar para seleccionar el sistema de riego más adecuado", 2022.
- [21] Centro de información de recursos naturales, "Requerimientos de clima y suelo en frutales de hoja caduca", N° 83, pp-70-73, 1989.
- [22] D. Gutiérrez, "Necesidades de riego en la vid". Escuela Universitaria de Ingeniería, 2012.
- [23] G. Sepulcre, "Detección de estrés hídrico en árboles frutales mediante teledetección térmica de alta resolución espacial AHS e imágenes ASTER", Doctorado, Universidad de Valencia, 2008.
- [24] R. López, R. Arteaga, M. Vásquez, I. López, I. Sánchez "Índice de estrés hídrico como un indicador del momento de riego en cultivos agrícolas", Agricultura Técnica en México. Vol.35 Núm1, 2009.
- [25] INNOVAGRI, "Aplicaciones de la termografía de infrarrojos en la agricultura moderna", 2014.
- [26] ENOMAQ, "Necesidades de agua de la vid", pp-949-950, 1997.
- [27] M. Fernández, "Contribuciones al análisis automático y semiautomático de ecografía fetal tridimensional mediante campos aleatorios de Markov y contornos activos", Universidad de Valladolid, 2001.
- [28] M. Montalvo, "Técnicas de visión artificial para la segmentación y detección de líneas de cultivo en imágenes agrícolas", Universidad Complutense de Madrid, 2015.
- [29] J. Guerrero "Sistema de visión para agricultura de precisión: Identificación en tiempo real de líneas de cultivo y malas hierbas en campos de maíz", Universidad Complutense de Madrid, 2015.

- [30] M. Guijarro, G. Pajares, I. Riomoros, P.J. Herrera, X.P. Burgos-Artizzu, A. Ribeiro, “Automatic segmentation of relevant textures in agricultural images”, Universidad Complutense de Madrid, 2010.
- [31] T. Kataoka, T. Kaneko, H. Okamoto, S. Hata, “Crop growth estimation system using machine vision”. IEEE/ASME International Conference on Advanced Intelligent Mechatronics, 2003, Kobe. Proceedings. Piscataway: IEEE, 2003. v. 2, n. 1, p. 1079-1083.
- [32] T. Hague, N. Tillett, H. Wheeler, “Automated crop and weed monitoring in widely spaced cereals”. Precision Agriculture, Berlin, v. 7, n. 1, p. 21-32, 2006.
- [33] D. Woebbecke, G. Meyer, K. Von Bargen, D. Mortensen, “Color indices for weed identification under various soil, residue and lighting conditions”, Transactions of the American Society of Agricultural Engineers 38, N°1, pp-271-281,1995.
- [34] X. Burgos-Artizzu, A. Ribeiro, A. Tellaeche, G. Pajares, C. Fernández-Quintanilla, “Analysis of natural images processing for the extraction of agricultural elements”, Science Direct, N°28, pp 138-149, 2010.
- [35] M. Riamoros “Segmentación automática de texturas en imágenes agrícolas”, Universidad Complutense de Madrid, 2015.
- [36] V. Leemans, M. Destain, “Application of the Hough Transform for Seed Row Localization using Machine Vision”,2016.
- [37] I. Markovic, M. Orsag, D. Miklic “Map building and navigation”, University of Zagreb, Faculty of Electrical Engineering and Computing 2013.
- [38] M. Quigley, B. Gerkey, W.Smart “Programming robots with ROS”, 1st ed. California del Norte. Meghan Blanchette y Dawn Schanafelt, 2015.
- [39] Studies in Computational Intelligence “Robot Operating System (ROS)”, 1st ed. Portugal. Anis Koubaa, 2016.
- [40] R. Ragel, “Modelado, control y simulación de un quadrotor equipado con un brazo manipulador robótico”, Universidad de Sevilla, 2012.
- [40] Erle Robotics, “Introducción de ROS”,2016

- [41] G. Steinbauer, “RoboCup Rescue Summer School 2012 Navigation Tutorial”, Institute for Software Technology, Graz University of Technology, Austria, 2012.
- [42] J. Cárdenas, J. Gómez y C. Martinez, “Asistente robótico para personas con discapacidad visual”, Fundación universitaria los Libertadores, 2016.
- [43] L. Ferreira, “Localização e Navegação de um Veículo de Condução Autónoma”, Universidad de Aveiro, 2013.
- [44] G. Grisetti, C. Stachniss y W. Burgard, “Improved Techniques for Grid Mapping with Rao- Blackwellized Particle Filters” ,2006.
- [45] G. Grisetti, C. Stachniss y W. Burgard, “Improving Grid- based SLAM with Rao- Blackwellized Particle Filters by Adaptive Proposals and Selective Resampling”,2005.
- [46] S. Thrun, D. Fox y W. Burgard “Probabilistics Robotics”, The Massachutes Institute Technology Press ,2006.
- [47] D. Francisco de Borja, “Navegación autónoma en un vehículo con distribución Ackerman”, Universidad Politécnica de Valencia.
- [48] G. Vivet, “Programación de comportamientos de un robot autónomo”, Universidad Autónomo de Barcelona, 2016.
- [49] P. Messeguer, “Búsqueda Heurística I”, Instituto de Investigación en Inteligencia Artificial.
- [50] J. Olivos, “Algoritmos para caminos mínimos”, Universidad Nacional de Ingeniería, 2009.
- [51] J.Gil, “Proyecto de los principales mecanismos de potencia de grúa pórtico móvil porta contenedores de 60 ton”, Universidad de Cádiz, 2010.
- [52] De Acero,”Cables de Acero”, 2022.
- [53] Electro Optical System, “Alumide Data Sheet”,2022.
- [54] Elnova, “Mosquetón Bombero Galvanizado”,2022.
- [55] R. Mott, “Resistencias de Materiales Aplicada”. México: Universidad de Dayton, vol. 3,1996.

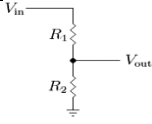
- [56] Lehengoak, “Mangueras comerciales para agua”,2022.
- [57] The Construct, “Learn ROS with C++ or Python?”,2022.
- [58] ROS, “Setup and Configuration of the Navigation Stack on a Robot”,2022.
- [59] J. Bellvert, J. Girona, J.P. Zarco-Tejada y E. Fereres, “Utilización del Crop Water Stress Index (CWSI) para la programación del riego en viñedos”, Institut de Recerca i Tecnologia Agroalimentàries (IRTA), 2009.
- [60] INEI, “En el 90,6% de los hogares del país existe al menos un miembro que tiene teléfono celular”, INEI,2017.
- [61] Github, Rosjava/android_core, 2022.
- [62] P. López, “Análisis de algoritmos para localización y mapeo simultaneo de objetos”, Escuela Técnica Superior de Ingeniería, Universidad de Sevilla, 2016.
- [63] RPP, "Perú perdió 300 mil hectáreas de cultivo por mal uso de agua ", 2012.
- [64] La República, “Pérdidas en agro piurano ascienden a S/.430 millones”,2017.
- [65] UNOPS, "Lucha contra la escasez del agua", 2022.

ANEXOS

Anexo 1: Elaboración y selección del concepto solución

Con la elaboración de la caja negra del sistema y la estructura de funciones presentada, se realiza la matriz morfológica. Esta es presentada en la Tabla 1 y se hace con el fin de seleccionar los conceptos de solución. Para su posterior evaluación y selección del concepto óptimo.

Tabla 1: Conceptos de solución

Riego automatizado		Opción 1	Opción 2	Opción 3
N°	Función			
1	Acoplar módulo a SUMMIT	 Sujetadores	 Pernos	
2	Colocar tanque de agua	 Manual	 Brazo robótico	
3	Llenar tanque	 Balde de agua	 Manguera	
4	Energizar el sistema	 Baterías Ni-Cd	 Baterías Litio	 Baterías Zinc - Carbono
5	Medir nivel de carga	 Sensor de voltaje	 Divisor resistivo	
6	Ingresar etapa de la uva	 Teclado matricial	 Botones	 Pantalla táctil

7	Mover a la altura adecuada	 Motor DC	 Actuador lineal	
8	Captar información del entorno	 Webcam	 Axis camera	 Sensor 3D
9	Procesamiento de datos	 Arduino Mega	 Raspberry Pi 3	 Beaglebone
10	Envío de datos al SUMMIT XL	 Bluetooth	 WiFi	 USB
11	Análisis de la uva	 Sensor de humedad	 Cámara infrarroja	 Flir sensor
12	Regular cantidad de agua	 Electroválvula	 Bomba pulverizadora	 Dosificadores proporcionales
13	Mostrar data	 Pantalla Touch	 Laptop	 Computadora de escritorio
14	Indicador de fallas	 Buzzer	 Led	
		Solución 1	Solución 2	Solución 3

Con la matriz morfológica se han escogido tres posibles soluciones que cumplen las funciones que el sistema debe realizar. Luego de esto se describirá cada solución y se realizará un bosquejo de las soluciones como se muestra a continuación.

Solución 1

En esta primera solución, se hará uso de una cámara web para captar la información del entorno. Esto para que el robot pueda detectar las líneas de cultivo de las uvas. Y pueda enviar esta data al Summit XL para que realice la trayectoria. Se cuenta con un sensor de humedad que medirá el estado de la planta. El robot deberá detenerse para realizar el análisis usando un Arduino Mega. Para el riego se usará dosificadores proporcionales para distribuir el agua según la cantidad que necesite. El envío de data se hará por un cable USB a una computadora de escritorio. Y se notificará si el estado de carga es baja por usando un Buzzer.

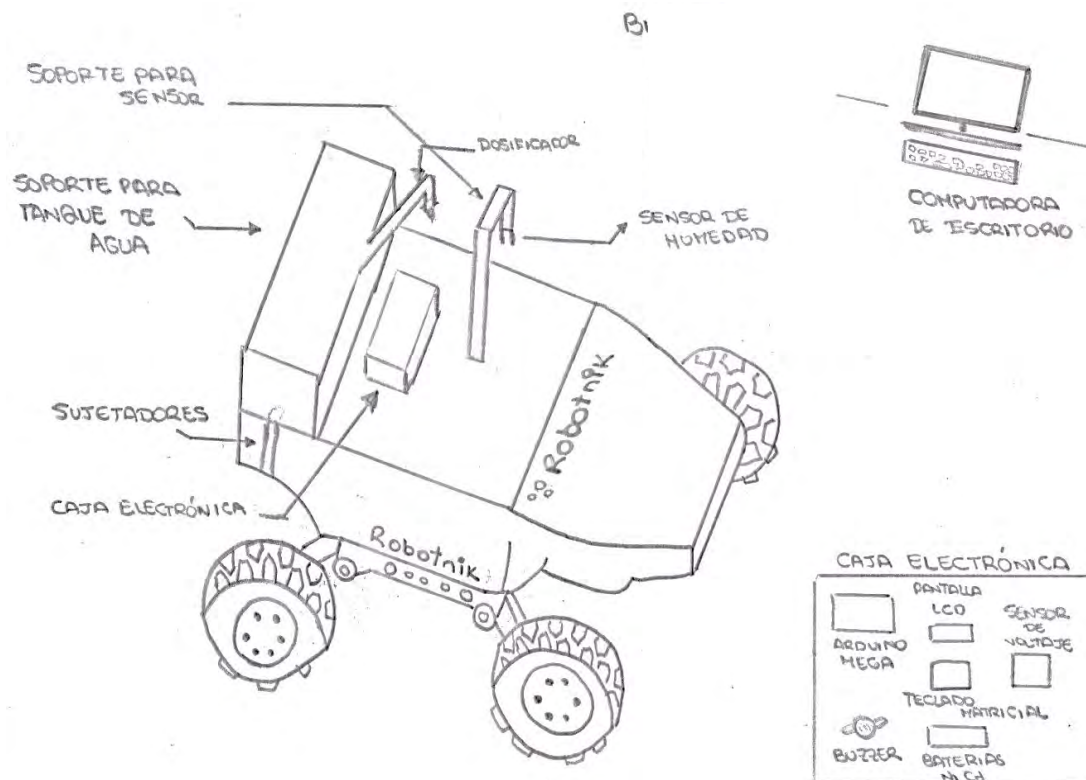


Figura 1 – Concepto solución 1. Fuente: Propia

Solución 2

En esta segunda solución, se hará uso de una cámara de 360° para reconocer las líneas de cultivo y además si existen objetos alrededor o personas con las cual podría chocar. El análisis de las uvas se hará mediante una cámara infrarroja que detectará el estado de la uva y enviará esta data a la Raspberry. Esta controlara una bomba pulverizadora para el control de flujo de agua. La data se transmitirá por una red local entre el Summit XL y el módulo para que luego sea mostrada en la laptop. El indicador de batería baja se hará por medio del Buzzer. Este emitirá un sonido de alerta para que el usuario cargue la batería del robot.

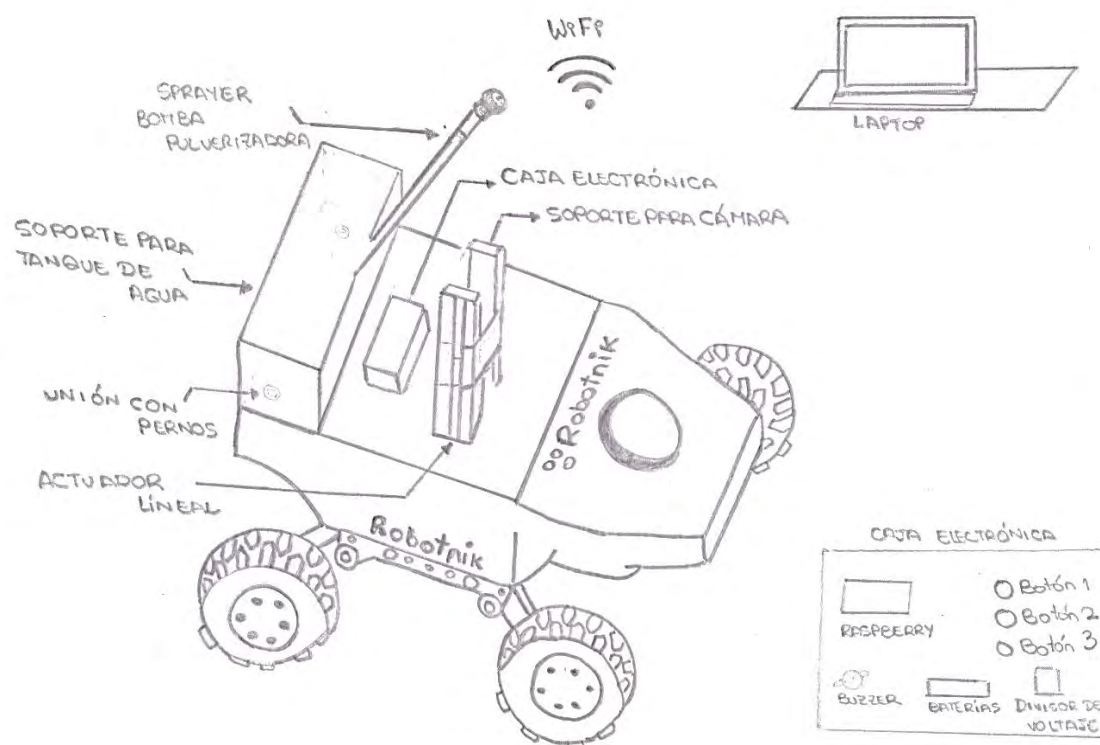


Figura 2 – Concepto solución 2. Fuente: Propia

Solución 3

En esta tercera solución, se hará uso de un sensor 3D que permitirá detectar las líneas de cultivo y los objetos cercanos además de la distancia a la cual se encuentra. Para el análisis de las uvas se usará un sensor moderno, Fliwe, el cual detecta las condiciones de la planta y envía esta data a una Beaglebone para que pueda controlar la cantidad

de agua a través de una electroválvula. La data se transmitirá por bluetooth a una pantalla táctil que estará conectada a la Beaglebone. El indicador de batería baja se hará por medio de un Buzzer.

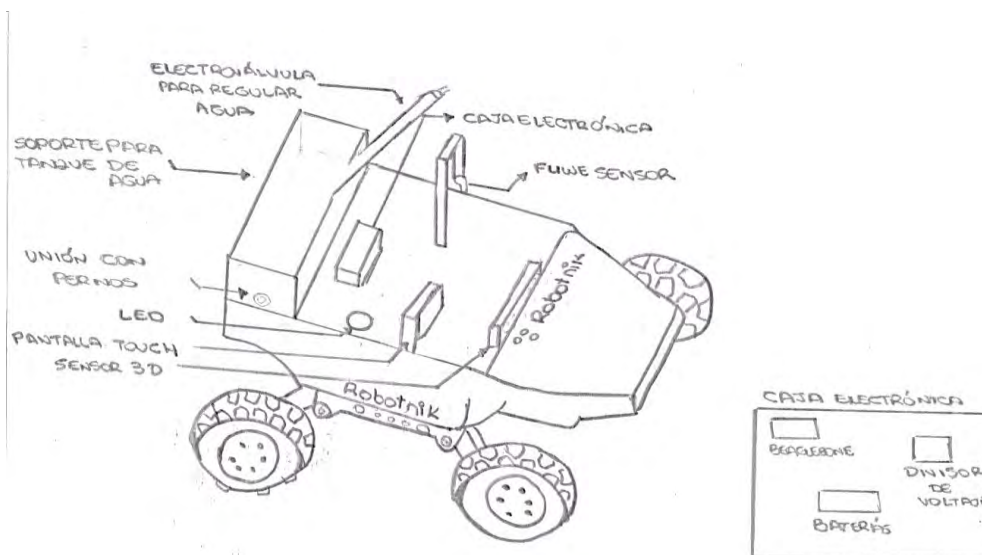


Figura 3 – Concepto solución 3. Fuente: Propia

Evaluación de aspectos técnicos del robot

A continuación, se presentará las tablas de evaluación técnico – económico

Tabla 2 - Evaluación técnica de los conceptos

Aspectos Técnicos	Peso	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
		Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con	Sin	Con
		Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso	Peso
Buen uso de energía	2	2	4	3	4	2	4	4	8
Seguridad	2	2	4	2	4	2	4	4	12
Manipulación	1	2	2	2	2	2	2	4	4
Facilidad de manejo	2	2	4	2	4	2	4	4	8
Facilidad de transporte	3	2	6	3	9	2	6	4	12
Estabilidad	3	2	6	2	6	2	6	4	12
Requisitos	3	1	3	3	9	2	6	4	12
Total, aspectos técnicos			29		38		32		68
			0.426		0.559		0.470		1.000

Tabla 3 - Evaluación económico de los conceptos

Aspectos Económicos	Peso	Solución 1		Solución 2		Solución 3		Ideal	
		Sin Peso	Con Peso	Sin Peso	Con Peso	Sin Peso	Con Peso	Sin Peso	Con Peso
Fácil adquisición de materiales	3	3	9	2	6	2	6	4	12
Costo de la tecnología	2	3	6	2	4	2	6	4	8
Facilidad de mantenimiento	2	3	6	3	6	2	4	4	8
Facilidad de montaje	3	3	9	3	9	2	6	4	12
Total, aspectos económicos			30		25		22		40
			0.750		0.625		0.550		1

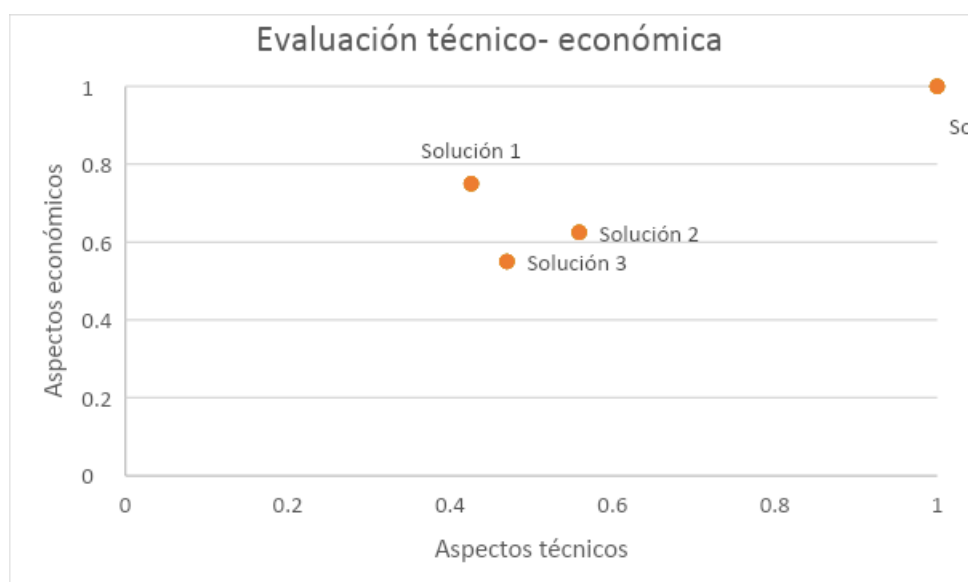


Figura 4: Análisis técnico- económico

Como se observa en la Figura 4, el concepto de solución óptimo es la alternativa 2 debido a que este cumple mejor los parámetros requeridos para el diseño tanto aspectos técnicos como económicos.



SUMMIT XL HL es una robusta plataforma móvil que permite incorporar, además de ruedas convencionales (configuración skid), ruedas mecanum con un sistema de suspensión independiente y configuración omnidireccional.

Producto

Summit XL HL es una plataforma con alta movilidad y gran capacidad de carga. El robot tiene 2 posibles configuraciones cinemáticas.

La configuración omnidireccional dispone de ruedas mecanum montadas sobre un sistema de suspensión independiente. Las ruedas mecanum se pueden cambiar por ruedas convencionales (montaje en llanta), consiguiendo de esta forma cambiar rápidamente de una configuración omnidireccional de interiores a una configuración skid-steering versátil tanto en interiores como en exteriores.

Por su parte, la odometría se calcula haciendo uso de los codificadores incrementales de las ruedas y un sensor angular de alta precisión montado en el interior del chasis.

La plataforma puede soportar cargas más pesadas (hasta 66Kg) que la versión estándar Summit XL. Cuenta con amortiguadores que pueden ser montados en varias posiciones para modificar el espacio libre entre el chasis y el suelo (clearance) del robot.

El robot puede navegar autónomamente o ser teleoperado mediante una cámara Pan-Tilt-Zoom que transmite el vídeo en tiempo real.

Summit XL HL utiliza una arquitectura de control abierta y modular basada en ROS. El framework ROS define una arquitectura bien estructurada e incluye cientos de paquetes de usuario y conjuntos de paquetes llamados pilas (stacks), que implementan un gran número de componentes y un gran número de algoritmos como localización, cartografía GIS, planificación, manipulación, percepción, etc.

Esta característica simplifica el ciclo de desarrollo del software y permite una fácil integración, así como que la reutilización de componentes de software sean drivers de dispositivos o los más avanzados algoritmos de visión, SLAM, planificación, swarming, etc.

Aplicaciones

- Investigación
- Vigilancia
- Militares
- Monitorización remota
- Acceso a entornos adversos



Especificaciones Técnicas

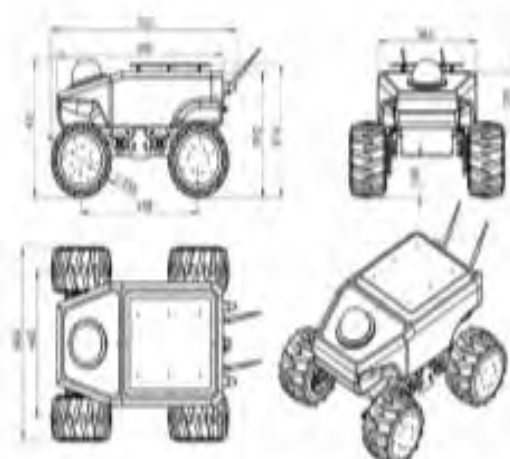
Mecánicas

Dimensiones	731 x 578 x 440 mm
Peso	65 Kg
Capacidad de carga	65 Kg
Velocidad	3 m/s
Clase de protección	IP54 / IP65
Sistema de tracción	4 ruedas
Autonomía	10 h. de movimiento continuo 40 h. uso estándar de laboratorio
Baterías	16x3.3V LiFePO4
Motorización	4x500W servomotores brushless
Rango temperatura	0° a +50°C
Máxima pendiente	40°



Control

Controlador	Arquitectura abierta ROS PC empotrado con Linux (Intel Bay Trail J1900 o similar)
Comunicación	WiFi 802.11n
Conectividad	Interno: USB, RS232, GPIO y RJ45 Exterior: USB, RJ45, tomas de 5, 12 VDC y batería.



ROS.org

C/ Ciudad de Barcelona, 3-A, 40988
P/ Fuente del Jarro, Paterna, Valencia (Spain)
Tel. +34 96 147 54 00

www.robotnik.eu

4.53 x 2.56 x 2.17 in. / 115.06 x 65.02 x 55.12 mm. / 0.31 lbs



Options & Pricing

Color

☒ Gray with Clear Cover

Quantity	Price
1 to 9	\$12.58
10 to 49	\$10.48
50 to 99	\$9.43
100 to 249	\$8.38
250 to 499	\$7.97
500 to 999	\$7.50
1000+	\$6.98

1

Quantity

Add to Cart

Details	Models/Drawings	Material Specifications
• Designed to IP65 of IEC 529 and NEMA 1, 2, 4, 4x, 12 and 13 specifications • Silicone rubber gasket • UL Listed to UL508-4x specifications (File E194432) • PCB mounting bosses with brass inserts are standard • Durable, impact-resistant UV Stabilized Polycarbonate material • Assembly includes base, gasket, cover, and 4 enclosure screws • Optional internal mounting panel WX-14 available		

			STANDARD COLOR	WATERPROOF
Part Number	Material	Flame Rating	Light Gray w/ Clear Cover	Gasket
WC-22*1508	Flame Retardant Polycarbonate	UL94-HB	☒	☒

[Home](#) >

Cart

REVIEW CART	SHIPPING	PAYMENT	CONFIRMATION
-------------	----------	---------	--------------

Subtotal:

27.75 €

VAT excluded

[PROCEED TO CHECKOUT](#)

Item	Details	Quantity	Price
	Camara_2.stl Polyamide Natural white 5.10 x 5.10 x 1.25 mm	- 1 + 	12.75 €
	Camara_1.stl Alumide Mat aluminium 7.10 x 6.40 x 6.00 mm	- 1 + 	15.00 €

Delivery Region	UPS Standard	UPS Express	USPS Priority Mail	UPS Ground	UPS Express Two Days	UPS Express Next Day
Asia		19.95 EUR				
Australia / New-Zealand		23.50 EUR				
Benelux	6.30 EUR	9.50 EUR				
Canada		19.50 EUR				
Other European countries	9.50 EUR	13.50 EUR				
France	8.60 EUR	13.00 EUR				
Germany	6.30 EUR	11.00 EUR				
Latin America		19.95 EUR				
Middle-East / Africa		19.95 EUR				
Scandinavia	9.50 EUR	13.50 EUR				
United Kingdom	8.60 EUR	13.00 EUR				
United States		15.50 USD	5.99 USD	6.50 USD	15.50 USD	30.00 USD



Home > Serena

Serena

Electric sprayer

Electric knapsack sprayer with 16 /20 litre tank, rechargeable battery and charger.








General Details



Technical features



Spare Parts



More Information

	Serena 10L	Serena 16L
Weight (with battery)	Kg. 3,6	Kg. 5,3
Dimensions	mm 315x145x400	mm 365x180x480
Fuel tank capacity	Lt. 10	Lt. 16

	Average pressure with fan nozzle 110015	Flow with fan nozzle 110015	Duration of the battery charge
SERENA NORMALE	1,5 bar	26 L/h	10 ore
SERENA SUPER	2,5 bar	32,7 L/h	6,30 ore
SERENA MIXER			
1 ^a velocità	1,5 bar	26,6 L/h	8,30 ore
2 ^a velocità	2,5 bar	32,7 L/h	6,30 ore
SERENA H6	3,5 bar	40 L/h	3,30 ore



VNH5019A-E

Automotive fully integrated
H-bridge motor driver

Features

Type	$R_{DS(on)}$	I_{out}	V_{CCmax}
VNH5019A-E	18 mΩ typ (per leg)	30 A	41 V

- ECOPACK®: lead free and RoHS compliant
- Automotive Grade: compliance with AEC guidelines
- Output current: 30 A
- 3 V CMOS compatible inputs
- Undervoltage and overvoltage shutdown
- High-side and low-side thermal shutdown
- Cross-conduction protection
- Current limitation
- Very low standby power consumption
- PWM operation up to 20 kHz
- Protection against:
 - Loss of ground and loss of V_{CC}
- Current sense output proportional to motor current
- Charge pump output for reverse polarity protection
- Output protected against short to ground and short to V_{CC}

Description

The VNH5019A-E is a full bridge motor driver intended for a wide range of automotive applications. The device incorporates a dual monolithic high-side drivers and two low-side switches. The high-side driver switch is designed using STMicroelectronics' well known and proven proprietary VIPower® MD technology that allows to efficiently integrate on the same die a true



Power MOSFET with an intelligent signal/protection circuit.

The three dice are assembled in MultiPowerSO-30 package on electrically isolated lead-frames. This package, specifically designed for the harsh automotive environment offers improved thermal performance thanks to exposed die pads. The input signals IN_A and IN_B can directly interface to the microcontroller to select the motor direction and the brake condition.

The $DIAG_A/EN_A$ or $DIAG_B/EN_B$, when connected to an external pull-up resistor, enable one leg of the bridge. They also provide a feedback digital diagnostic signal. The CS pin allows to monitor the motor current by delivering a current proportional to its value when CS_DIS pin is driven low or left open. The PWM, up to 20 KHz, lets us to control the speed of the motor in all possible conditions. In all cases, a low-level state on the PWM pin turns-off both the LS_A and LS_B switches. When PWM rises to a high-level, LS_A or LS_B turn-on again depending on the input pin state.

Output current limitation and thermal shutdown protects the concerned high-side in short to ground condition.

The short to battery condition is revealed by the overload detector or by thermal shutdown that latches off the relevant low-side.

Active V_{CC} pin voltage clamp protects the device against low energy spikes in all configurations for the motor.

CP pin provides the necessary gate drive for an external n-channel PowerMOS used for reverse polarity protection.

Figure 2. Configuration diagram (top view)

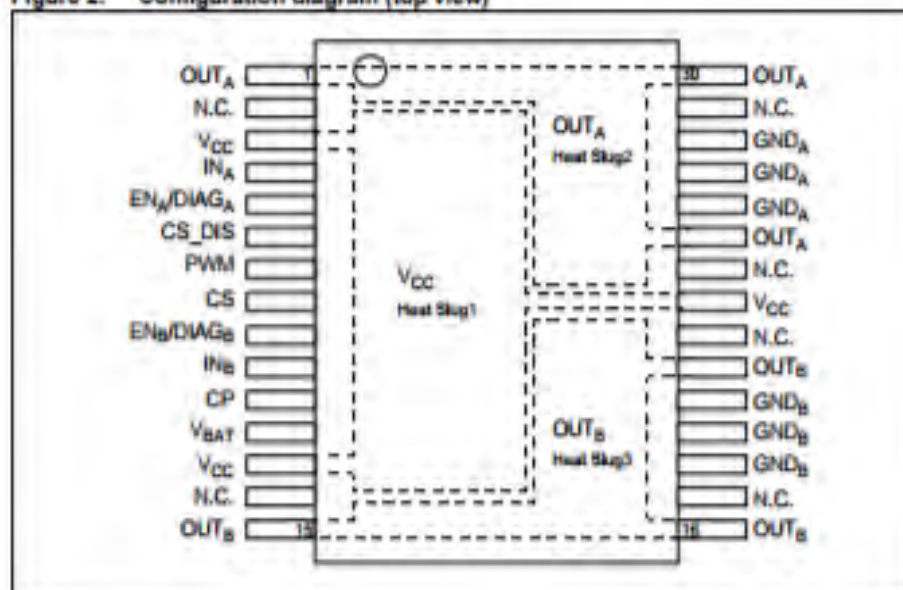


Table 1. Suggested connections for unused and not connected pins

Connection / pin	Current sense	N.C.	OUTx	INPUTx, PWM DIAGx/ENx CS_DIS
Floating	Not allowed	X	X	X
To ground	Through 1 kΩ resistor	X	Not allowed	Through 10 kΩ resistor

Table 2. Pin definitions and functions

Pin	Symbol	Function
1, 25, 30	OUT_A, Heat Slug2	Source of high-side switch A / drain of low-side switch A, power connection to the motor
2, 14, 17, 22, 24, 29	N.C.	Not connected
3, 13, 23	VCC, Heat Slug1	Drain of high-side switches and connection to the drain of the external PowerMOS used for the reverse battery protection
12	VBAT	Battery connection and connection to the source of the external PowerMOS used for the reverse battery protection
5	EN_A/DIAG_A	Status of high-side and low-side switches A; open drain output. This pin must be connected to an external pull-up resistor. When externally pulled low, it disables half-bridge A. In case of fault detection (thermal shutdown of a high-side FET or excessive ON-state voltage drop across a low-side FET), this pin is pulled low by the device (see Table 13: Truth table in fault conditions (detected on OUTA))

Table 2. Pin definitions and functions (continued)

Pin	Symbol	Function
6	CS_DIS	Active high CMOS compatible pin to disable the current sense pin
4	IN _A	Clockwise input. CMOS compatible
7	PWM	PWM input. CMOS compatible.
8	CS	Output of current sense. This output delivers a current proportional to the motor current, if CS_DIS is low or left open. The information can be read back as an analog voltage across an external resistor.
9	EN _B /DIAG _B	Status of high-side and low-side switches B; Open drain output. This pin must be connected to an external pull up resistor. When externally pulled low, it disables half-bridge B. In case of fault detection (thermal shutdown of a high-side FET or excessive ON-state voltage drop across a low-side FET), this pin is pulled low by the device (see Table 13: Truth table in fault conditions (detected on OUT _A)).
10	IN _B	Counter clockwise input. CMOS compatible
11	CP	Connection to the gate of the external MOS used for the reverse battery protection
15, 16, 21	OUT _B , Heat Slug ³	Source of high-side switch B / drain of low-side switch B, power connection to the motor
26, 27, 28	GND _A	Source of low-side switch A and power ground ⁽¹⁾
18, 19, 20	GND _B	Source of low-side switch B and power ground ⁽¹⁾

1. GND_A and GND_B must be externally connected together

Table 3. Block descriptions⁽¹⁾

Name	Description
Logic control	Allows the turn-on and the turn-off of the high-side and the low-side switches according to the Table 12.
Overvoltage + undervoltage	Shut down the device outside the range [4.5 V to 24 V] for the battery voltage.
High-side, low-side and clamp voltage	Protect the high-side and the low-side switches from the high-voltage on the battery line in all configuration for the motor.
High-side and low-side driver	Drive the gate of the concerned switch to allow a proper R _{DS(on)} for the leg of the bridge.
Linear current limiter	Limits the motor current, by reducing the high-side switch gate-source voltage when short-circuit to ground occurs.
High-side and low-side overtemperature protection	In case of short-circuit with the increase of the junction's temperature, it shuts down the concerned driver to prevent its degradation and to protect the die.
Low-side overcurrent detector	Detects when low-side current exceeds shutdown current and latches off the concerned low-side.



Operators manual

opttris® PI

160/ 200/ 230/ 400/ 450 G7/ 640/ 640 G7/ 1M



Infrared camera

1.5 Model overview

The cameras of the PI-series are available in the following basic versions:

Modell	Model code	Temperature range	Spectral range	Frame rate	Typical applications
PI 160	IR	-20 to 900 °C 200 to 1500 °C (optional)	7.5 - 13 µm	120 Hz	Surface measurements in industrial application
PI 200/ PI 230	BI- SPECTRAL	-20 to 900 °C 200 to 1500 °C (optional)	7.5 - 13 µm	128 Hz	Synchronous recording of VIS and IR videos and images
PI 400/ PI 450	IR	-20 to 900 °C 200 to 1500 °C (optional for PI 400)	7.5 - 13 µm	80 Hz	Real-time thermographic images in high speed; Detection of smallest temperature differences (PI450)
PI 450 G7	IR	200 to 1500 °C	7.9 µm	80 Hz/ 27 Hz	Measurement of glass (with Line-Scanning mode)
PI 640	IR	-20 to 900 °C	7.5 - 13 µm	32 Hz	Pin-sharp radiometric recordings in real time
PI 640 G7	IR	200 to 1500 °C	7.9 µm	32 Hz	Measurement of glass (with Line-Scanning mode)
PI 1M	IR	450 to 1800 °C	0.85 - 1.1 µm	Up to 1 kHz	Measurement of metallic surfaces, graphite or ceramics with short wavelengths

Table 1: Model overview

Table 2:

PI 160 / 200 160 x 120 px	Focal length [mm]	Angle	Minimum measurement distance*	Distance to measurement object [m]												
					0.02	0.1	0.2	0.3	0.5	1	2	4	6	10	30	100
O23 Standard lens	10	23°	0.2 m	HFOV [m]	0.012	0.043	0.08	0.12	0.21	0.41	0.81	1.62	2.44	4.1	12.2	40.6
				VFOV [m]	0.009	0.032	0.06	0.09	0.15	0.30	0.60	1.21	1.81	3.0	9.0	30.1
				DFOV [m]	0.015	0.054	0.10	0.16	0.26	0.51	1.01	2.02	3.03	5.1	15.2	50.5
				IFOV [mm]	0.1	0.3	0.5	0.8	1.3	2.5	5.0	9.9	14.9	24.8	74.4	248.0
O6 Telephoto lens	35.5	6°	0.5 m	HFOV [m]					0.06	0.11	0.23	0.45	0.68	1.1	3.4	11.3
				VFOV [m]					0.04	0.09	0.17	0.34	0.51	0.8	2.5	8.5
				DFOV [m]					0.07	0.14	0.28	0.57	0.85	1.4	4.2	14.2
				IFOV [mm]					0.4	0.7	1.4	2.8	4.2	7.0	21.1	70.4
O48 Wide angle lens	5.7	41°	0.2 m	HFOV [m]	0.022	0.082	0.16	0.23	0.38	0.76	1.51	3.00	4.50	7.5	22.5	74.9
				VFOV [m]	0.016	0.059	0.11	0.17	0.28	0.55	1.10	2.19	3.28	5.5	16.4	54.5
				DFOV [m]	0.027	0.101	0.19	0.29	0.47	0.94	1.86	3.72	5.57	9.3	27.8	92.7
				IFOV [mm]	0.1	0.4	0.9	1.3	2.2	4.4	8.8	17.5	26.3	43.9	131.6	438.6
O72 Wide angle lens	3.3	72°	0.2 m	HFOV [m]	0.039	0.152	0.29	0.43	0.72	1.42	2.84	5.68	8.49	14.1	42.4	141.4
				VFOV [m]	0.027	0.106	0.20	0.30	0.50	0.99	1.98	3.95	5.92	9.9	29.6	98.6
				DFOV [m]	0.048	0.186	0.36	0.53	0.87	1.74	3.46	6.91	10.35	17.2	51.7	172.3
				IFOV [mm]	0.2	0.8	1.5	2.3	3.8	7.5	15.0	30.0	45.0	75.1	225.2	750.8

* Note: The accuracy of measurement can be outside of the specifications for distances below the defined minimum distance.

34:1 Metal Gearmotor 25Dx52L mm MP 12V with 48 CPR Encoder



This gearmotor consists of a **medium-power, 12 V** brushed DC motor combined with a **34.014:1** metal spur gearbox, and it has an integrated 48 CPR quadrature encoder on the motor shaft, which provides **1632.67 counts per revolution** of the gearbox's output shaft. The gearmotor is cylindrical, with a diameter just under 25 mm, and the D-shaped output shaft is 4 mm in diameter and extends 12.5 mm from the face plate of the gearbox.

Dimensions

Size:	25D x 64L mm
Weight:	101 g
Shaft diameter:	4 mm

General specifications

Gear ratio:	34.014:1
Free-run speed @ 6V:	110 rpm ¹
Stall current @ 6V:	1050 mA ¹
Stall torque @ 6V:	31 oz·in ¹
Free-run speed @ 12V:	220 rpm
Free-run current @ 12V:	200 mA
Stall current @ 12V:	2100 mA
Stall torque @ 12V:	63 oz·in
Lead length:	8 in ²
Motor type:	2.1A stall @ 12V (MP 12V)



Válvula solenoide 1/2" 12V DC

Modelo VALV-SOL-1D2-12V

Esta válvula solenoide es ideal para proyectos de domótica.

S/. 25,00

[Añadir a la lista de deseos](#)

Producto Agotado

☐ Avisame cuando esté disponible

☒ Enviar a un amigo

[Ver más grande](#)





INFO

Controlar el flujo de agua en una tubería es ahora más sencillo con la ayuda de esta válvula solenoide. Las válvulas solenoides son un tipo de electroválvula todo/nada o abierto/cerrado. Tienen dos partes: el solenoide y el cuerpo de plástico.

El solenoide es un electroimán que al ser energizado se desplaza junto con el diafragma de la válvula y permite el paso del fluido. La válvula se mantiene abierta mientras el solenoide está energizado. Cuando no está alimentado un resorte se encarga de regresar la válvula a su posición de reposo, que en este caso es del tipo normalmente cerrada (NC).

El cuerpo de la válvula está fabricado en plástico con roscados machos a ambos lados de 1/2" para conexión estándar NPS (recta).

Para su control se puede utilizar un microcontrolador como Arduino o un ESP8266 y utilizar un protocolo de comunicación para el control a distancia, como: Wifi, RF, RS-485, Z-wave, etc. Es necesario utilizar un driver de potencia entre el microcontrolador y la válvula, en este caso como el actuador de la válvula es un solenoide es suficiente con utilizar transistor o relay. Nuestra recomendación son los transistores TIP121 o el [Módulo Mosfet](#), si se desea utilizar un relay se puede usar el [Módulo Relay](#) de 2 canales.

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de operación: 12V DC
- Corriente de operación: 0.6A
- Potencia consumo: 8W
- Temperatura de funcionamiento: 5°C a 100°C
- Presión de funcionamiento mínima: 0.02 MPa
- Presión de funcionamiento máximo: 0.8 MPa (8 Bar)
- Tiempo de respuesta (apertura): ≤ 0.15 s
- Tiempo de respuesta (cerrado): ≤ 0.3 s
- Conectores: Rosca externa 1/2" NPS Macho
- Normalmente cerrado
- Tipo de válvula: Diafragma
- Adecuado para agua y fluidos de baja viscosidad
- Dimensiones: 60*85*26
- No se recomienda para aplicaciones que usan solo la gravedad, por la presión mínima de funcionamiento

APLICACIONES

- Domótica
- Automatización Industrial
- Riego automatizado
- Agricultura de precisión

LINKS

- [Electroválvula](#)
- [Válvula solenoide](#)



Arduino Mega 2560 Datasheet



Summary

Microcontroller	ATmega2560
Operating Voltage	5V
Input Voltage (recommended)	7-12V
Input Voltage (limits)	6-20V
Digital I/O Pins	54 (of which 14 provide PWM output)
Analog Input Pins	16
DC Current per I/O Pin	40 mA
DC Current for 3.3V Pin	50 mA
Flash Memory	256 KB of which 8 KB used by bootloader
SRAM	8 KB
EEPROM	4 KB
Clock Speed	16 MHz

Power

The Arduino Mega can be powered via the USB connection or with an external power supply. The power source is selected automatically.

External (non-USB) power can come either from an AC-to-DC adapter (wall-wart) or battery. The adapter can be connected by plugging a 2.1mm center-positive plug into the board's power jack. Leads from a battery can be inserted in the Gnd and Vin pin headers of the POWER connector.

The board can operate on an external supply of 6 to 20 volts. If supplied with less than 7V, however, the 5V pin may supply less than five volts and the board may be unstable. If using more than 12V, the voltage regulator may overheat and damage the board. The recommended range is 7 to 12 volts.

The Mega2560 differs from all preceding boards in that it does not use the FTDI USB-to-serial driver chip. Instead, it features the Atmega8U2 programmed as a USB-to-serial converter.

TIP120, TIP121, TIP122 (NPN); TIP125, TIP126, TIP127 (PNP)

Plastic Medium-Power Complementary Silicon Transistors

Designed for general-purpose amplifier and low-speed switching applications.

Features

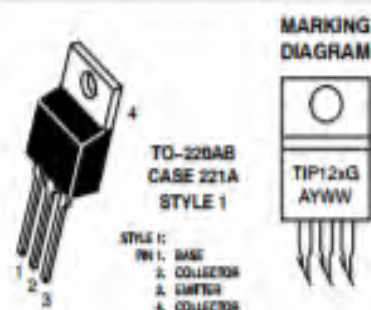
- High DC Current Gain =
 $h_{FE} = 2500$ (Typ) @ I_C
 $= 4.0$ A dc
- Collector-Emitter Sustaining Voltage = @ 100 mA dc
 $V_{CE(sat)} = 60$ V dc (Min) = TIP120, TIP125
 $= 80$ V dc (Min) = TIP121, TIP126
 $= 100$ V dc (Min) = TIP122, TIP127
- Low Collector-Emitter Saturation Voltage =
 $V_{CE(sat)} = 2.0$ V dc (Max) @ $I_C = 3.0$ A dc
 $= 4.0$ V dc (Max) @ $I_C = 5.0$ A dc
- Monolithic Construction with Built-In Base-Emitter Shunt Resistors
- Pb-Free Packages are Available*



ON Semiconductor®

www.onsemi.com

**DARLINGTON
5 AMPERE
COMPLEMENTARY SILICON
POWER TRANSISTORS
60–80–100 VOLTS, 65 WATTS**



TIP12x = Device Code
 x = 0, 1, 2, 5, 6, or 7
 A = Assembly Location
 Y = Year
 WW = Work Week
 G = Pb-Free Package

ORDERING INFORMATION

See detailed ordering and shipping information on page 3 of the data sheet.

*For additional information on our Pb-Free strategy and soldering details, please download the ON Semiconductor Soldering and Mounting Techniques Reference Manual, SOLDERRM/D.

TIP120, TIP121, TIP122 (NPN); TIP125, TIP126, TIP127 (PNP)

MAXIMUM RATINGS

Rating	Symbol	TIP120, TIP125	TIP121, TIP126	TIP122, TIP127	Unit
Collector-Emitter Voltage	V_{CEO}	60	60	100	Vdc
Collector-Base Voltage	V_{CB}	60	60	100	Vdc
Emitter-Base Voltage	V_{EB}	5.0			Vdc
Collector Current – Continuous – Peak	I_C	5.0 8.0			Adc
Base Current	I_B	120			mAdc
Total Power Dissipation @ $T_C = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	65 0.52			W W/ $^\circ\text{C}$
Total Power Dissipation @ $T_A = 25^\circ\text{C}$ Derate above 25°C	P_D	2.0 0.016			W W/ $^\circ\text{C}$
Undamped Inductive Load Energy (Note 1)	E	50			mJ
Operating and Storage Junction Temperature Range	T_J, T_{stg}	-65 to +150			$^\circ\text{C}$

THERMAL CHARACTERISTICS

Characteristic	Symbol	Max	Unit
Thermal Resistance, Junction-to-Case	$R_{\theta JC}$	1.92	$^\circ\text{C/W}$
Thermal Resistance, Junction-to-Ambient	$R_{\theta JA}$	62.5	$^\circ\text{C/W}$

Stresses exceeding those listed in the Maximum Ratings table may damage the device. If any of these limits are exceeded, device functionality should not be assumed, damage may occur and reliability may be affected.

1. $I_C = 1\text{ A}$, $L = 100\text{ mH}$, P.R.F. = 10 Hz, $V_{CE} = 20\text{ V}$, $R_{\theta JE} = 100\text{ }^\circ\text{C/W}$.

ELECTRICAL CHARACTERISTICS ($T_C = 25^\circ\text{C}$ unless otherwise noted)

Characteristic	Symbol	Min	Max	Unit
----------------	--------	-----	-----	------

OFF CHARACTERISTICS

Collector-Emitter Sustaining Voltage (Note 2) ($I_C = 100\text{ mAdc}$, $I_B = 0$)	TIP120, TIP125 TIP121, TIP126 TIP122, TIP127	$V_{CE(sus)}$	60 60 100	- - -	Vdc
Collector Cutoff Current ($V_{CE} = 30\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 40\text{ Vdc}$, $I_B = 0$) ($V_{CE} = 50\text{ Vdc}$, $I_B = 0$)	TIP120, TIP125 TIP121, TIP126 TIP122, TIP127	I_{CEO}	- - -	0.5 0.5 0.5	mAdc
Collector Cutoff Current ($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 60\text{ Vdc}$, $I_E = 0$) ($V_{CB} = 100\text{ Vdc}$, $I_E = 0$)	TIP120, TIP125 TIP121, TIP126 TIP122, TIP127	I_{CBO}	- - -	0.2 0.2 0.2	mAdc
Emitter Cutoff Current ($V_{EB} = 5.0\text{ Vdc}$, $I_C = 0$)		I_{EBO}	-	2.0	mAdc

ON CHARACTERISTICS (Note 2)

DC Current Gain ($I_C = 0.5\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$) ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	h_{FE}	1000 1000	- -	-
Collector-Emitter Saturation Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $I_B = 12\text{ mAdc}$) ($I_C = 5.0\text{ Adc}$, $I_B = 20\text{ mAdc}$)	$V_{CE(sat)}$	- -	2.0 4.0	Vdc
Base-Emitter On Voltage ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 3.0\text{ Vdc}$)	$V_{BE(on)}$	-	0.5	Vdc

DYNAMIC CHARACTERISTICS

Small-Signal Current Gain ($I_C = 3.0\text{ Adc}$, $V_{CE} = 4.0\text{ Vdc}$, $f = 1.0\text{ MHz}$)	h_{fe}	4.0	-	-
Output Capacitance ($V_{CB} = 10\text{ Vdc}$, $I_E = 0$, $f = 0.1\text{ MHz}$)	C_{ob}	-	300 200	pF

Product parametric performance is indicated in the Electrical Characteristics for the listed test conditions, unless otherwise noted. Product performance may not be indicated by the Electrical Characteristics if operated under different conditions.

2. Pulse Test: Pulse Width $\leq 300\text{ } \mu\text{s}$, Duty Cycle $\leq 2\%$

TIP120, TIP121, TIP122 (NPN); TIP125, TIP126, TIP127 (PNP)

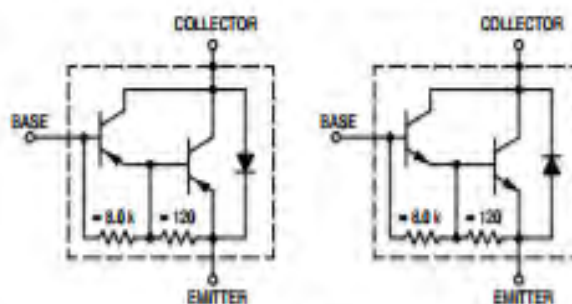


Figure 1. Darlington Circuit Schematic

ORDERING INFORMATION

Device	Package	Shipping
TIP120	TO-220	50 Units / Rail
TIP120G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP121	TO-220	50 Units / Rail
TIP121G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP122	TO-220	50 Units / Rail
TIP122G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP125	TO-220	50 Units / Rail
TIP125G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP126	TO-220	50 Units / Rail
TIP126G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail
TIP127	TO-220	50 Units / Rail
TIP127G	TO-220 (Pb-Free)	50 Units / Rail

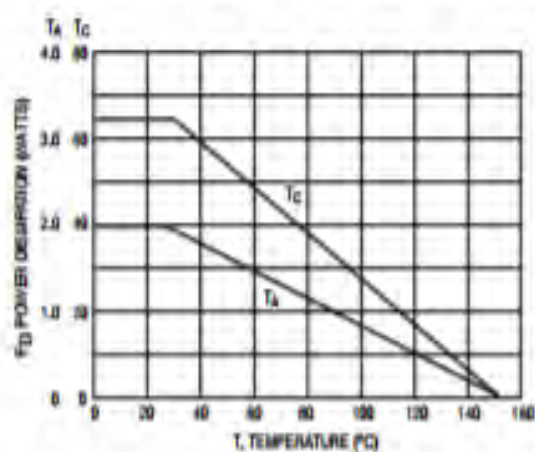
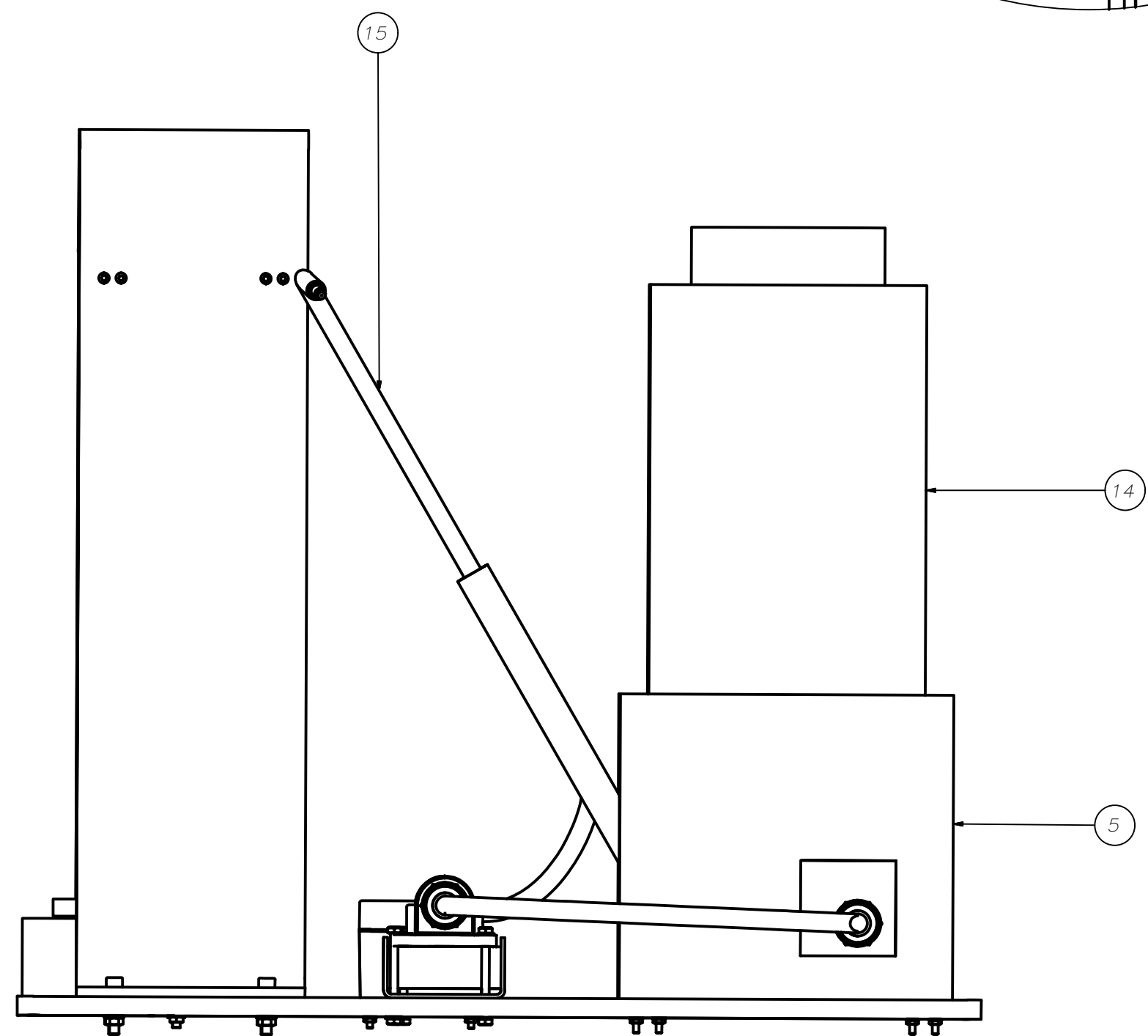
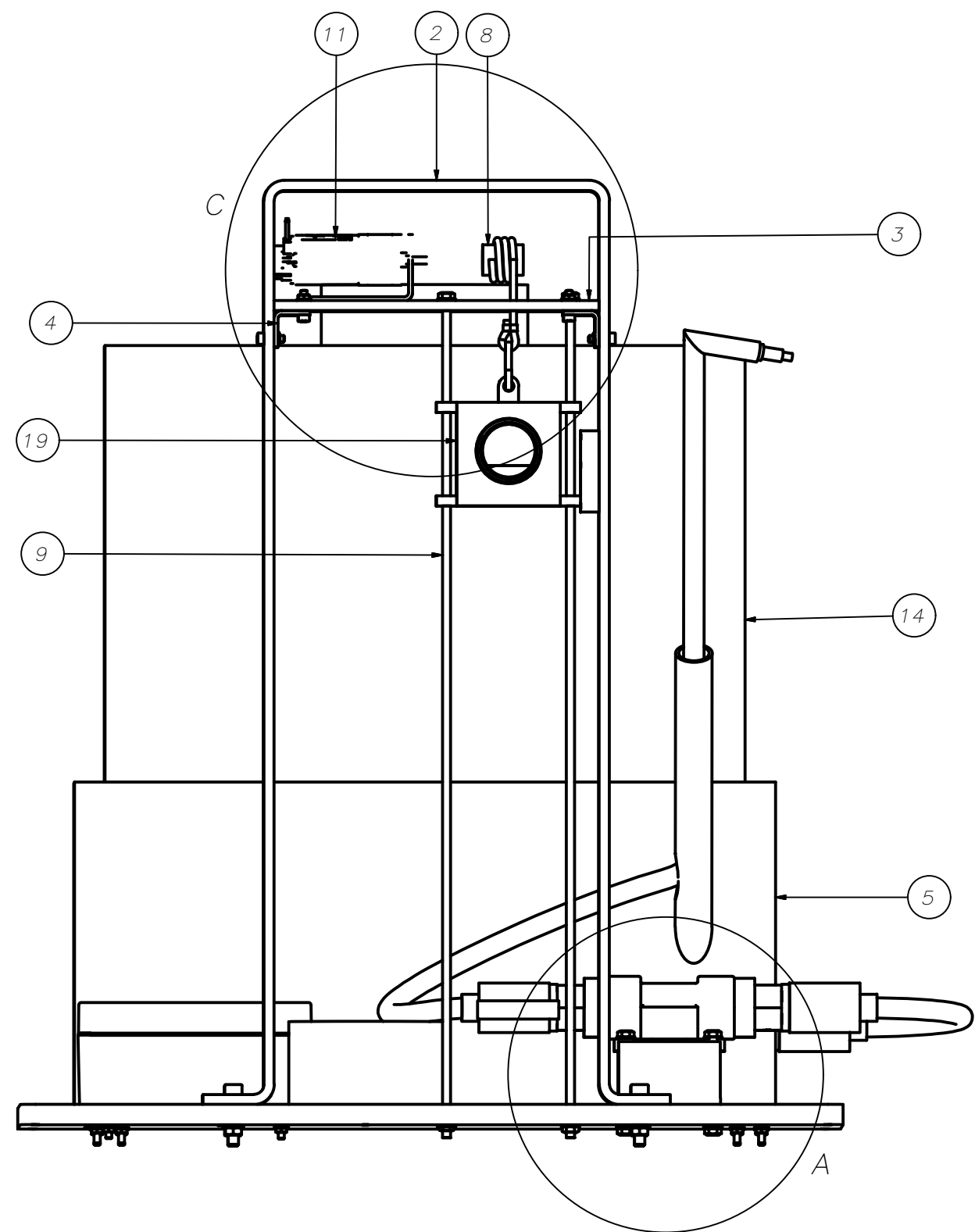
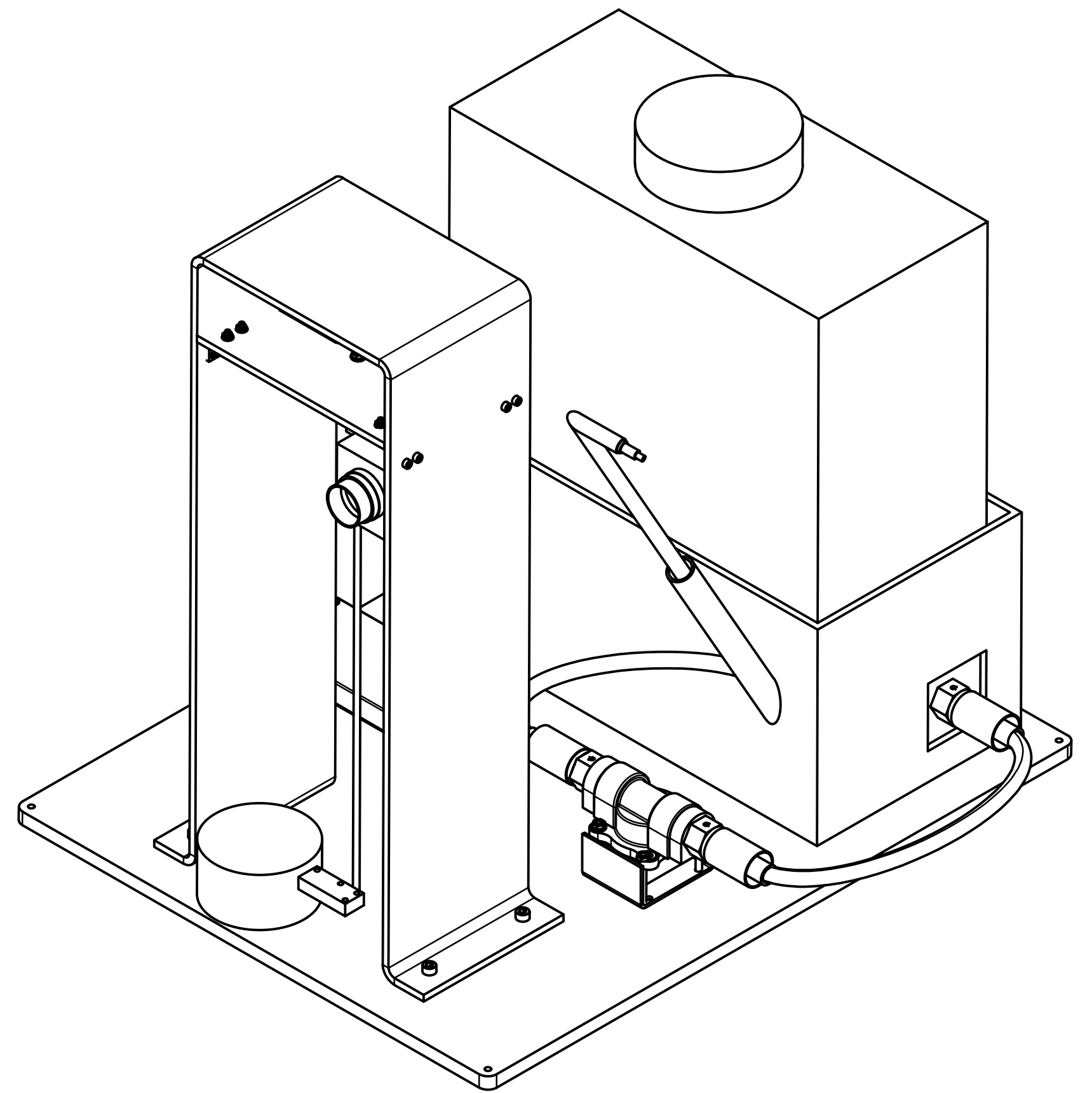
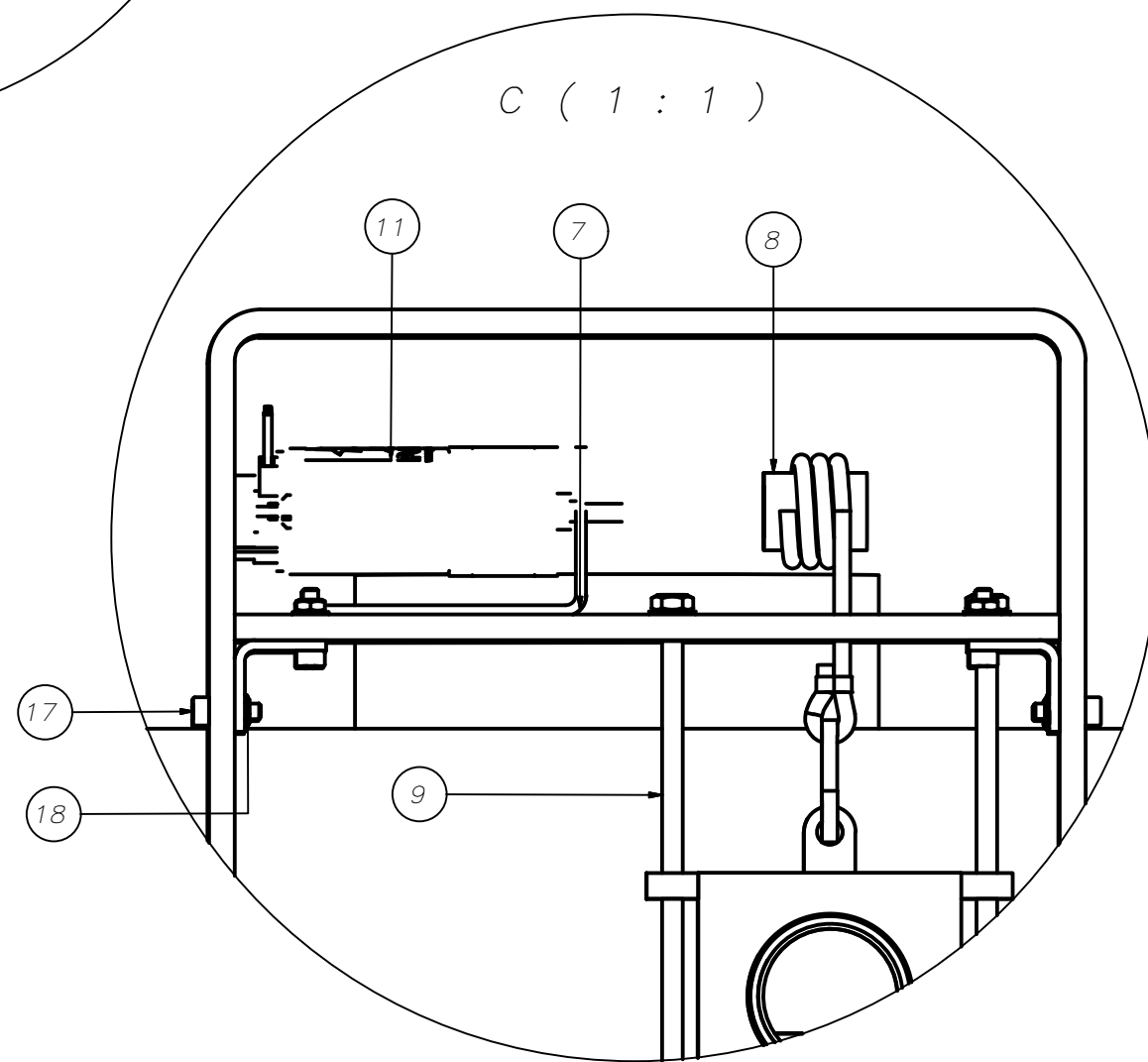
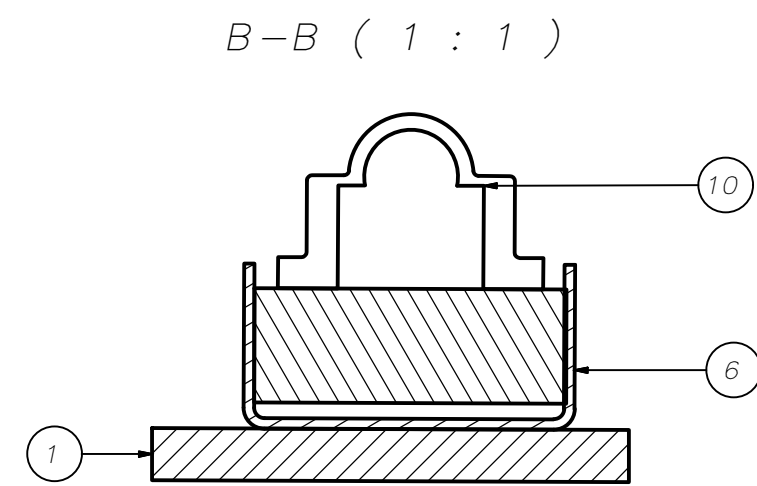
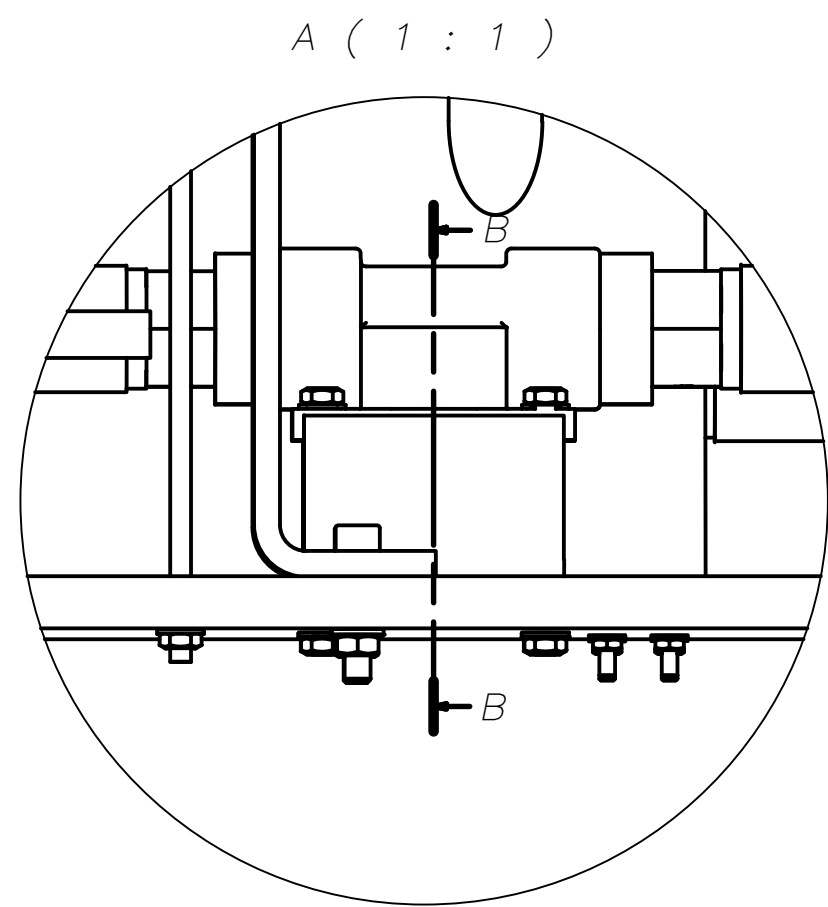
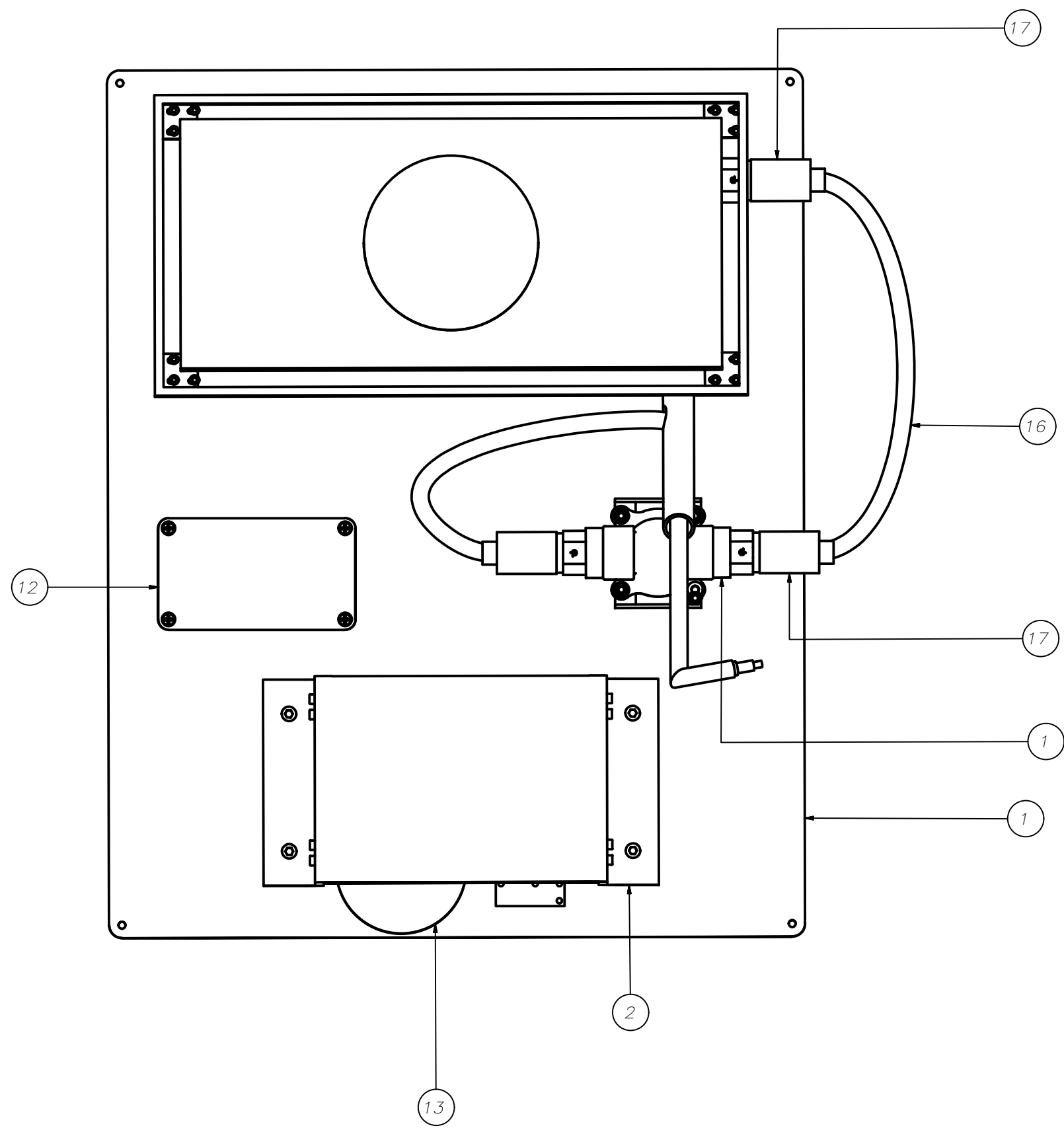
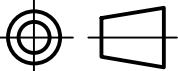
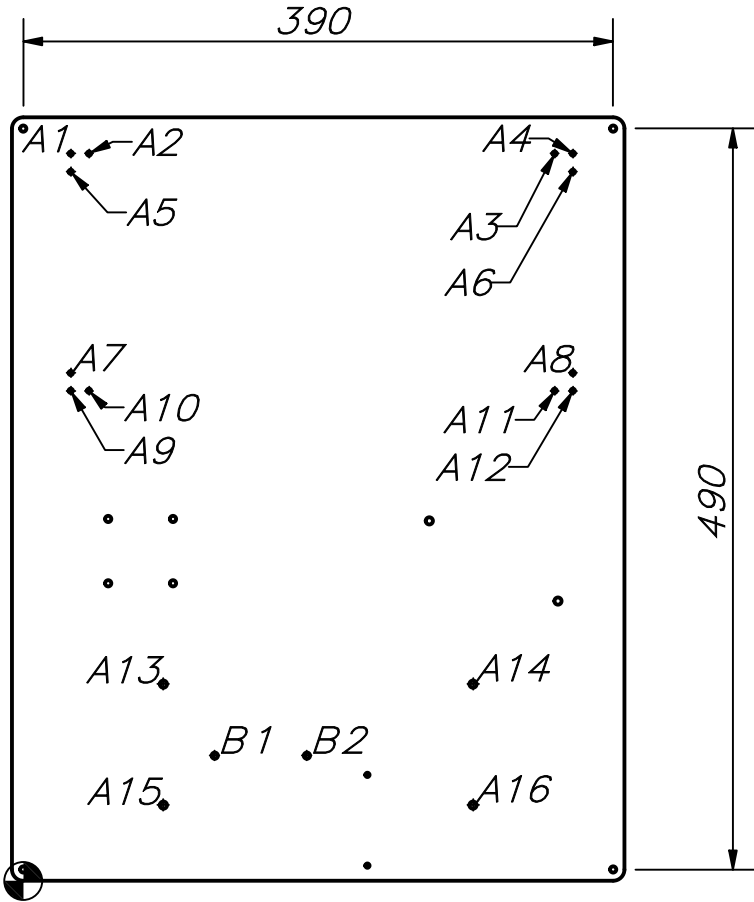


Figure 2. Power Derating

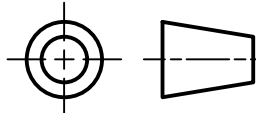


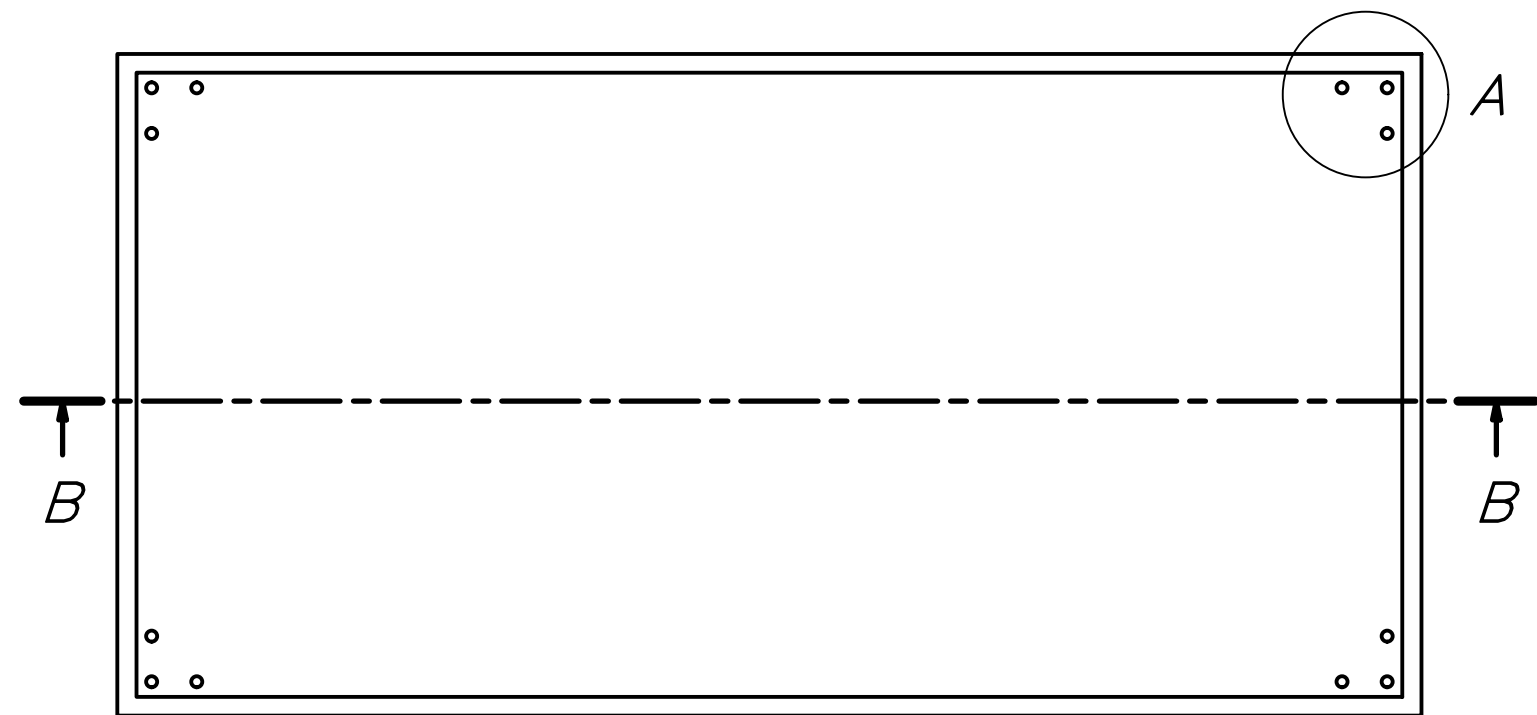
PARTS LIST					
18	8	TUERCA M4	DIN 125		
17	8	PERNO ALLEN M4	DIN 912		
16	2	Manguera de agua	DIN 934		
15	1	Tablero de salida de agua	"		
14	1	Tanque de agua	PVC	10L	
13	1	Sensor de fin de carrera			
12	1	Tablero electrico			
11	1	Motor DC			
10	1	Electrovalvula	"	12V	
9	2	Barra guia de sensor	ALUMINIO 6061	P007	
8	1	Cabrestante	ACERO		
7	1	Soporte L de motor DC	ALUMINIO 6061	P008	
6	1	Soporte de electrovalvula	ALUMINIO 6061	P004	
5	1	Soporte de tanque	ALUMINIO 6061	P003	
4	2	Unión Carcasa y Soporte	ALUMINIO 6061	P006	
3	1	Carcasa cámara 1 y 2	ALUMINIO 6061	P009 P0010	
2	1	Carcasa	ALUMINIO 6061	P005	
1	1	Base Summit XL	ALUMINIO 6061	P002	
POS. CANT.	DESCRIPCION		NORMA	MATERIAL	OBSERVACIONES
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD DE ING. MECATRONICA					
METODO DE PROYECCION			MTR280 – 10M1		ESCALA
			SISTEMA DE RIEGO		1:1
H1M01			FECHA: 2017.07.07		
DISEÑADO: E.ROJAS	DIBUJADO: E.ROJAS	REVISADO: F.CUELLAR	APROBADO: F.CUELLAR	LÁMINA: PE01 – A1	
FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07		

HOLE TABLE					
AGUJERO	X	Y	Ø		
A1	31,5	481,0	3,0		
A2	43,5	481,0	3,0		
A3	351,5	481,0	3,0		
A4	363,5	481,0	3,0		
A5	31,5	469,0	3,0		
A6	363,5	469,0	3,0		
A7	31,5	336,0	3,0		
A8	363,5	336,0	3,0		
A9	31,5	324,0	3,0		
A10	43,5	324,0	3,0		
A11	351,5	324,0	3,0		
A12	363,5	324,0	3,0		
A13	92,5	130,2	5,0		
A14	297,5	130,2	5,0		
A15	92,5	50,2	5,0		
A16	297,5	50,2	5,0		
B1	126,5	82,9	4,0		
B2	187,5	82,9	4,0		
TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

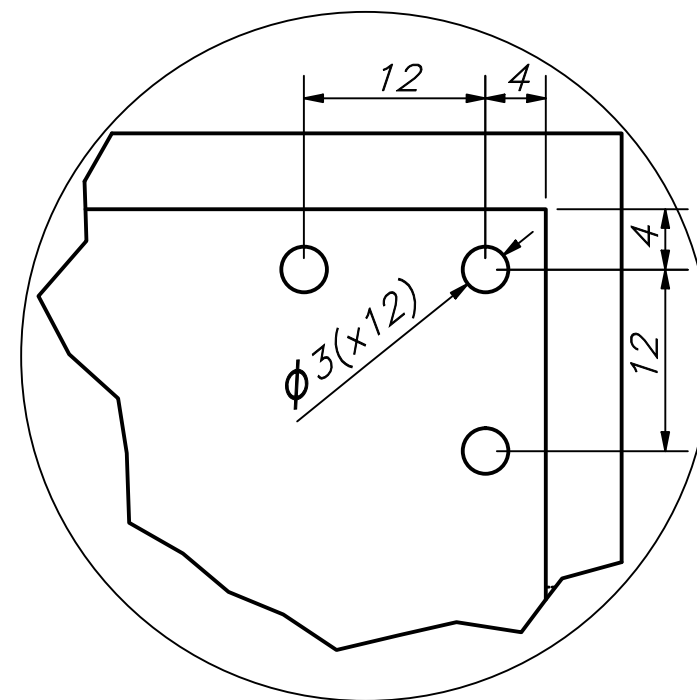
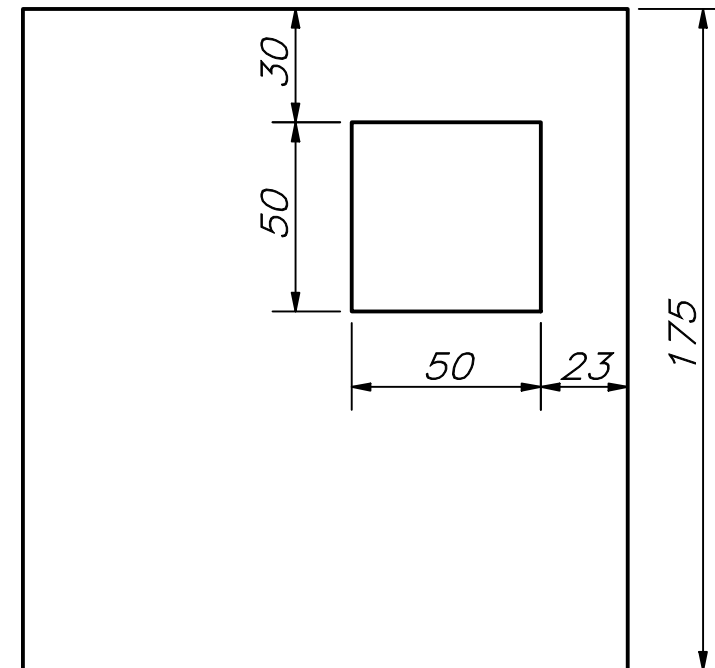
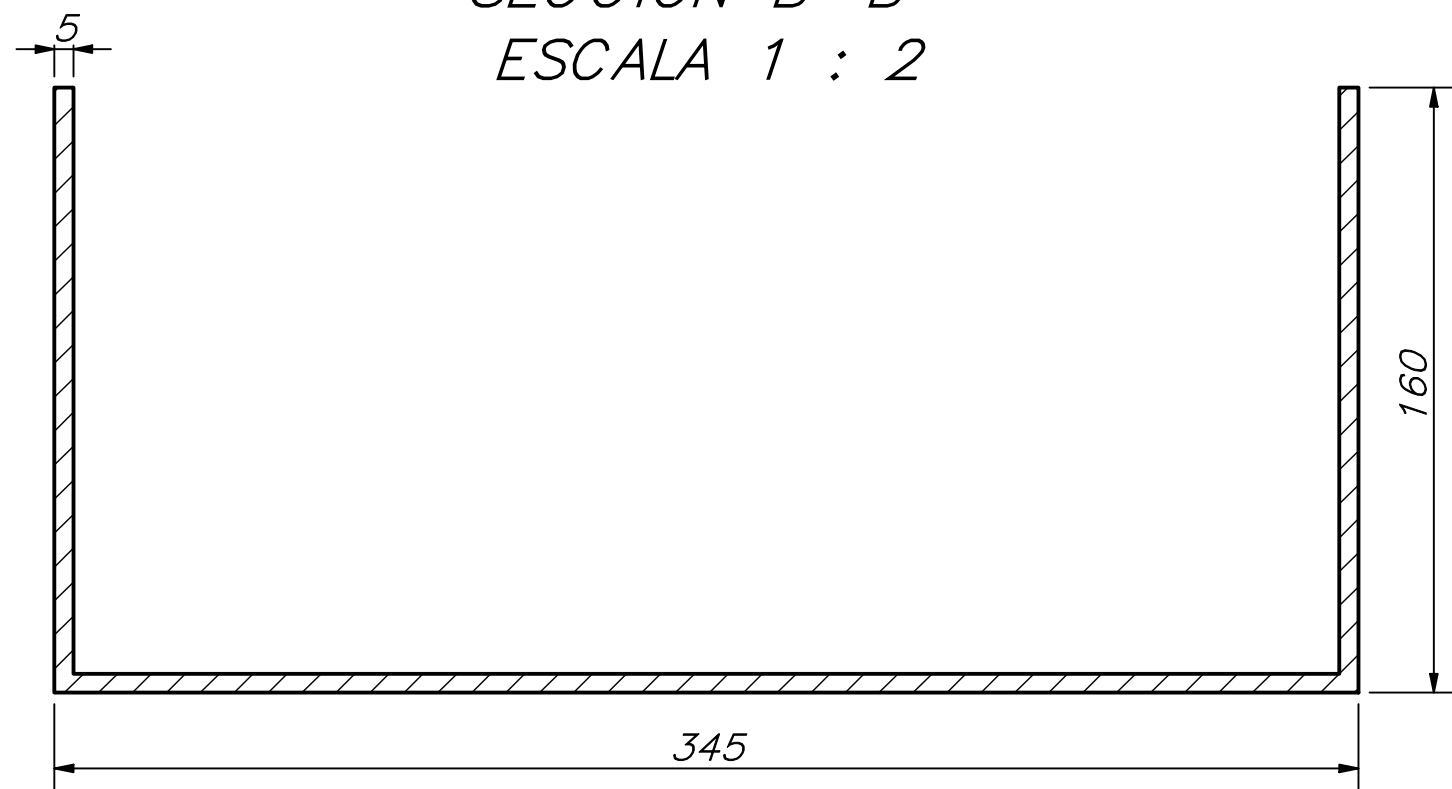


ESPESOR 10mm

ACABADO SUPERFICIAL		TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL AA 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – ING. MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		MTR280 – 10M1 BASE			ESCALA 1:5
H10M1					FECHA: 2017.07.07
DISEÑADO: E. ROJAS		DIBUJADO: E. ROJAS	REVISADO: F. CUELLAR	APROBADO: F. CUELLAR	LÁMINA: PDDD2 – A3
FECHA: 2017.07.07		FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	

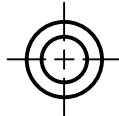
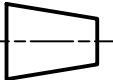


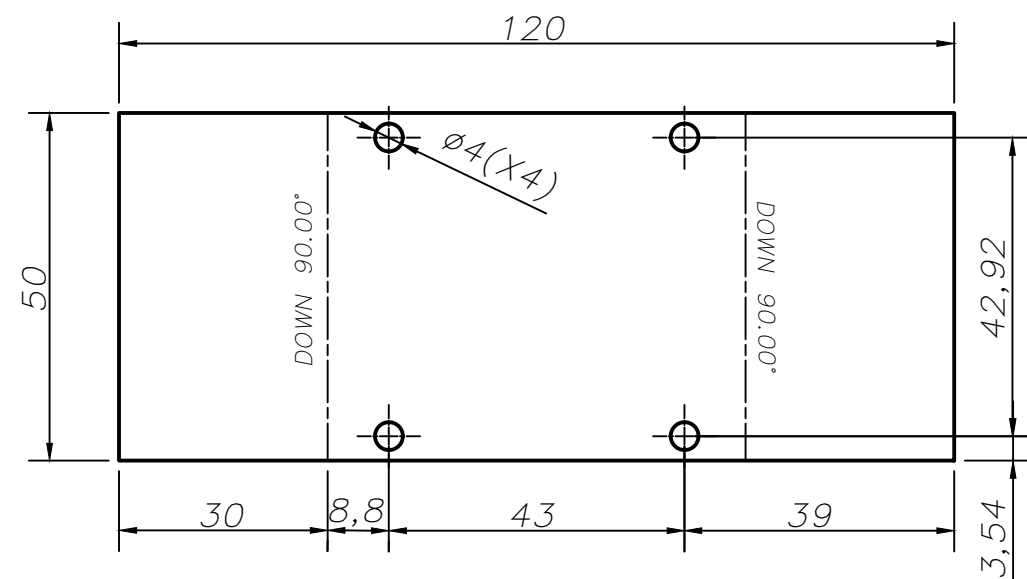
SECCION B-B
ESCALA 1 : 2



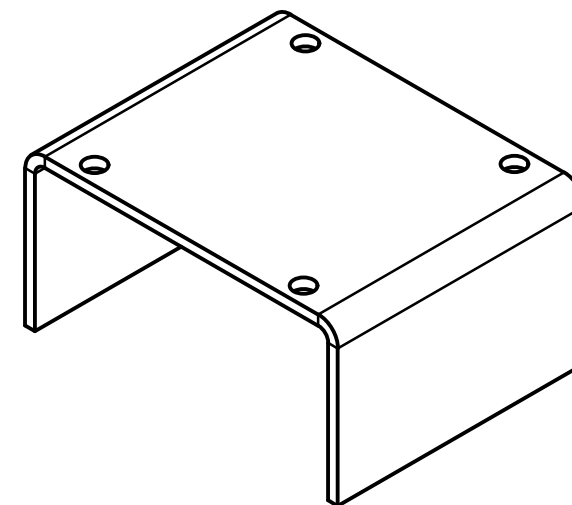
DETALLE A
ESCALA 2 : 1

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5

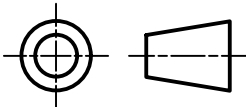
ACABADO SUPERFICIAL 		TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL AA 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – ING. MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN  		MTR280 – 10M1		ESCALA 1:2	
H10M1		SOPORTE DE TANQUE		FECHA: 2017.07.07	
DISEÑADO: E. ROJAS		DIBUJADO: E. ROJAS	REVISADO: F. CUELLAR	APROBADO: F. CUELLAR	LÁMINA: PDDD3 – A3
FECHA: 2017.07.07		FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	

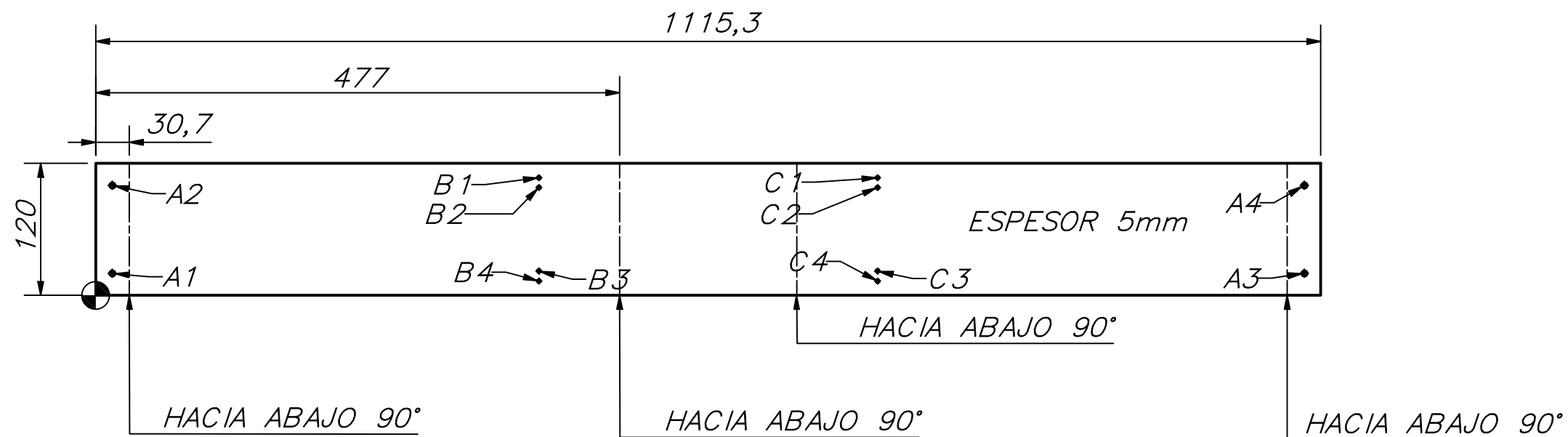


ESPESOR 4mm



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
BASTO	±0,15	±0,2	±0,5	±0,8	±1,2

ACABADO SUPERFICIAL 3,2/ ▽		TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL AA 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD ING. MECATRONICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		MTR280 – 10M1 SOPORTE DE ELECTROVALVULA			ESCALA 1:1
H10M1					FECHA: 2017.07.07
DISEÑADO: E.ROJAS	DIBUJADO: E.ROJAS	REVISADO: F.CUELLAR	APROBADO: F.CUELLAR	LÁMINA: PDDD4 – A3	
FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07		



DESARROLLO

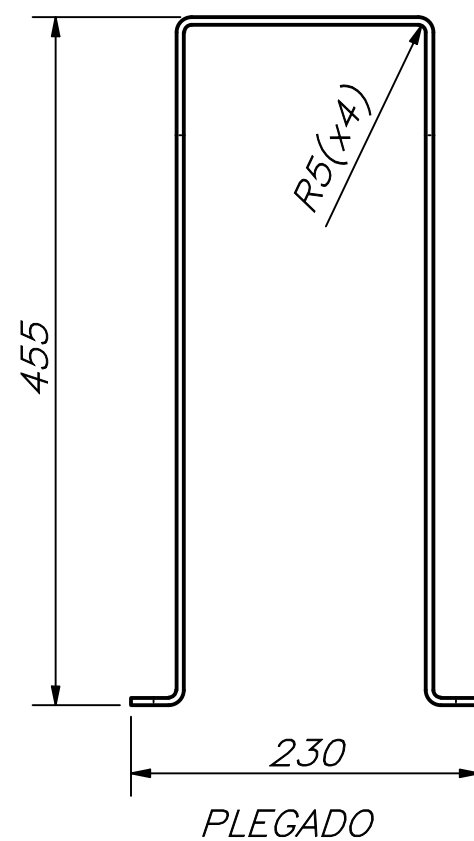
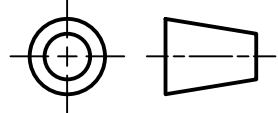
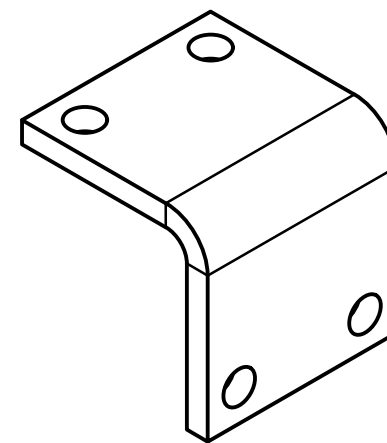
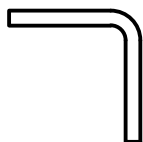
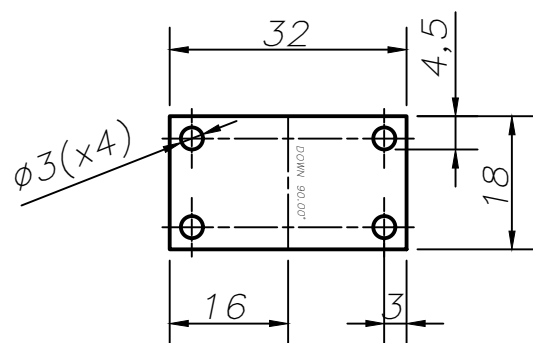
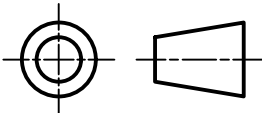


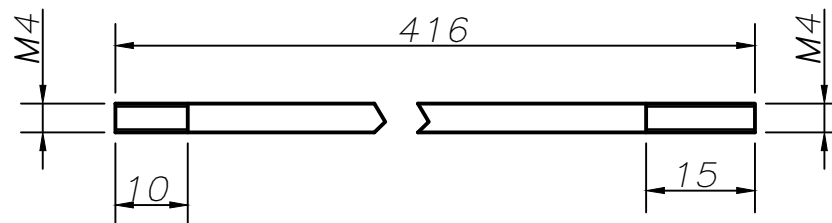
TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	X	Y	Ø
A1	15,0	20,0	5,0
A2	15,0	100,0	5,0
A3	1100,2	20,0	5,0
A4	1100,2	100,0	5,0
B1	403,4	107,0	3,0
B2	403,4	98,0	3,0
B3	403,4	22,0	3,0
B4	403,4	13,0	3,0
C1	711,8	107,0	3,0
C2	711,8	98,0	3,0
C3	711,8	22,0	3,0
C4	711,8	13,0	3,0
ACABADO SUPERFICIAL		TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168 G MEDIO	MATERIAL AA 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – ING. MECATRÓNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	MTR280 – 10M1		ESCALA 1:5
H10M1			FECHA: 2017.07.07
DISEÑADO: E. ROJAS	DIBUJADO: E. ROJAS	REVISADO: F. CUELLAR	APROBADO: F. CUELLAR
FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07
LÁMINA: PDDD5 – A3			

TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGÚN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
MEDIO	±0,1	±0,1	±0,2	±0,3	±0,5



TOLERANCIAS DIMENSIONALES SEGUN DIN 7168					
GRADO DE EXACTITUD	Más de 0,5 hasta 3	Más de 3 hasta 6	Más de 6 hasta 30	Más de 30 hasta 120	Más de 120 hasta 400
BASTO	±0,15	±0,2	±0,5	±0,8	±1,2

ACABADO SUPERFICIAL 		TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL AA 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERÍA – ESPECIALIDAD ING. MECATRONICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		MTR280 – 10M1 UNIÓN CARCASA Y SOPORTE			ESCALA 1:1
H10M1					FECHA: 2017.07.07
DISEÑADO: E.ROJAS		DIBUJADO: E.ROJAS	REVISADO: F.CUELLAR	APROBADO: F.CUELLAR	LÁMINA: PDD6 – A4
FECHA: 2017.07.07		FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	



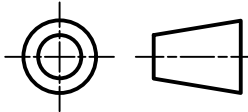
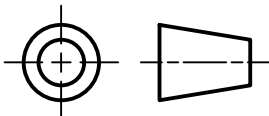
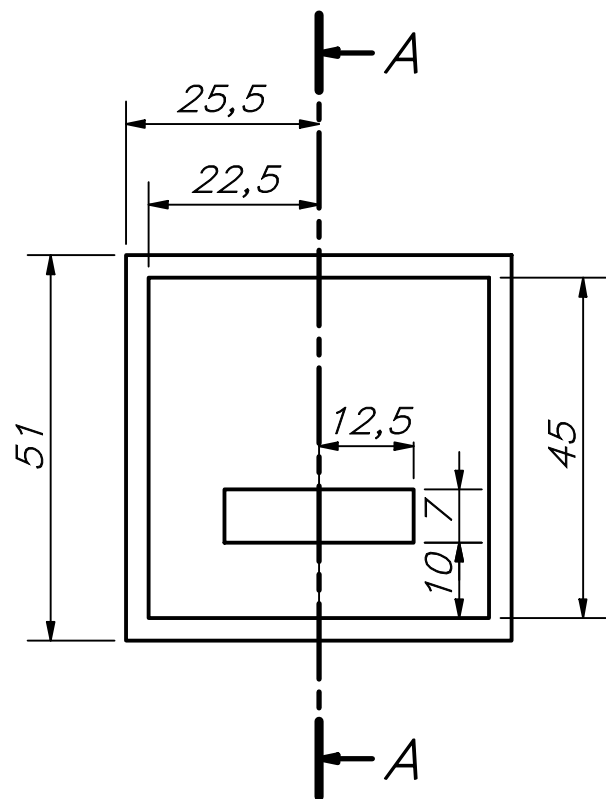
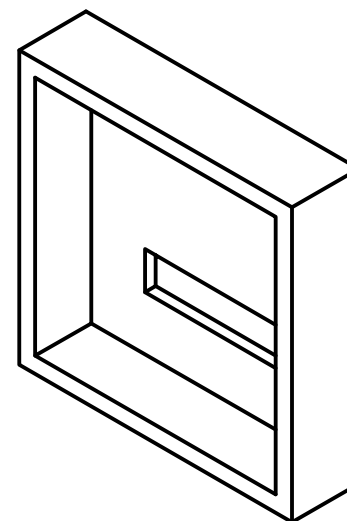
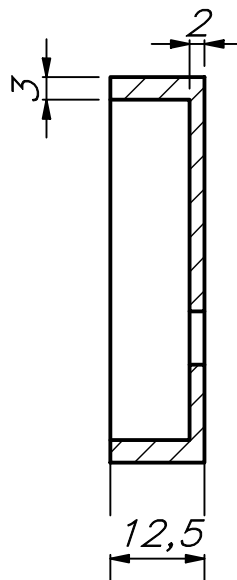
ACABADO SUPERFICIAL		TOLERANCIA GENERAL SEGUN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL AA 6061	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ FACULTAD DE CIENCIAS E INGENIERIA – ESPECIALIDAD ING. MECATRONICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		MTR280 – 10M1			ESCALA
		BARRA GUIA DE SENSOR			1:1
H10M1					FECHA: 2017.07.07
DISEÑADO: E.ROJAS		DIBUJADO: E.ROJAS	REVISADO: F.CUELLAR	APROBADO: F.CUELLAR	LÁMINA: PDDD7 – A4
FECHA: 2017.07.07		FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	

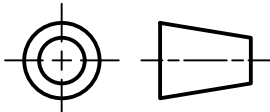


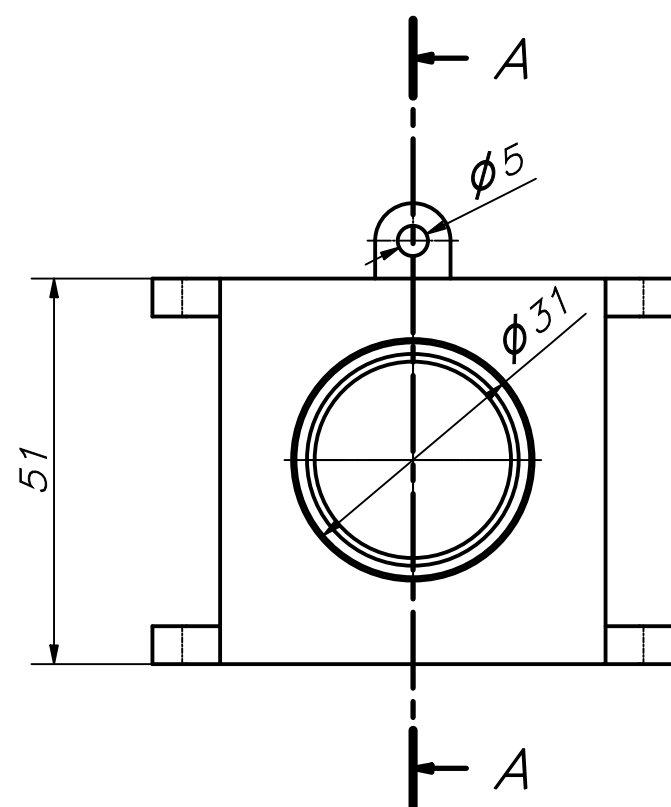
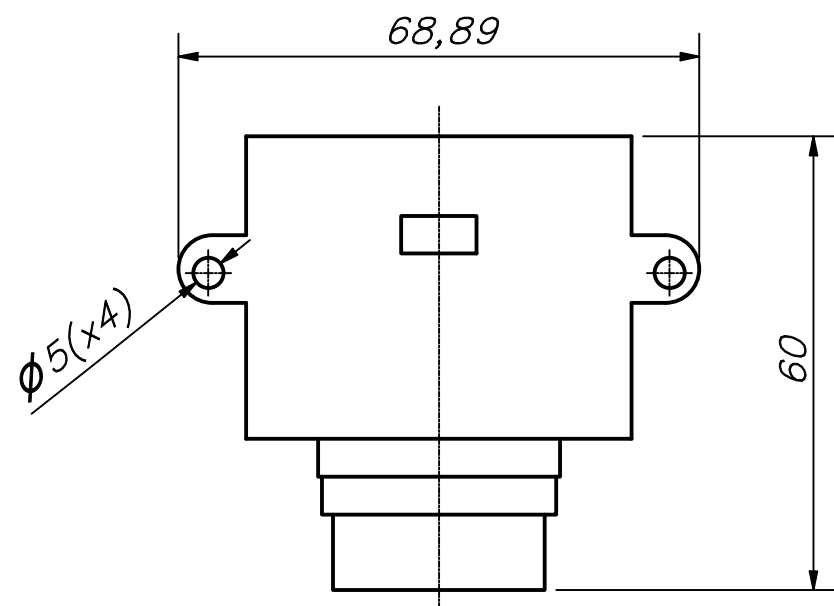
TABLA DE AGUJEROS			
AGUJERO	X	Y	Ø
A1	13,7	107,0	3,0
A2	13,7	98,0	3,0
A3	13,7	22,0	3,0
A4	13,7	13,2	3,0
A5	22,6	66,6	3,0
A6	35,3	66,6	3,0
A7	48,0	66,6	3,0
A8	60,7	66,6	3,0
A9	146,3	107,0	3,0
A10	146,3	98,0	3,0
A11	146,3	22,0	3,0
A12	146,3	13,2	3,0
B1	85,0	52,9	4,0
B2	146,0	52,9	4,0
C1	118,0	56,0	6,0
ACABADO SUPERFICIAL	TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL AA 6061
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – ING. MECATRÓNICA			
MÉTODO DE PROYECCIÓN 	MTR280 – 10M1 SOPORTE MECANISMO		ESCALA 1:2
H10M1			FECHA: 2017.07.07
DISEÑADO: E. ROJAS	DIBUJADO: E. ROJAS	REVISADO: F. CUELLAR	APROBADO: F. CUELLAR
FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07
LÁMINA: PDD8 – A4			



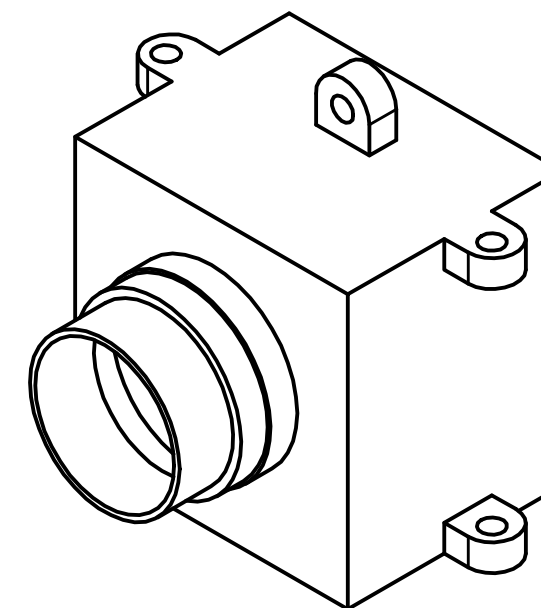
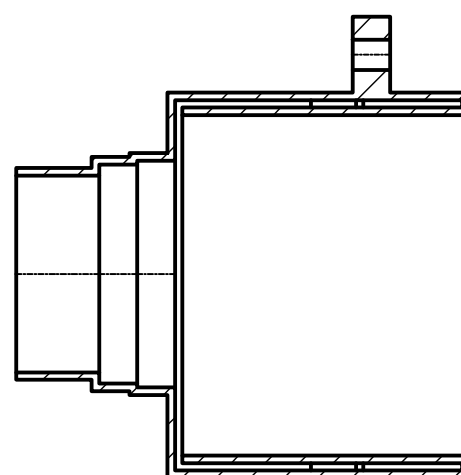
SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 1

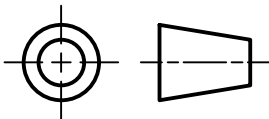


ACABADO SUPERFICIAL		TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL ALUMIDE	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – ING. MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN 		MTR280 – 10M1			ESCALA 1:1
H10M1		CARCASA CAMARA 1			
DISEÑADO: E. ROJAS		DIBUJADO: E. ROJAS	REVISADO: F. CUELLAR	APROBADO: F. CUELLAR	FECHA: 2017.07.07
FECHA: 2017.07.07		FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	LÁMINA: PDD9 – A4



SECCION A-A
ESCALA 1 : 1



ACABADO SUPERFICIAL		TOLERANCIA GENERAL SEGÚN DIN 7168 G MEDIO		MATERIAL ALUMIDE	
PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ CIENCIAS E INGENIERÍA – ING. MECATRÓNICA					
MÉTODO DE PROYECCIÓN		MTR280 – 10M1			ESCALA
		CARCASA CAMARA 2			1:1
H10M1					FECHA: 2017.07.07
DISEÑADO: E. ROJAS	DIBUJADO: E. ROJAS	REVISADO: F. CUELLAR	APROBADO: F. CUELLAR	LÁMINA: PDD10 – A3	
FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07	FECHA: 2017.07.07		