



UNIVERSIDAD DE CASTILLA - LA MANCHA
ESCUELA DE INGENIERÍA INDUSTRIAL DE
TOLEDO

TRABAJO FIN DE GRADO Nº 19-B-225092

**Robot Modular para la Enseñanza y Ocio
(ROMEO)**



Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Director:

Francisco Moya Fernández

Mayo 2019

Índice general

Índice general	2
Resumen.....	4
Abstract.....	7
Capítulo 1. Introducción	9
1.1. Robot modular ROMEO.	9
1.1.1. Módulos Principales:.....	9
1.1.2. Módulos Secundarios:	10
1.1.3. Aplicaciones.....	10
Capítulo 2. Antecedentes	11
2.1. Robótica modular.....	11
2.1.1. Clasificación de robots modulares según capacidad de configuración.	11
2.1.2. Clasificación de robots modulares según su conexión y estructura.....	12
2.1.3. Clasificación de robots modulares según su locomoción.	12
2.1.4. Lista de robots modulares.	12
2.1.5. Conector o Docking.	13
2.1.6. Métodos de comunicación entre módulos.....	13
2.1.7. Alimentación de los módulos.....	13
2.2. Ejemplos de robots modulares.....	15
2.2.1. Polypod.	15
2.2.2. Polybot.	17
2.2.3. M-TRAN.	18
2.2.4. CONRO.....	22
2.2.5. ATRON.....	24
2.2.6. SuperBot.	26
2.2.7. LineForm.	28
2.2.8. ChainForm.....	29
2.2.9. Robo-Wunderkind.	31
2.2.10. MODI.	32
2.2.11. LEGO MINDSTORM.....	32
Capítulo 3. Objetivos	33
3.1. Definición de objetivos.....	33

Capítulo 4. Procedimiento	35
4.1. Diferencias con Scrum.	35
4.1.1. Roles.....	35
4.1.2. Planificación de sprints	36
4.1.3. Flujo de trabajo.	36
4.1.4. Herramientas de ayuda.....	36
Capítulo 5. Desarrollo del proyecto.....	37
5.1. Diseño mecánico del robot.....	37
5.1.1. Factores generales en el diseño.	37
5.1.2. Modelado 3D.....	38
5.1.3. Módulo de control.....	39
5.1.4. Módulo de comunicación.	40
5.1.5. Módulo de alimentación.....	41
5.1.6. Módulo de locomoción.....	42
5.1.7. Módulo de sensor.....	43
5.1.8. Conector.....	44
5.1.9. Problemas en el desarrollo mecánico del robot.....	46
5.2. Diseño electrónico del robot.....	47
5.2.1. Alimentación del robot.	47
5.2.2. Conector.....	50
5.2.3. Conexiones digitales del robot.....	52
5.2.5. Microcontrolador del robot.	54
5.2.6. NodeMCU V3.....	57
5.3. Diseño lógico	64
5.3.1. Estructura general.....	64
5.3.2. Protocolo	64
5.3.3. Controlador.....	67
5.3.4. Dispositivos	68
5.3.5. Utilidades.....	68
Capítulo 6. Conclusiones	69
6.1. Realización de los objetivos.	69
6.2. Resultados.	69
6.3. Discusión de resultados.	71
6.4. Trabajos futuros.	71
ANEXOS	73
Planos de los módulos.....	73

Resumen

La idea general del proyecto consiste en un prototipo de robot modular de juguete, formado por diferentes módulos o piezas que ejecutan diferentes funciones de locomoción, comunicación, detección y obtención de señales... etc. Una vez unidos estos módulos, se consigue formar un robot complejo que realiza una variedad de operaciones.

La idea principal del proyecto es el diseño totalmente personalizado de los módulos del robot, tanto en las funciones que cumple el módulo como en el diseño físico del mismo. Cada módulo diseñado debe cumplir una función básica y según se vayan juntando los diferentes módulos se formará un robot complejo que ejecuta un gran número de acciones y operaciones.

El diseño de los módulos está pensado para que el propio diseñador cree su propio diseño de carcasa para el módulo según sus deseos, con un modelo 3D imprimible y personalizable. Además, debe cumplir una función que ellos mismos elijan, siendo esta función, la ejecución de una tarea básica, dentro de la variedad de tareas que pueda ejecutar el robot complejo.

Los módulos son conectados entre sí mediante una conexión magnética, a través de unos imanes colocados en los laterales de un conector genérico que ha sido diseñado a parte para que pueda ser usado en cada uno de los módulos creados. Este conector está pensado para poder añadir sensores simples, motores DC, servomotores y baterías al robot modular general. El contacto de los conectores se realiza mediante un sistema de **Pogo-Pin**, es decir, realiza la unión en un extremo mediante un muelle que empuja un conductor (*Pogo-Pin macho*) ajustándolo al otro extremo, que sería un conductor fijo (*Pogo-Pin hembra*).

En el robot se ha intentado reducir el cableado lo máximo posible, destinando los cables a una función puramente de alimentación, en su mayoría, dejando las tareas de comunicación de datos a una red inalámbrica creada entre los propios módulos mediante una red Wi-Fi. Ejerciendo el módulo de control la función de punto de acceso y los módulos de comunicación y el pc de estaciones que se conectan a este punto de acceso.

Los cables que se destinan a un uso distinto al de alimentación son los destinados a la conexión y comunicación directa con los elementos conectados al módulo de comunicación, ya que no puede realizarse de forma inalámbrica. Por esta razón, los conectores están pensados para poder cargar únicamente elementos simples (como son motores DC, sensores de distancia por ultrasonidos, servomotores, etc.). Y es por esta razón también por la que los conectores disponen únicamente de cuatro pines de conexión que serían la alimentación y dos señales digitales para poder realizar la transmisión de los datos.

Resumen.

El robot que se ha diseñado en el proyecto es un prototipo formado por cinco módulos distintos denominados como: *Módulo de Control*, *Módulo de Comunicación*, *Módulo de Locomoción*, *Módulo de Alimentación* y *Módulo de Sensor*.

Los módulos más importantes, ya que sus funciones son las de gestionar todos los datos y todas las señales transmitidas entre todos los módulos, son el módulo de comunicación y el módulo de control.

El **Módulo de Sensor** dispone de un sensor montado en él para llevar las señales desde este sensor hasta el módulo de comunicación y desde el módulo de comunicación hasta el sensor, si fuese necesario, permitiendo al robot obtener señales del exterior de diferentes formas. Estos módulos van conectados a los diferentes módulos de comunicación, estableciendo la conexión robot-sensor.

El **Módulo de Alimentación** es el encargado de suministrar la energía al robot. Este módulo está formado por una batería Li-Po. Este módulo estará conectado al módulo de control, y desde allí, reparte toda la corriente de alimentación principal a través de los conectores, pero también podría adaptarse para poder conectarlo a un módulo de comunicación, para que este pueda separarse del módulo de control.

El **Módulo de Locomoción** es el encargado de realizar los movimientos del robot según las órdenes recibidas. Este módulo está formado por dos motores DC, uno a cada lado del robot, una rueda loca, encargada de realizar los giros del robot según se activen los motores, un conversor de tensión para alimentar a los motores y un controlador de motores DC. Va conectado al módulo de control.

El **Módulo de Control** es el encargado de establecer todas las comunicaciones y sirve de conexión entre el exterior y el robot. Su función principal es la de gestionar y dirigir todos los mensajes u órdenes enviados entre el exterior y los módulos de comunicación conectados a él. Además, en este proyecto, por motivos de reducción de material y de simplificación del robot, este módulo ejerce una función secundaria con el módulo de locomoción siendo el encargado de gestionar las señales de activación y control de los motores hacia estos, actuando como un módulo de comunicación. De esta forma, el movimiento del robot está ejecutado por el módulo de locomoción, pero el control de los motores y del movimiento del robot está dirigido por el módulo de control. Este módulo está formado por una placa 5V y una placa MCU, y es uno de los módulos principales del robot y al que, en caso normal, van conectados los otros módulos.

El **Módulo de Comunicación** es el encargado de controlar los módulos secundarios conectados al robot, según las órdenes del exterior. Su función principal en este proyecto es la de establecer un puente de comunicación entre el módulo de control y los módulos de sensores conectados, enviando las señales obtenidas por los sensores al módulo de control y recibiendo las órdenes del exterior a través del módulo de control. Está formado por una placa 5V y una placa MCU, al igual que el módulo de control. Su posición normal es ir conectado al módulo de control, aunque puede ir separado de él, si se alimenta de forma independiente.

A nivel de software, la comunicación entre los módulos de comunicación y de control está basada en un protocolo de comunicación propio que envía y recibe un tipo especial de mensaje que contiene los datos necesarios para la comunicación, estos datos son enviados a través de un PC externo por el usuario, que es el encargado de mandar las órdenes, que se conecta al módulo de control que actúa como punto de acceso de una red inalámbrica Wi-Fi. El módulo de comunicación se conecta también al módulo de

Resumen.

control de forma que los mensajes que se envíen al módulo de comunicación serán enviados a través del módulo de control.

Abstract

The general idea of the project consists of a prototype of modular toy robot, formed by different modules or pieces that perform different functions of locomotion, communication, detection and obtaining of signals, ... etc. Once these modules are united, it is possible to form a complex robot that performs a variety of operations.

The main idea of the project is the totally customized design of the robot modules, both in the functions that the module fulfills and in its physical design. Each module designed must fulfill a basic function and as the different modules are put together a complex robot will be formed that executes a large number of actions and operations.

The design of the modules is designed so that the designer himself creates his own housing design for the module according to his wishes, with a printable and customizable 3D model. In addition, it must fulfill a function that they themselves choose, being this function, the execution of a basic task, within the variety of tasks that the complex robot can execute.

The modules are connected to each other by a magnetic connection, through magnets placed on the sides of a generic connector that has been designed separately so that it can be used in each of the modules created. This connector is designed to be able to add simple sensors, DC motors, servomotors and batteries to the general modular robot. The contact of the connectors is carried out by means of a Pogo-Pin system, that is to say, the connection is made at one end by means of a spring that pushes a conductor (Pogo-Pin male) adjusting it to the other end, which would be a fixed conductor (Pogo-Female pin).

The robot has tried to reduce the wiring as much as possible, assigning the cables to a purely power function, mostly, leaving the tasks of data communication to a wireless network created between the modules themselves through a Wi-Fi network. Exercising the control module, the access point function and the communication modules and the PC stations that are connected to this access point.

The cables that are intended for use other than power supply are those intended for connection and direct communication with the elements connected to the communication module, since it cannot be done wirelessly. For this reason, the connectors are designed to be able to load only simple elements (such as DC motors, ultrasonic distance sensors, servomotors, ... etc.). And it is for this reason also that the connectors have only four connection pins that would be the power supply and two digital signals to be able to carry out the transmission of the data.

The robot that has been designed in the project, is a prototype formed by five different modules named as: Control Module, Communication Module, Locomotion Module, Power Module and Sensor Module.

The most important modules, since their functions are to manage all the data and all the signals transmitted between all the modules, are the communication module and the control module.

Abstract.

The **Sensor Module** has a sensor mounted on it to carry the signals from this sensor to the communication module and from the communication module to the sensor, if necessary, allowing the robot to obtain signals from the outside in different ways. These modules are connected to the different communication modules, establishing the robot-sensor connection.

The **Power Module** is responsible for supplying the power to the robot. This module is formed by a Li-Po battery. This module will be connected to the control module, and from there, it distributes all the main power current through the connectors but could also be adapted to be connected to a communication module, so that it can be separated from the control module.

The **Locomotion Module** is responsible for carrying out the movements of the robot according to the orders received. This module consists of two DC motors, one on each side of the robot, a idler wheel, responsible for making the turns of the robot as the engines are activated, a voltage converter to feed the motors and a DC motor controller. It is connected to the control module.

The **Control Module** is responsible for establishing all communications and serves as a connection between the outside and the robot. Its main function is to manage and address all messages or orders sent between the outside and the communication modules connected to it. In addition, in this project, for reasons of material reduction and simplification of the robot, this module exerts a secondary function with the locomotion module being in charge of managing the signals of activation and control of the engines towards these, acting as a module Communication. In this way, the movement of the robot is executed by the locomotion module, but the control of the motors and the movement of the robot is directed by the control module. This module is formed by a 5V board and an MCU board and is one of the main modules of the robot and to which, in normal case, the other modules are connected.

The **Communication Module** is in charge of controlling the secondary modules connected to the robot, according to the orders from outside. Its main function in this project is to establish a communication bridge between the control module and the connected sensor modules, sending the signals obtained by the sensors to the control module and receiving commands from the outside through the control module. It consists of a 5V plate and an MCU board, just like the control module. Its normal position is to be connected to the control module, although it can be separated from it, if it is powered independently.

At the software level, the communication between the communication and control modules is based on a communication protocol of its own that sends and receives a special type of message that contains the necessary data for communication, this data is sent through a PC external by the user, who is in charge of sending the orders, which is connected to the control module that acts as an access point of a Wi-Fi wireless network. The communication module is also connected to the control module so that the messages sent to the communication module will be sent through the control module.

Capítulo 1. Introducción

1.1. Robot modular ROMEO.

Robot modular ROMEO o Robot modular para la enseñanza y ocio, es un robot modular formado por dos tipos de módulos: módulo principal o de control y módulo secundario o de operación.

- Módulo principal: es el módulo encargado de establecer, realizar y gestionar la transmisión de los datos y los mensajes de operaciones.
- Módulo secundario: es el módulo encargado de realizar las diferentes operaciones de obtención de datos exteriores (Sensores) o realizar las diferentes operaciones de locomoción o actuación (Motores DC o servomotores).

Los módulos secundarios estarían pensados para conectarse en los principales y mediante las operaciones que son capaces de hacer los secundarios y la comunicación ofrecida por los principales se obtendría el robot general modular general.

El diseño principal del robot se ha basado en la idea de que se le puedan diseñar módulos secundarios personalizados a gusto del usuario, pudiendo ser en forma simple o complejo, siempre que se cumpla un concepto principal de simplicidad basado en la idea de que el módulo secundario debe realizar una única tarea simple, es decir, lectura de un tipo específico de dato externo o el movimiento en un único eje de coordenadas.

Los módulos secundarios disponen de una alimentación a 5 V y dos conexiones digitales para poder establecer la comunicación con los módulos principales y con el usuario. El diseño físico del módulo está pensado para que sea realizado mediante diseño 3D para poder imprimir el módulo con una impresora 3D.

La conexión entre los módulos de manera física se realiza con un conector magnético genérico, macho para los secundarios y hembra para los principales, cuyo diseño tiene que cumplir como principal objetivo el de unirse a cualquier módulo secundario posible diseñado por los usuarios.

El prototipo del robot diseñado consta de cinco módulos distintos: dos principales, módulo de control y módulo de comunicación, y tres secundarios, módulo de alimentación, módulo sensor y módulo de locomoción.

1.1.1. Módulos Principales:

- Módulo de control: es el encargado de gestionar y dirigir los datos transmitidos entre los módulos de comunicación y el usuario, mediante un PC externo.
- Módulo de comunicación: es el encargado de controlar los diferentes módulos secundarios conectados al robot y es el que recibe los datos de las operaciones a realizar enviadas por el usuario. En el prototipo, el módulo de control tiene una

Introducción.

función secundaria de comunicación para poder comunicarse con el módulo de locomoción.

Los módulos de control y comunicación están conectados de forma inalámbrica para hacer la transferencia de datos entre ellos mediante una red Wi-Fi proporcionada por el módulo de control que actúa como punto de acceso al que se conectan los módulos de comunicación como estaciones. Los datos transmitidos entre los módulos de control y comunicación consisten en un mensaje que contiene el tipo de operación a realizar, el módulo principal emisor del mensaje, el módulo principal receptor del mensaje, el módulo secundario que debe realizar la operación y el dato necesario para realizar la operación, si se requiriera.

1.1.2. Módulos Secundarios:

- Módulo de alimentación: se encarga de suministrar la energía a todo el robot.
- Módulo de locomoción: se encarga hacer funcionar dos motores DC.
- Módulo sensor: consiste en un sensor de proximidad por ultrasonidos que envía datos al módulo de comunicación sobre posibles elementos externos cercanos al robot.

1.1.3. Aplicaciones.

Dentro de las aplicaciones y usos que se puede sacar al proyecto destacan las siguientes:

1. Aprendizaje del modelado 3D en el proceso de diseño de los módulos. Además, de obtener conocimientos sobre modelos de impresoras 3D y su manejo y funcionamiento.
2. Obtención de conocimientos básicos de control de motores DC y servomotores.
3. Aprendizaje de diseño de prototipos de una forma práctica mediante el diseño de nuevos módulos para el robot y mejoras en el robot.
4. Obtención de conocimientos prácticos en la programación de microcontroladores, además de aprender sobre los modelos existentes en el mercado de una forma práctica.
5. Aplicación práctica sobre robótica y programación de robots.
6. Aprendizaje práctico en lectura y comprensión de los datasheets de los diferentes componentes.
7. Aprendizaje sobre los diferentes modelos de sensores existentes y su aplicación práctica real en un robot físico.
8. Aprendizaje sobre los diferentes modelos de alimentación existentes, como son las fuentes de alimentación y las baterías.

Capítulo 2. Antecedentes

2.1. Robótica modular.

Un robot modular se puede definir como un robot compuesto por un conjunto de dispositivos individuales o módulos. Cuando estos módulos se unen forman un robot más complejo que sería capaz de realizar un conjunto de funciones y operaciones determinadas por sus diferentes módulos.

Los módulos son los elementos individuales dentro del robot modular, que se encargan de realizar total o parcialmente funciones u operaciones básicas dotando de forma individual de ciertas capacidades al robot en su conjunto, una vez unidos los diferentes módulos. Los módulos, además, deben de ser capaces de comunicarse entre sí de alguna forma [10].

Las mayores ventajas que aportan los robots modulares son la versatilidad y la capacidad de configuración, dotando a los robots de una alta tolerancia a los fallos, haciéndolo un sistema escalable y abaratando el coste de su producción y mantenimiento al tener que reproducir sólo una cierta cantidad de módulos, y en caso de fallos, solo aquellos que fallan, sin tener que alterar todo el robot.

2.1.1. Clasificación de robots modulares según capacidad de configuración.

La capacidad de configuración o reconfiguración de un robot modular es uno de los principales métodos de clasificación dándose dos casos posibles: robots modulares configurables manualmente o Manually-Reconfigurable Modular Robots, y robots modulares auto-configurables o Self-Reconfigurable Modular Robots.

Robots modulares manualmente configurables.

Se definen como robots en los que sus módulos requieren ser ensamblados por un operador. Las mayores ventajas que ofrecen estos sistemas son la simplicidad en los mecanismos de conexión y la capacidad de uso en lugares con poco espacio de trabajo. Un ejemplo de estos tipos de robots sería CONRO [10].

Robots modulares auto-configurables.

Se definen como robots en los que sus módulos se ensamblan automáticamente entre ellos a través de una forma de conexión programada previamente. Son el campo de estudio predominante ya que se busca dotarlos de una variedad adicional de características como son la Auto-Replicación o Self-Replicating, capacidad de replicarse a sí mismo, y la Auto-Reparación o Self-Repairing, la capacidad de regenerarse de ciertos daños en el sistema [3] [10].

Antecedentes.

Ejemplo de robótica modular en el cine y la televisión, sería “El replicante” de la serie de televisión Stargate SG-1. En la serie estos robots consumen recursos para auto-fabricarse los módulos que lo componen, y así formar grandes objetos con ellos, desde pequeños robots arácnidos hasta naves espaciales completas. A través de la auto-configuración, auto-reparación y auto- quedan dotados de una altísima autosuficiencia.



Robot modular de la serie de televisión Stargate SG-1 (El replicante). Imagen obtenida de <https://stargate.fandom.com/es/wiki/Replicantes>



Módulos del robot.

2.1.2. Clasificación de robots modulares según su conexión y estructura.

Otra forma de clasificar a los robots modulares es según su forma conectarse y formar estructuras más complejas. Dentro de esta clasificación se dispone de tres tipos [1] [2]:

- Retícula o Lattice: los módulos se conectan formando estructuras de la misma forma que harían los átomos formando moléculas.
- Cadena o Chain: los módulos se conectan formando cadenas y a partir de esas cadenas se forman elementos más complejos. Por ejemplo un robot cuadrúpedo se formaría por cinco cadenas, una para el cuerpo y cuatro para las extremidades.
- Híbrido o Hybrid: mezcla del tipo cadena y retícula.

2.1.3. Clasificación de robots modulares según su locomoción.

Según su método de locomoción en el medio se podrían clasificar, también, como [1]:

- Ápodos: se desplazan a través de movimientos “corporales”, es decir, a través del movimiento generado por la propia forma física de sus módulos.
- Propulsados: se desplazan usando ruedas, orugas o sistemas de propulsión similares.

2.1.4. Lista de robots modulares.

Una lista de los robots modulares investigados y desarrollados es la que muestra la siguiente tabla:

Antecedentes.

System name	Class	DOF	Primary author	Affiliation	Year
CEBOT	mobile	various	Fukuda et al.	Nagoya	1988
Polypod	chain	2 3D	Yim	Stanford	1993
Metamorphic	lattice	3 2D	Chirikjian	JHU	1993
Fracta	lattice	3 2D	Murata	MEL	1994
Tetrobot	chain	1 3D	Hamlin et al.	RPI	1996
3D Fracta	lattice	6 3D	Murata et al.	MEL	1998
Molecule	lattice	4 3D	Kotay and Rus	Dartmouth	1998
CONRO	chain	2 3D	Will and Shen	USC/ISI	1998
PolyBot	chain	1 3D	Yim et.al	PARC	1998
TeleCube	lattice	6 3D	Suh et.al	PARC	1998
Vertical	lattice	2D	Hosakawa et al.	Riken	1998
Crystal	lattice	4 2D	Vona and Rus	Dartmouth	1999
I-Cube	lattice	3D	Unsal	CMU	1999
Pneumatic	lattice	2D	Inoue et.al.	TiTech	2002
Uni Rover	mobile	2 2D	Hirose et al.	TiTech	2002
MTRAN II	hybrid	2 3D	Murata et al.	AIST	2002
Atron	lattice	1 3D	Stoy et al.	U.S Denmark	2003
Swarm-bot	mobile	3 2D	Mondada et al.	EPFL	2003
Stochastic 2D	stochastic	0 2D	White et al.	Cornell U.	2004
Superbot	hybrid	3 3D	Shen et al.	USC/ISI	2005
Stochastic 3D	stochastic	0 3D	White et al.	Cornell U.	2005
Catom	lattice	0 2D	Goldstein et al.	CMU	2005
Prog. parts	stochastic	0 2D	Klavins	U. Washington	2005
Molecule	chain	1 3D	Zykov et al.	Cornell U.	2005
YaMoR	chain	1 2D	Ijspeert et al.	EPFL	2005
Miche	lattice	0 3D	Rus et al.	MIT	2006

Lista de robots modulares. Imagen obtenida de Alberto Brunete, Avinash Ranganath, Sergio Segovia, Javier Perez de Frutos, Miguel Hernando and Ernesto Gambao, International Journal of Advanced Robotic Sistems. Current trends in reconfigurable modular robots design, 2017.

2.1.5. Conector o Docking.

El conector es otro factor importante dentro los robots modulares ya que su función va a ser la de conectar dos módulos entre sí, por tanto hay varios factores que son importantes a tener en cuenta [10]:

1. Tamaño.
2. Resistencia mecánica.
3. Capacidad de compartir señal de alimentación.
4. Facilidad de Conexión/Desconexión.
5. Velocidad de Conexión/Desconexión.
6. Capacidad unilateral de Conexión/Desconexión, es decir, que se pueda desconectar el módulo y permitir al resto funcionar sin problemas.
7. Acoplamientos por género y orientación, son un factor bastante limitante de la versatilidad de un robot modular.
8. Tipo de conector: magnético, electromagnético, electroestático o electromecánico. La tendencia actual es usar magnéticos para robots manuales y electromecánicos para los auto-configurables.

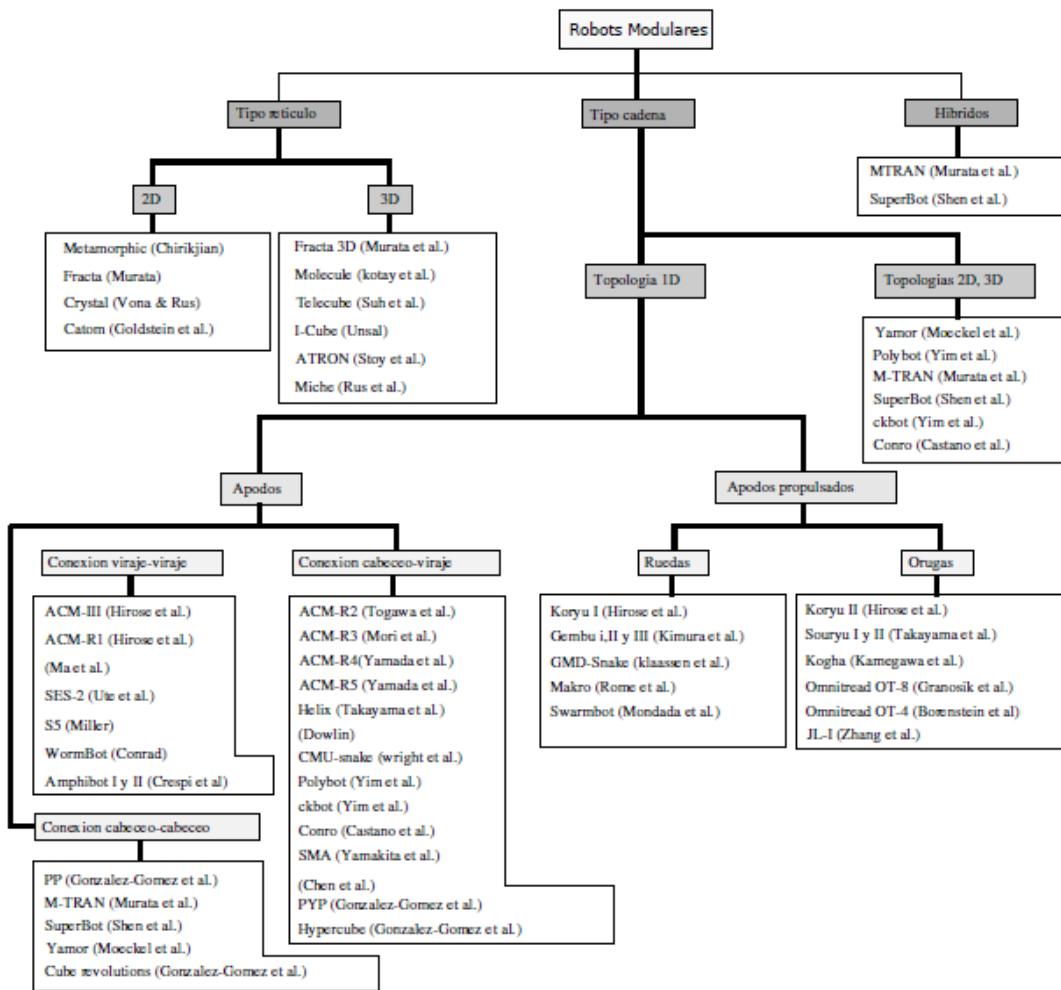
2.1.6. Métodos de comunicación entre módulos.

Dentro de los métodos de comunicación más usados destacan los protocolos I2C, CAN y SERIAL dentro de los métodos cableados y Wi-Fi y Bluetooth dentro de los métodos inalámbricos, siendo estos últimos los preferidos a implementar en el futuro [10].

2.1.7. Alimentación de los módulos.

Dentro de las fuentes usadas para suministrar la energía al robot, en los últimos años se ha tomado como tendencia el uso de baterías LiPo y Li-Ion.

Antecedentes.

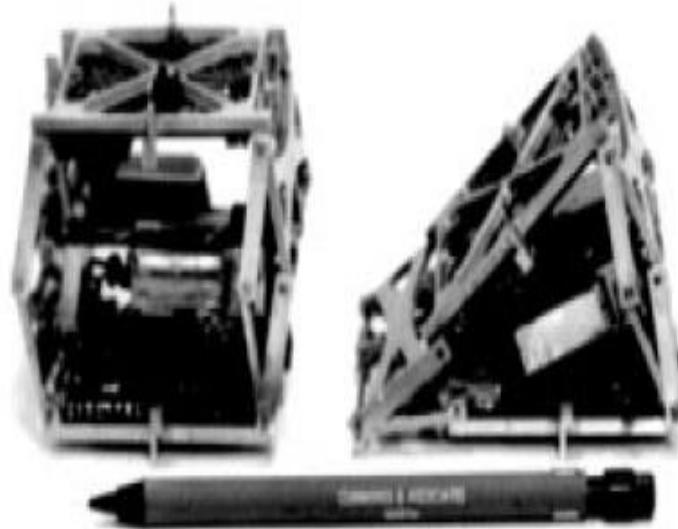


Esquema de robots modulares. Imagen obtenida de Juan González Gómez. Robótica modular y locomoción: Aplicación a robots ápodos, 2008.

2.2. Ejemplos de robots modulares.

2.2.1. Polypod.

Diseñado por Mark Yim en los años 1993 y 1994, este robot fue usado en su tesis para estudiar la viabilidad y versatilidad de los robots modulares auto-configurables destinados a la locomoción estáticamente estable. No es un robot modular auto-configurable pero se usa para demostrar sus utilidades y posibilidades [2].



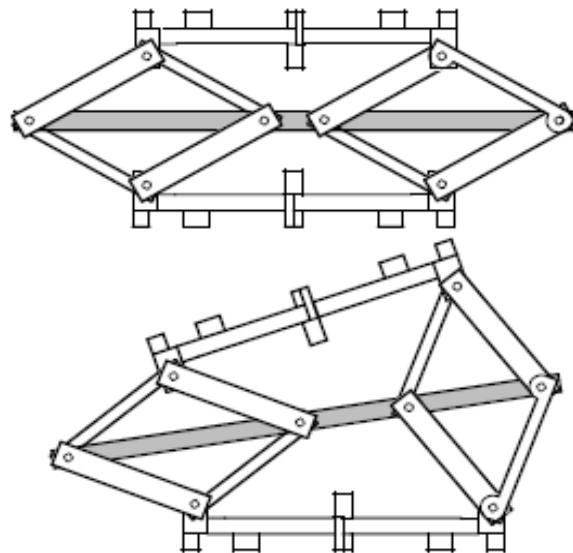
Módulos de Polipod. Imagen obtenida de M. Yim. Locomotion with a unit-modular reconfigurable robot. PhD thesis, Stanfod University, December 1995.

La idea principal de Polipod sería disponer de un robot con las menores limitaciones posibles, siendo los grados de libertad y el tamaño del robot los más importantes. El resultado ha sido unos módulos cúbicos de menos de 6.5 cm (2.5") de lado [17].

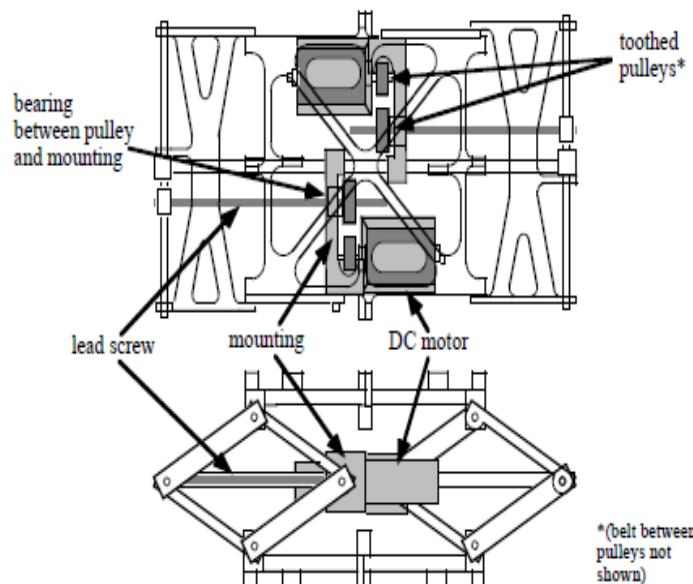
El robot consta de dos módulos: el segmento, que sería el componente principal, y el nodo.

Los segmentos son módulos con dos grados de libertad, y con dos caras con conectores permitiendo la unión con otros módulos. Puede realizar giros de $\pm 45^\circ$ a través del movimiento de dos motores DC que le proporcionan los dos grados de libertad. Es el que contiene todos los componentes menos la alimentación, dentro del cual estarían: los dos motores DC, dos sensores de posición, dos pares (receptor y emisor) de sensores IR y el cableado, que dispone de 10 líneas eléctricas (4 para alimentación de motores y robot y 6 para el sistema de comunicación usado, que en este caso, sería bus SPI) [2] [17].

Antecedentes.



Movimiento de los módulos segmentos. Imagen obtenida de M. Yim. Locomotion with a unit-modular reconfigurable robot. PhD thesis, Stanfod University, December 1995.



Posición de los motores DC dentro del módulo segmento. Imagen obtenida de M. Yim. Locomotion with a unit-modular reconfigurable robot. PhD thesis, Stanfod University, December 1995.

Los nodos son cubos fijos con conectores en cada una de sus 6 caras, permitiendo realizar diferentes formas en los robots y además se encargan de contener la alimentación del robot [2] [17].

Antecedentes.

2.2.2. Polybot.

Fue el siguiente proyecto de Mark Yim, tras su tesis, que empezó a desarrollar desde el año 1998 cuando empezó a trabajar como investigador en el PARC (*Palo Alto Research Center*) [1].

Es un robot modular compuesto por dos tipos de módulos: el segmento, que dispone de un grado de libertad y el nodo que es un elemento fijo. Entre sus objetivos están que su tamaño no supere un cubo de 5 cm y que cada módulo del robot ejecute una tarea simple, y en conjunto puedan realizar muchas tareas. Su estructura física es un cubo de acero de 416 g de peso.

La conexión de varios módulos se puede realizar en cualquier posición de 90°, a través de uno de los cuatro conectores de los que dispone cada extremo o placa de conexión del módulo, siendo los cuatro iguales. Se dispone de cuatro pines y cuatro huecos en cada lado del extremo del módulo. Los segmentos tienen dos placas de conexión y los nodos seis.

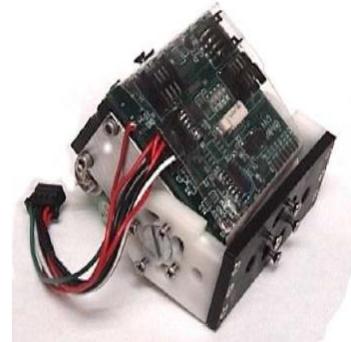
Los nodos tienen como funciones principales la de permitir formas complejas de unión de los módulos y el almacenaje de las baterías.

La comunicación se realiza mediante CAN bus y el movimiento se realiza mediante un motor DC [13].

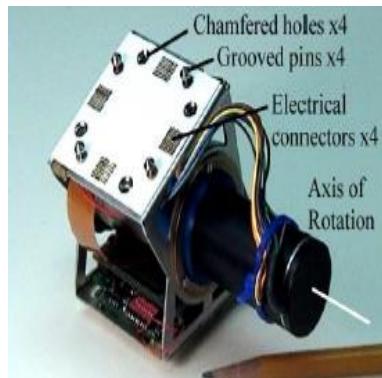
Existen varios modelos de Polybot:



Módulo G1.



Módulo G1v4.



Módulo G2, mostrando las conexiones dentro del módulo.



Módulo G3.

Imágenes obtenidas de Juan González Gómez. *Robótica modular y locomoción: Aplicación a robots ápodos*, 2008.

Antecedentes.

2.2.3. M-TRAN.

Consiste en un robot modular diseñado en el año 1998 por el *National Institute of Advanced Industrial Science and Technology* y el *Tokyo Institute of Technology*. Cuatro años más tarde, en el año 2002, se desarrolló una evolución de este, dando lugar al M-TRAN II. Finalmente, en el año 2005 se desarrolla el último modelo M-TRAN III [1].



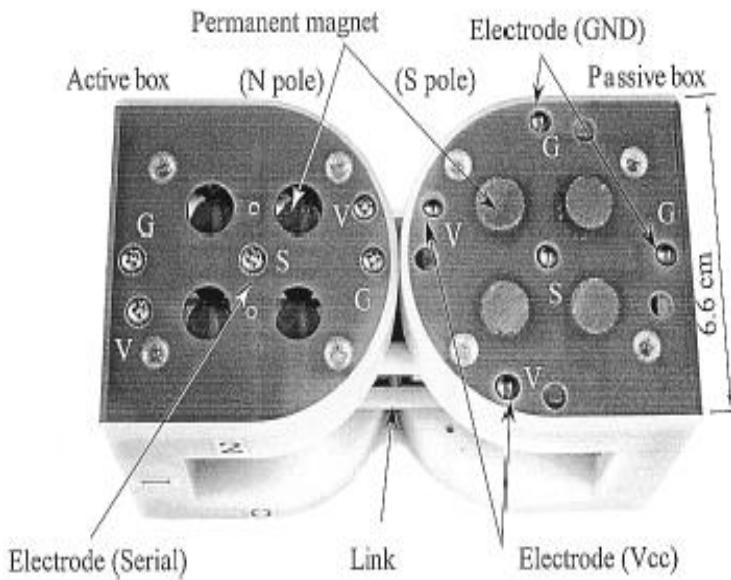
Modelos del robot M-TRAN (de izquierda a derecha modelos II, I y III). Imagen obtenida de Juan González Gómez. Robótica modular y locomoción: Aplicación a robots ápodos, 2008.

M-TRAN.

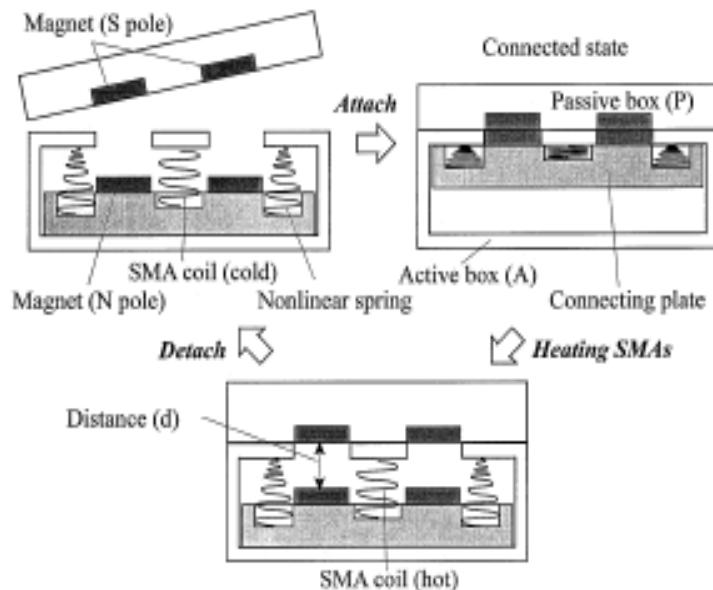
El módulo está formado por dos cajas cúbicas, redondeados por un lado, y una conexión entre ambos, permitiéndole girar $\pm 90^\circ$. En el módulo, una caja actúa como pasiva y otra como activa.

Las cajas disponen de tres superficies imantadas de manera opuesta entre pasiva y activa, para poder realizar la conexión. La conexión mecánica se realiza mediante los imanes y la conexión eléctrica se realiza con cuatro pines de alimentación y uno para la comunicación serie. La caja pasiva contiene el procesador y la alimentación del robot. El conector de las cajas contiene dos motores y el cableado entre caja pasiva y activa [15].

Antecedentes.



Partes del módulo M-TRAN. Imagen obtenida de Murata S, Yoshida E, Kamimura A, et al. M-tran: selfreconfigurable modular robotic system. IEEE/ASME Trans Mech 2002; 7(4): 431–441.



Mecanismo de conexión entre módulos de M-TRAN. Imagen obtenida de Murata S, Yoshida E, Kamimura A, et al. M-tran: selfreconfigurable modular robotic system. IEEE/ASME Trans Mech 2002; 7(4): 431–441.

M-TRAN II.

Este segundo prototipo de M-TRAN se diseñó para mejorar la capacidad de auto-reconfiguración, potenciar la capacidad de procesamiento y mejorar la potencia de actuación [16].

Antecedentes.

TABLE I
SPECIFICATIONS OF M-TRAN

Item	Value
Dimension	66 × 132 × 66mm
Weight	0.44kg
CPU	BasicStamp II
Communication	4,800 bps (asynchronous serial communication)
Power supply	DC 12V
Max. torque of each axis	23 kg cm (rating)
Connecting force	25 N
Total power dissipation	0.35W(12V)

Especificaciones de M-TRAN. Imagen obtenida de Murata S, Yoshida E, Kamimura A, et al. M-tran: selfreconfigurable modular robotic system. *IEEE/ASME Trans Mech* 2002; 7(4): 431–441.

TABLE I
SPECIFICATIONS of M-TRAN II

Dimension	60x120x60mm
Weight	400 g (including battery)
CPU	Neuron chip (TMPN3120FE5M, Echelon Corporation) Three PICs (PIC16F873/877)
Global communication	LonWorks & RS-485 (3.9kbps)
Local communication	Asynchronous serial 4,800 bps
Torque of each axis	1.9 Nm (rating)
Connection force	80 N
Battery	Li-ion (3.8V, max 1.4 A, 700mAh)
Power consumption	0.4W (nominal) 4W (detachment)
Sensor	Acceleration sensor (3 axes)

Especificaciones de M-TRAN II. Imagen obtenida de Kurokawa H, Kamimura A, Yoshida E, et al. M-tran ii: metamorphosis from a four-legged walker to a caterpillar. In: *Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems*, Vol. 3, 2003, pp. 2454–2459.

El Sistema de control dentro del módulo de M-TRAN II contiene dos capas CPU:

- La capa superior está formada por el Neuron chip (CPU principal) y dos cables de bus de red RS-485 usados para una comunicación con un host PC externo.
- La capa inferior está formada por la CPU principal y tres microcontroladores (PIC16F873 y F877). El principal actúa como maestro y envía las órdenes a los otros.

La comunicación con otros módulos se realiza mediante radiofrecuencia inalámbrica [16].

Antecedentes.

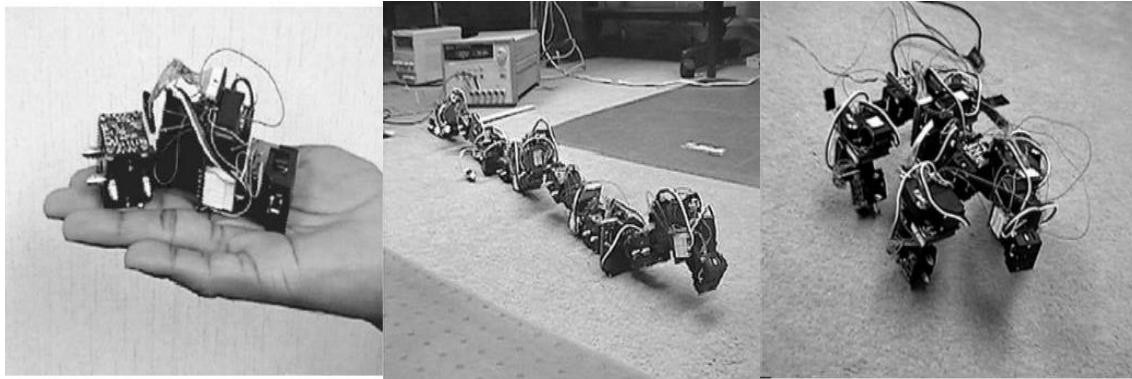
M-TRAN III.

Este nuevo módulo incorpora un sistema de conexión con sistema mecánico, sustituyendo a la conexión magnética de los anteriores modelos, con ello se ha mejorado la eficiencia energética y la velocidad de conexión y desconexión, pero a cambio ha aumentado la complejidad de esta. La comunicación entre módulos se realiza mediante bus CAN, siendo uno de ellos el maestro y el resto los esclavos. Este modelo ha sido desarrollado para una fabricación en serie, dejando de ser un simple prototipo [1].

Antecedentes.

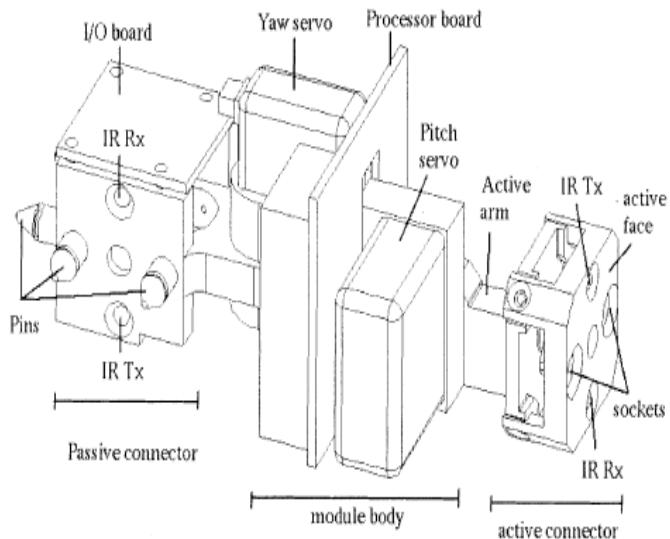
2.2.4. CONRO.

Consiste en un conjunto de módulos que fueron desarrollados en el ISI (*Information Science Institute*), en la universidad de California, para el estudio y realización de robots modulares auto-configurables [1].



Módulos de CONRO y Configuraciones realizadas al robot. Imagen obtenida de Castano A, Behar A and Will P. The Conro modules for reconfigurable robots. IEEE/ASME Trans Mech 2002; 7(4): 403–409.

Los módulos de este robot están constituidos de tres partes: conector pasivo, conector activo y cuerpo.



Partes del módulo del robot CONRO. Imagen obtenida de Castano A, Behar A and Will P. The Conro modules for reconfigurable robots. IEEE/ASME Trans Mech 2002; 7(4): 403–409.

El conector pasivo tiene forma cubica hueca y es el contenedor del cableado del circuito infrarrojo de conexión y de la batería principal del módulo de 6 V, tiene atornillado una placa PCB de dos capas que actúa como controlador de los infrarrojos y como contacto positivo. Además dispone de una clavija que actúa como negativo de la batería y la mantiene fija.

El conector activo es el encargado de realizar los enganches y desenganches de los módulos mediante un conector móvil que se engancha a los pines del conector pasivo, además de realizar la comunicación infrarroja con él para realizar los enganches.

Antecedentes.

El cuerpo incorpora una placa PCB central y dos servomotores que dotan al robot de una movilidad en dos ejes. La placa se encargaría de controlar los servomotores. Además, dispone de un hueco para una batería de 3 V pequeña.

Este robot, como se ha mencionado, usa dos baterías de litio de 6 V y 3 V de capacidad de 160 mAh.

Los módulos pueden operar de manera independiente y la conexión entre módulos se realiza de forma manual. Los módulos no comparten señal de reloj. El control del robot se realiza con un control distribuido, con un control centralizado basado en esclavo-maestro o en una mezcla de ambas.

Se utiliza un programa en C/C++ bajo Linux, en el cual se envían mensajes de 3 bytes conteniendo la fuente del mensaje, el receptor, la orden y el ID del mensaje. No hay red, si no que el mensaje va saltando entre los módulos hasta llegar a su destino [11] [12].

Antecedentes.

2.2.5. ATRON.

ATRON es un robot de tipo reticular o *lattice*, sus módulos son posicionados de forma que su eje de rotación sea paralelo al eje X, Y o Z y los módulos se conectan de forma que su movimiento sea perpendicular a dicho eje. El movimiento básico de ATRON sería de 90° alrededor de su ecuador, mientras sus hemisferios se conectan con los diferentes módulos, causando que los módulos conectados al módulo activo giren en su dirección [18].

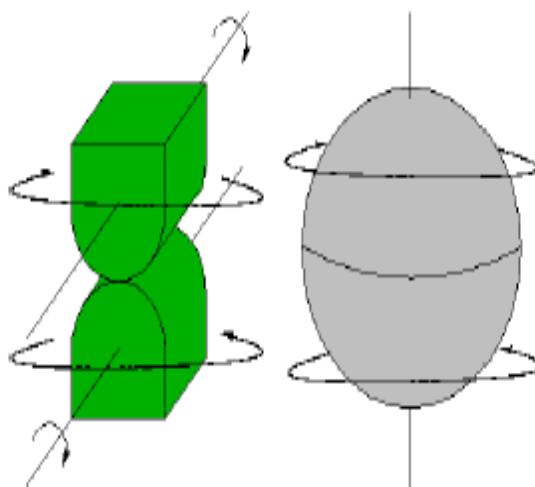


Robot modular ATRON.



Módulos de ATRON.

Imágenes obtenidas de Jørgensen M, Østergaard E, Lund H. Modular ATRON: modules for a self-reconfigurable robot. In: Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), October 2004, pp 2068–2073.



Comparación del movimiento de rotación de M-TRAN y ATRON. Imagen obtenida de Jørgensen M, Østergaard E, Lund H. Modular ATRON: modules for a self-reconfigurable robot. In: Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), October 2004, pp 2068–2073.

El módulo de ATRON está construido principalmente de aluminio con ciertas piezas de latón (engranajes del motor central) y acero (rodamientos centrales y conectores pasivos).

La reconfiguración se realiza al tener módulos vecinos conectados alrededor, girando múltiplos de 90° y realizando una separación con los módulos iniciales y una nueva

Antecedentes.

conexión con nuevos módulos vecinos. Este diseño permite infinitas rotaciones siempre que haya conexiones entre los hemisferios. A diferencia de los robots anteriores, este robot realiza la conexión entre puntos (punto a punto) en lugar de entre superficies (superficie a superficie).

La alimentación se realiza mediante dos baterías de Li-ion de 3.6 V con capacidad de 980 mAh, dando lugar a una alimentación de 7.2 V y 980 mAh, incorporadas en cada módulo. Los módulos además pueden compartir entre ellos la alimentación, siempre que estén directamente conectados.

Para realizar la comunicación entre módulos vecinos se dispone de cuatro pares de diodos infrarrojos, cuatro emisores y cuatro receptores, en cada hemisferio. Cada set se posiciona cerca del centro, justo debajo de un conector que apunta hacia el centro de los módulos vecinos. La comunicación, por tanto, está determinada por un protocolo IrDA en su capa física de transmisión de datos.

Además, todos los módulos disponen de un acelerómetro de 2 ejes como elemento sensor [18].

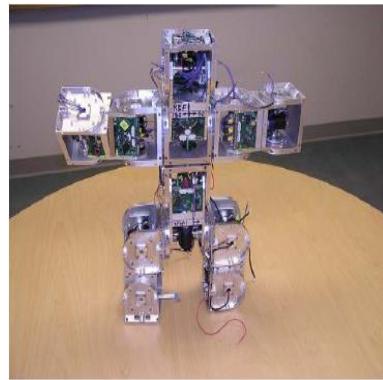
Antecedentes.

2.2.6. SuperBot.

Consiste en un robot modular desarrollado por el laboratorio de robótica polimórfica del ISI en la universidad de California del Sur. Es un proyecto financiado por la NASA y el DARPA para un uso de exploración planetaria y de recolección de información. Está basado en varios modelos anteriores como son CONRO, Polybot, M-TRAN y ATRON [1].



Módulo de SuperBot. Imagen obtenida de Juan González Gómez. Robótica modular y locomoción: Aplicación a robots ápodos, 2008.



Robot Modular SuperBot de 6 módulos. Imagen obtenida de Salemi B, Moll M and Shen WM. Superbot: a deployable, multi-functional, and modular self-reconfigurable robotic system. In: 2006 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, 2006, pp. 3636–3641.

La idea principal en el diseño de los módulos de SuperBot es la potencia, robustez y flexibilidad para poder emplearse en entornos complejos y no controlados, donde no se pueda dar especial atención humana. Sus circuitos y componentes disponen de una carcasa fuerte y resistente capaz de soportar ambientes duros y fuertes golpes.

Está pensado para poder moverse en entornos no controlados por lo que debe ser capaz de evitar obstáculos mediante una buena capacidad de auto-reconfiguración con pocos movimientos, un buen sistema de sensores y de comunicación entre módulos, siendo capaz de comunicar cada dato del entorno.

Los módulos son capaces de transmitirse energía entre ellos para poder cargar sus baterías en caso de fallo de batería y poder funcionar en conjunto.

Tiene capacidad de auto-acoplamiento entre los diferentes módulos, disponiendo de 6 conectores en sus extremos, y de auto-desacoplamiento para poder liberarse en caso de error en alguno de ellos.

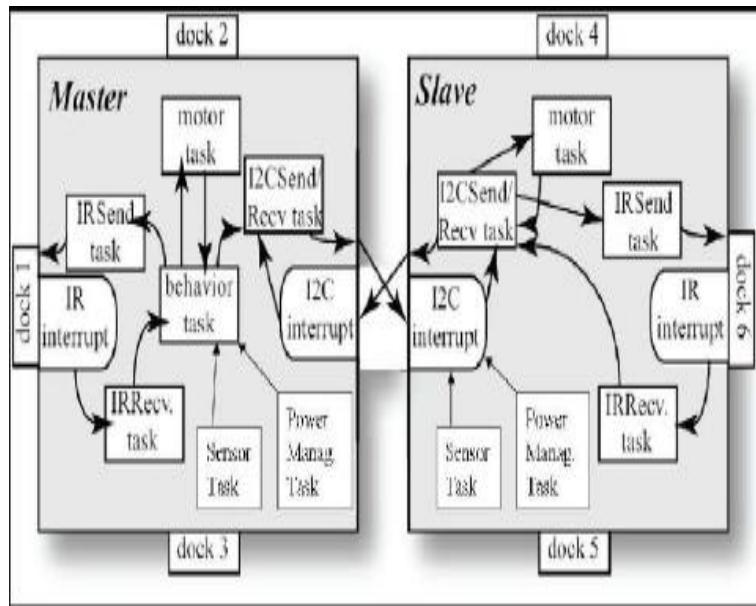
La forma de SuperBot es la de dos cubos de 84 mm, unidos. El prototipo se hizo de aluminio alcanzando un peso de 500 g. Contiene en la parte central una parte que le permite rotar obteniendo tres grados de libertad.

A nivel de software está diseñado en C a través de un conjunto de tareas que contienen un conjunto de mensajes. Las tareas pueden ser configuradas para realizarse automáticamente o bajo demanda. Dentro del módulo cada cubo actúa como maestro o como esclavo comunicados entre ellos mediante una comunicación serie por I2C. La

Antecedentes.

comunicación entre módulos distintos se realiza mediante una tarea IR por infrarrojos [14].

La comunicación en cada módulo queda esquematizado con la siguiente imagen:

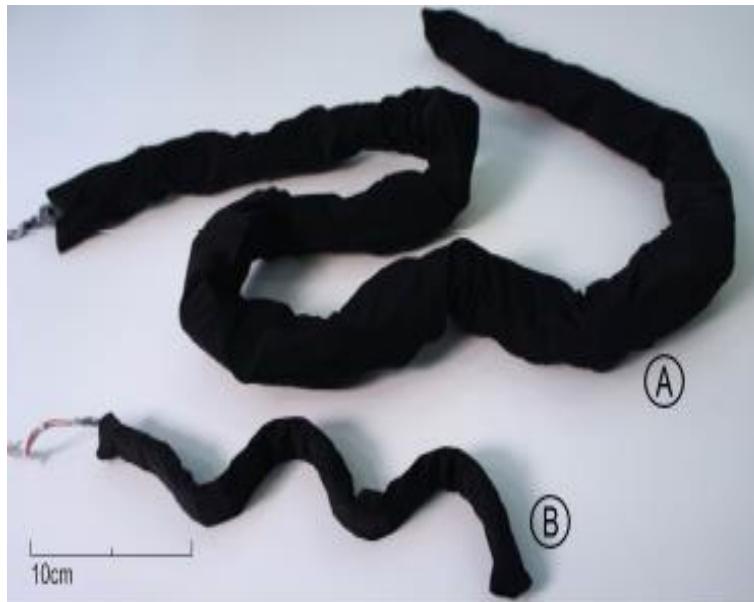


Esquema básico Módulo SuperBot. Imagen obtenida de Salemi B, Moll M and Shen WM. Superbot: a deployable, multi-functional, and modular self-reconfigurable robotic system. In: 2006 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, 2006, pp. 3636–3641.

Antecedentes.

2.2.7. LineForm.

Diseñado en el año 2015, es un robot modular formado por un conjunto de servomotores conectados en serie y controlado a través de un Arduino al que se le pasan los programas de control mediante un ordenador por comunicación serie. Dispone de una capa protectora que ayuda a mantener los componentes además de dar un aspecto más compacto.



Robot LineForm, prototipo 3D (A) y prototipo 2D (B). Imagen obtenida de MIT Media Lab y Stanford University. LineFORM: Actuated Curve Interfaces for Display, Interaction, and Constraint, 2015.

Se usaron dos prototipos de LineForm un de gran tamaño que presenta un alto par, alta detección de la deformación, cambio de rigidez y posibilidad de presentar formas 3D. Además, se dispone de otro de pequeño tamaño usado en tareas de 2D.

La longitud que presenta el robot y la resolución de las formas que puede adoptar son sus mayores limitantes.

Entre sus aplicaciones está la manipulación 3D de curvas y el uso como robot cambiador de forma, pero también puede usarse como regla inteligente, adaptándose a ciertas medidas que faciliten los trabajos de diseño, y como exoesqueleto aplicándose alrededor de una extremidad del cuerpo [5].

Antecedentes.

2.2.8. ChainForm.

Diseñado en el año 2016, surge como una evolución de las anteriores investigaciones, tales como LineForm. Consiste en un conjunto de módulos idénticos que se unen para formar una cadena, la cual, puede modificar su longitud a gusto del usuario, siendo esta su principal característica modular. Los módulos están diseñados para detectar interacciones táctiles de los usuarios, tales como, la deformación angular y la forma en la que los usuarios tocan el módulo.



Robot ChainForm. Imagen obtenida de MIT Media Lab y Stanford University. ChainFORM: A Linear Integrated Modular Hardware System for Shape Changing Interfaces.

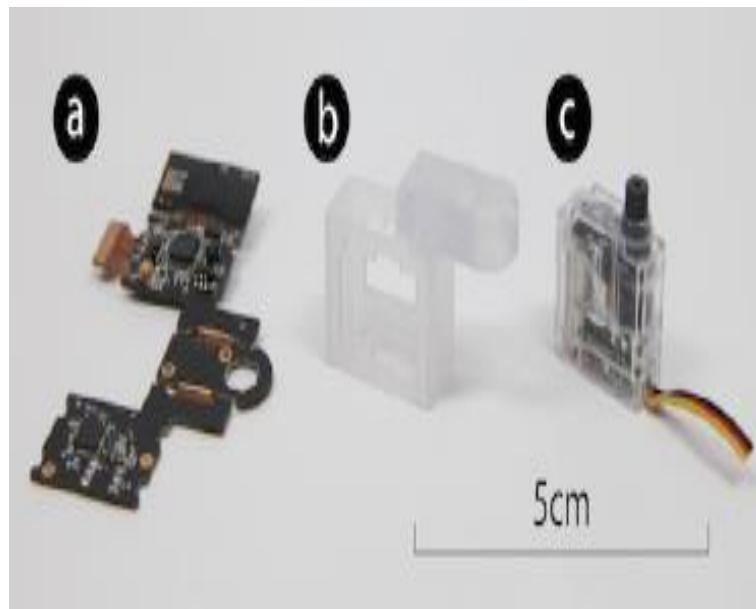
El robot está formado por dos módulos: módulo maestro y módulo integrado.

El módulo maestro está formado por una placa Teensy 3.2 con un ARM Cortex-M4 (MK20DX256VLH7, Freescale), este módulo se encarga de realizar las comunicaciones entre el ordenador de control y el resto de módulos mediante una comunicación USB.

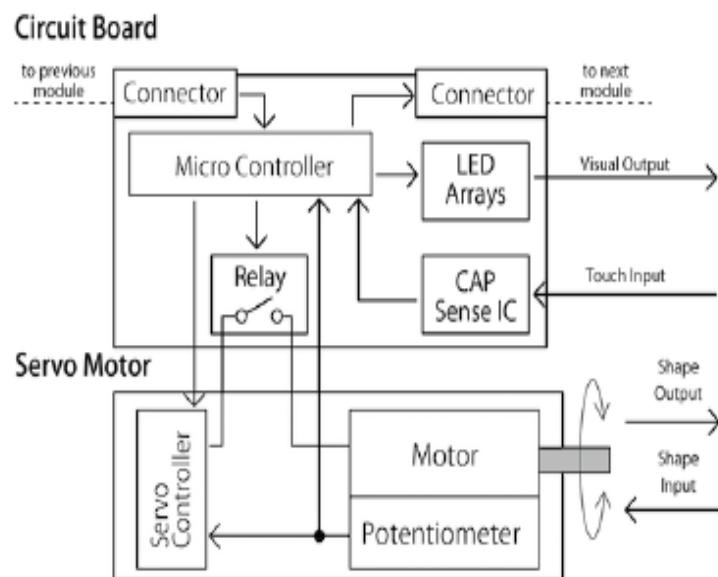
Los módulos están formados por tres piezas: una placa de circuito flexible, un servomotor y una carcasa impresa por impresora 3D. La carcasa dispone de un conector mecánico para conectarse al resto de los módulos. Las placas disponen de un procesador ATmega328p, un MTCH6102 para realizar la sensibilidad capacitiva, un relé G3VM-21UR11 usado para activar los servomotores y un conjunto de LEDs [6].

La comunicación entre los módulos se realiza mediante I2C y la comunicación entre el maestro y el exterior se realiza mediante USB, como se mencionó anteriormente.

Antecedentes.



Partes de los módulos ChainForm: Circuito (a), carcasa (b) y servomotor (c). Imagen obtenida de MIT Media Lab y Stanford University. *ChainFORM: A Linear Integrated Modular Hardware System for Shape Changing Interfaces*.



Esquema del módulo ChainForm. Imagen obtenida de MIT Media Lab y Stanford University. *ChainFORM: A Linear Integrated Modular Hardware System for Shape Changing Interfaces*.

Entre sus aplicaciones están las interfaces de computadora adaptadas a las necesidades del usuario y la utilización como herramienta de prototipado.

Antecedentes.

2.2.9. Robo-Wunderkind.

Algunos proyectos de robótica modular han salido al mercado destinados a facilitar tareas de aprendizaje para los niños como es el caso de Robo-Wunderkind.

Es un proyecto ideado en el 2013 y lanzado al mercado en el 2015 por un precio de 199\$ la caja básica de módulos. Este proyecto consiste en un conjunto de 15 módulos, con forma cúbica y de fácil conexión similar a los LEGO infantiles, que cumplen varias funciones, entre las que destacan motores, servos, y diferentes tipos de sensores. Estos módulos independientes y básicos se unen para formar un robot modular más complejo y controlado mediante una sencilla APP. Está destinado a un público más infantil para que los niños puedan aprender lo antes posibles los diferentes conceptos de la robótica más compleja [4].



Robo-Wunderkind. Imagen obtenida de Robo-wunderkind. The Story of Robo-Wunderkind.

Antecedentes.

2.2.10. MODI.

Otros proyectos se han destinado al público para dar otras facilidades, como es el caso de MODI.

Es un proyecto ideado por Luxrobo y lanzado al mercado entre los años 2016 y 2017 por un precio de 69\$ la caja básica de módulos, consiste en un conjunto de módulos que realizan funciones básicas y específicas, cada uno, y que se unen entre sí para formar un robot modular más complejo mediante una conexión magnética. Además, puede ser controlado mediante una APP desde el propio teléfono móvil vía Bluetooth.



Módulos MODI. Imágenes obtenidas de www.kickstarter.com

2.2.11. LEGO MINDSTORM.

Por último, aunque no es un ejemplo de robótica modular, sí que ejerce un buen caso de acercamiento de la robótica al público, externo en la materia. Este es un proyecto lanzado por LEGO desde el año 1998 con el objetivo de alcanzar el mundo de la robótica y electrónica a un público más amplio.

Capítulo 3. Objetivos

Muchos de los proyectos basados en robótica modular han estado destinándose a un avance tecnológico de la robótica o a un uso en campos más profesionales de la industria, dejando de lado la posibilidad de hacer que el público que no era especializado en la materia tuviera la capacidad de comprender los conceptos y ponerlos en práctica. Por ello, se han desarrollado proyectos que sólo gente especializada y con altos grados de estudios, lo que requiere un alto coste tanto económico como de dedicación temporal, pueden entender, diseñar y desarrollar de una manera correcta.

Este TFG se ha pensado con el propósito de buscar un mecanismo que facilite el aprendizaje y aumente el entusiasmo en este campo. Está dirigido tanto a un público estudiante, principalmente de secundaria y bachillerato, como a un público adulto que no tenga tanta formación en electrónica o robótica, intentando convertir la materia en un ocio.

Por tanto, se busca realizar un proyecto similar al que se ve en los modelos MODI y Robo-Wunderkind pero de una forma un poco más compleja, permitiendo la conexión y el diseño de módulos propios y personales para que la persona además de ganar conocimientos en la materia de electrónica y robótica pueda mejorar su creatividad, a través del diseño de los diferentes módulos, tanto en apariencia física como en funciones.

3.1. Definición de objetivos.

Por tanto en término general, con la realización de este proyecto se busca el diseño de un robot modular sencillo, que pueda usarse para entender mejor la electrónica y la robótica por el mayor número de usuarios posibles, y al cual se le puedan diseñar y crear nuevos módulos y que estos tengan la forma física y realicen las tareas deseadas por el usuario.

De forma más interna e individual, los objetivos del proyecto son los siguientes:

- Diseño de un sistema de comunicación entre los módulos de forma inalámbrica que permita eliminar el cableado de comunicación entre estos módulos, reduciendo el cableado del robot y haciendo más simple y entendible al robot en temas de electrónica. Como sistema inalámbrico de comunicación se ha

Objetivos.

pensado en utilizar una red Wi-Fi, por ser el tipo de conexión más conocido y usado de forma inalámbrica por los usuarios.

- Diseño de un sistema de control del robot que permita enviar y recibir órdenes desde el exterior a través de un PC o dispositivo externo y permita el control total de cada módulo del robot. Para ello, debe de implementarse un sistema de comunicación interno que haga capaz la ejecución del control de robot y la transmisión de las órdenes emitidas desde el exterior. Se procurará que este sistema sea lo más simple posible de forma que facilite la compresión en temas de redes, telecomunicaciones, informática y de programación del robot.
- Diseño de un sistema de alimentación del robot que se distribuya alimentando todo el sistema, de forma que este sea el único sistema cableado, dentro de lo posible, ya que puede haber circunstancias en las que no se pueda evitar el cableado, como en el cableado hacia un sensor u otro tipo de elemento final dentro del circuito. Se busca que el diseño eléctrico sea lo más simple posible para que sea fácilmente entendible con pocos conocimientos en la materia.
- Tener la capacidad de que el robot controle de manera correcta motores DC y servomotores de forma que se le pueda implementar una locomoción y permitir una expansión de grados de libertad del robot.
- Realizar un modelo del robot imprimible mediante una impresora 3D como prototipo del mismo. Además de realizar un modelo 3D de un conector genérico que deberá añadirse a cada módulo que se diseñe de forma independiente y particular para cada usuario. Como prototipo del robot se diseñarán una variedad de módulos de ejemplo, además de unos módulos genéricos que realicen las funciones de control y comunicaciones.

Capítulo 4. Procedimiento

En el desarrollo de este TFG se ha utilizado una metodología ágil basada en Scrum definida por el director. El trabajo se ha dividido en iteraciones de dos semanas denominadas sprints. Las unidades de trabajo se presentan en forma de historias de usuario (User Stories) que definen mini-proyectos de muy corta duración que aportan valor al proyecto, es decir, cada historia de usuario cumple o ayuda a cumplir alguno de los objetivos. Medir el valor percibido corresponde al propietario del producto (Product Owner), que participa activamente en la planificación del proceso priorizando las unidades de trabajo.

4.1. Diferencias con Scrum.

Scrum es una metodología estrictamente centrada en el cliente. El cliente es el responsable de priorizar y, en cierto modo, planificar las iteraciones. Esto garantiza que la ejecución del proyecto responde al máximo con las expectativas del cliente, incluso cuando los imprevistos impidan alcanzar alguno de los objetivos iniciales. Esta característica de Scrum es la única que se ha intentado mantener inalterada. Sin embargo, el TFG es un proyecto individual, lo que ha requerido modificar significativamente otros aspectos de la metodología.

4.1.1. Roles.

La única remuneración que se obtiene con la ejecución de un TFG es la calificación de los distintos aspectos (Anteproyecto, valoración del director, valoración del tribunal, etc.). Por tanto, el cliente del TFG se compone por el director y el tribunal de la defensa. Desgraciadamente no es posible conocer a priori el tribunal. Por este motivo, el director es el único representante del cliente en el proceso de desarrollo (Product Owner).

El TFG debe ser realizado de manera individual. Por tanto, el equipo de trabajo (Team Member) se compone exclusivamente por el autor.

La labor de dirección del TFG se asimila a la de dirección del proyecto y, por tanto, el director también actúa como coordinador del proceso, o Scrum Master. Nótese que hay dos roles representados por la misma persona. Desde un punto de vista purista esto implica que puede haber conflicto de intereses y los intereses del cliente pueden estar insuficientemente representados. Es una limitación extrínseca, que no es posible solucionar con el proceso actual. Aún así, el uso de una metodología ágil centrada en el cliente debe mejorar el alineamiento de intereses cuando surgen problemas que afectan o pueden afectar a la consecución de alguno de los objetivos iniciales.

Procedimiento.

4.1.2. Planificación de sprints.

Para la planificación y el seguimiento se ha utilizado un tablero Trello. Los tableros Trello permiten agrupar tarjetas en una serie de listas con nombre.

El autor ha sido responsable de añadir la mayoría de las historias de usuario a la lista Backlog. Se trata de un proceso continuo, durante toda la ejecución del proyecto. El director, como product owner, prioriza las historias, moviendo las tarjetas dentro de la lista Backlog. Justo antes de cada iteración se realiza una reunión presencial o virtual para revisar la iteración pasada y planificar la siguiente iteración.

Usando la técnica de planning póker se dimensionan las historias de usuario en días de trabajo. Esta técnica consiste en un proceso de generación de consenso entre el autor y el director sobre el tiempo requerido para la ejecución de cada historia de usuario. La unidad empleada ha sido de un día.

El director, como product owner, traslada las tarjetas correspondientes a las primeras historias de la lista Backlog a la lista ToDo hasta completar los días de trabajo de la iteración.

4.1.3. Flujo de trabajo.

El flujo de trabajo diario del autor corresponde a la siguiente secuencia:

- Dentro de la lista ToDo puede elegirse cualquier tarjeta para trabajar en ella. Antes de comenzar el trabajo se arrastra la tarjeta a la lista Doing. Esto proporciona información en tiempo real al director del progreso de la iteración.
- Al terminar una historia de usuario la tarjeta correspondiente se arrastra a la lista QC (Quality Control).
- El director, como Scrum Master, revisa que la historia está realmente acabada y, si así es, la traslada a la lista Done. En caso contrario, la traslada a la lista Doing otra vez, añadiendo un comentario que lo justifica.
- Si en el transcurso del trabajo se encuentra un obstáculo que impide progresar con una historia, se traslada a la lista Blocked, añadiendo un comentario que lo justifica.

En todo momento es posible ver el estado global de ejecución del proyecto. Al finalizar, la lista Done contiene todas las historias de usuario ejecutadas por orden de finalización. Y las listas Blocked y Backlog, contienen (en este orden) todas las historias de usuario que corresponderían a trabajo futuro, ya priorizadas por el director.

4.1.4. Herramientas de ayuda.

El proceso de desarrollo está fuertemente ligado a Trello.

Todo el proyecto ha sido gestionado desde su inicio con una herramienta de control de versiones distribuido en un repositorio público de GitHub. Cada vez que se completa con éxito una historia de usuario se notifica mediante un comentario en la tarjeta correspondiente. Este comentario tan solo contiene el identificador del paquete de cambios (commit) que da por concluida la historia.

Cada resultado de la ejecución de una historia de usuario se relaciona con un commit específico dentro del sistema de control de versiones.

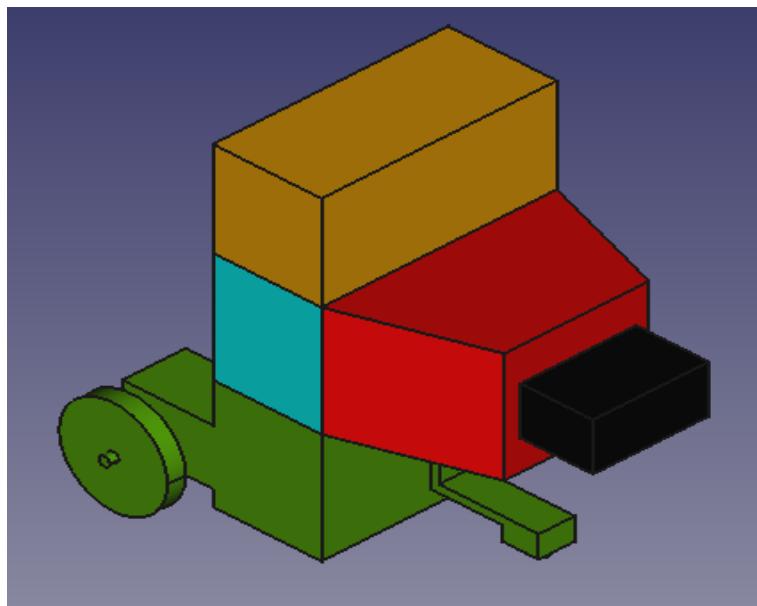
Capítulo 5. Desarrollo del proyecto

5.1. Diseño mecánico del robot.

En estas secciones se describe la estructura física de los diferentes módulos del robot.

El prototipo del robot modular diseñado consta de cinco tipos de módulos diferentes:

- ❖ Módulo de Control (azul).
- ❖ Módulo de Comunicación (rojo).
- ❖ Módulo de Alimentación (naranja).
- ❖ Módulo de Locomoción (verde).
- ❖ Módulo de Sensor (negro).



Modelo general de los módulos del robot.

5.1.1. Factores generales en el diseño.

- Para disponer de acceso al interior de los módulos cerrados se han dejado espacios para disponer de una serie de tapas en los módulos, haciendo que estos módulos dispongan de dos partes comunes: carcasa principal y tapas del módulo.

Desarrollo del proyecto - Diseño mecánico del robot.

- La unión de las diferentes tapas y la carcasa del módulo se realiza mediante tornillos de medidas M3x10 mm, con punta.
- La unión de piezas dentro de cada parte del módulo o la unión de cada conector con el módulo se realiza mediante tornillos de medidas M3x6 mm o M3x8 mm, sin punta.
- Para que los tornillos queden dentro de las piezas y no sobresalgan al exterior, se han dejado huecos de 3 mm de profundidad para tapar la cabeza del tornillo y su tuerca correspondiente, en el caso de que la tenga.
- Se han dejado dos tipos de superficies para los tornillos: cuadrada de 10x10 mm y circular de 7 mm de diámetro.
- En las carcasas, en la unión entre tapas y carcasas, en la parte donde deberían ir los diferentes tornillos de unión se ha dejado un grosor de 10 mm con el fin de que los tornillos tengan masa de material sólido para poder agarrarse bien.
- Las tapas tienen un grosor de 5 mm.

5.1.2. Modelado 3D.

Las piezas han sido diseñadas utilizando el programa de diseño 3D FreeCAD para poder imprimirlas con una impresora 3D.

Los modelos 3D realizados son los siguientes:

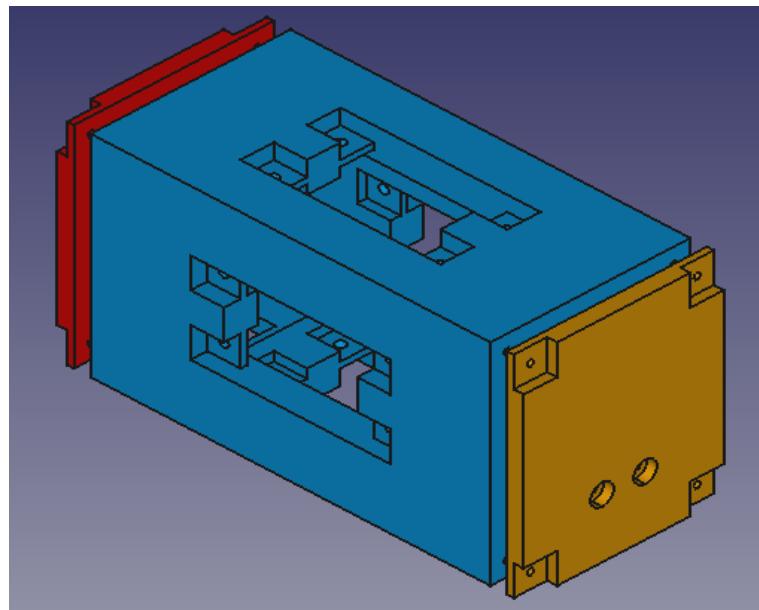
- ❖ Módulo de Control: Carcasa, Tapa A, Tapa B y Soporte para Tapa B.
- ❖ Módulo de Comunicación: Carcasa, Tapa A, Tapa B y Soporte para Tapa B.
- ❖ Módulo de Alimentación: Carcasa, Tapa y Soporte.
- ❖ Módulo de Locomoción: Carcasa, Tapa, Tapas de Motor y Soporte para Tapa
- ❖ Módulo de Sensor.
- ❖ Conector magnético H: Parte superior y Parte inferior.
- ❖ Conector magnético M: Parte superior y Parte inferior.

Factores limitantes.

En el diseño de las diferentes piezas del robot se han tenido en cuenta una serie de factores limitantes que han determinado el tamaño de cada pieza. Estos limitantes han sido:

- La batería, con unas medidas de 95x27x26 mm.
- La placa NodeMCU, con unas medidas de 58x30x20 mm.
- El hueco para los conectores, con unas medidas de 60x30x10 mm, cada uno.

5.1.3. Módulo de control.



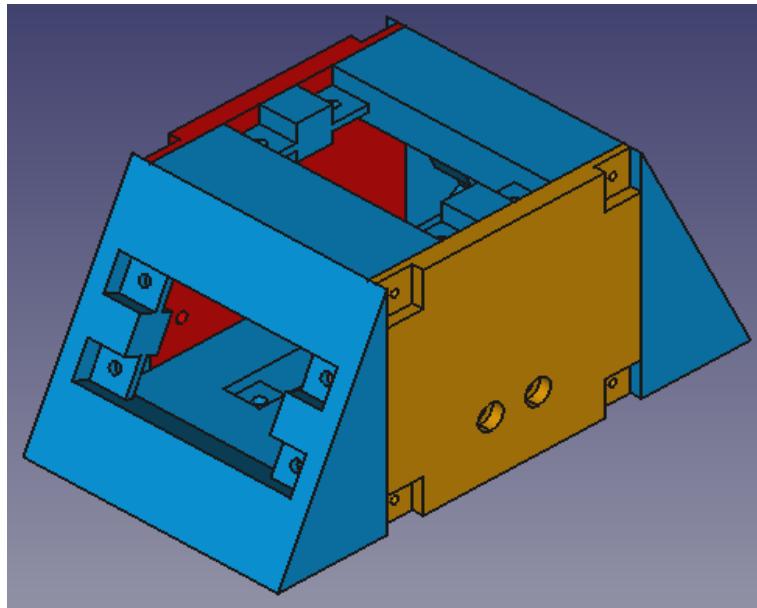
Modelo del módulo de control.

El módulo completo tiene unas dimensiones de 130x70x60 mm.

El módulo está formado por dos tapas, en las que se posicionan la placa MCU (Tapa A, rojo) y la placa 5V (Tapa B, naranja), y la carcasa principal (azul).

- Carcasa principal.
 - La carcasa mide 120x70x60 mm.
 - Tiene cuatro huecos para conectores, en las secciones de 130 mm.
 - Tiene un hueco de dimensiones 15x10x5 mm para el acceso al USB de la placa MCU.
- Tapa A.
 - La tapa A mide 5x70x60 mm.
 - Tiene cuatro huecos de 3 mm de diámetro para poder atornillar la placa MCU mediante unas tuercas de tamaño M3x8 mm y tornillos M3x6 mm.
- Tapa B.
 - La tapa B mide 5x70x60 mm.
 - Dispone de un par de clavijas para sujetar la placa 5V y de un soporte atornillado (Soporte tapa B), con tornillos M3x6 mm, para sujetar la placa y dejarla fija.

5.1.4. Módulo de comunicación.



Modelo del módulo de comunicación.

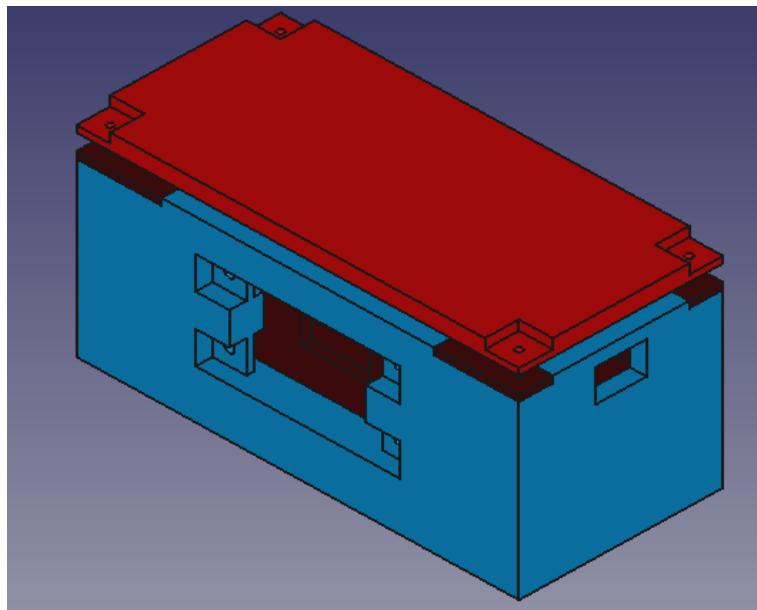
El módulo completo tiene unas dimensiones de 130x70x63 mm.

El módulo tiene forma de trapecio con uno de sus lados de 130 mm y los otros tres de 70 mm. El trapecio tiene una altura de 63 mm. El lado de 130 mm está destinado a ser el que se une con el módulo de control o a un módulo de alimentación si se quiere un funcionamiento desconectado del módulo de control.

El módulo está formado por dos tapas, en las que se posicionan la placa MCU (Tapa A, rojo) y la placa 5V (Tapa B, naranja), y la carcasa principal (azul).

- **Carcasa principal.**
La carcasa mide 130x70x63 mm.
Tiene cuatro huecos para conectores, uno de ellos en la sección de 130x70 mm y los otros tres en las secciones de 70x70 mm.
- **Tapa A.**
La tapa A mide 5x70x63 mm.
Tiene cuatro huecos de 3 mm de diámetro para poder atornillar la placa MCU mediante unas tuercas de tamaño M3x8 mm y tornillos M3x6 mm.
- **Tapa B.**
La tapa B mide 5x70x63 mm.
Dispone de un par de clavijas para sujetar la placa 5V y de un soporte atornillado (Soporte tapa B), con tornillos M3x6 mm, para sujetar la placa y dejarla fija.

5.1.5. Módulo de alimentación.



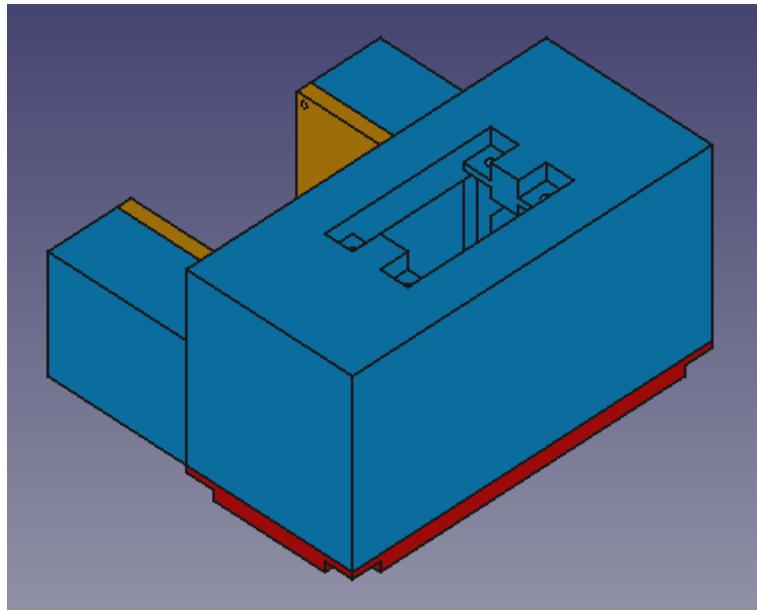
Modelo del módulo de alimentación.

El módulo completo tiene unas dimensiones de 130x60x60 mm.

El módulo está formado por una tapa (rojo), un soporte (marrón) y la carcasa principal (azul).

- Carcasa principal.
 - La carcasa mide 130x60x55 mm.
 - Dispone de un hueco para la batería, que es la que limita el tamaño de los 130 mm, que mide 100x30x30 mm. La batería mide 95 mm por lo que se debe disponer de un hueco mayor a esa medida, dejando 100 mm de hueco para la batería, 10 mm para el cableado y 10 mm a cada lado para los tornillos de la tapa, se obtiene la medida final de 130 mm.
 - El hueco para la batería dispone de un hueco de 10x10x5 mm para que pase el cableado.
 - Dispone de un hueco para un conector, en uno de los laterales de 130 mm.
 - Dispone de un hueco de dimensiones 15x10x5 mm para el acceso al cableado de carga de la batería en uno de los laterales de 60x60 mm.
- Tapa.
 - La tapa mide 130x60x5 mm.
 - Su uso es únicamente permitir el acceso al interior del módulo.
- Soporte.
 - El soporte rodea a la batería haciendo que quede totalmente cubierta, excepto por un hueco de 20x10x5 mm destinado a que pase el cableado.

5.1.6. Módulo de locomoción.



Modelo del módulo de locomoción.

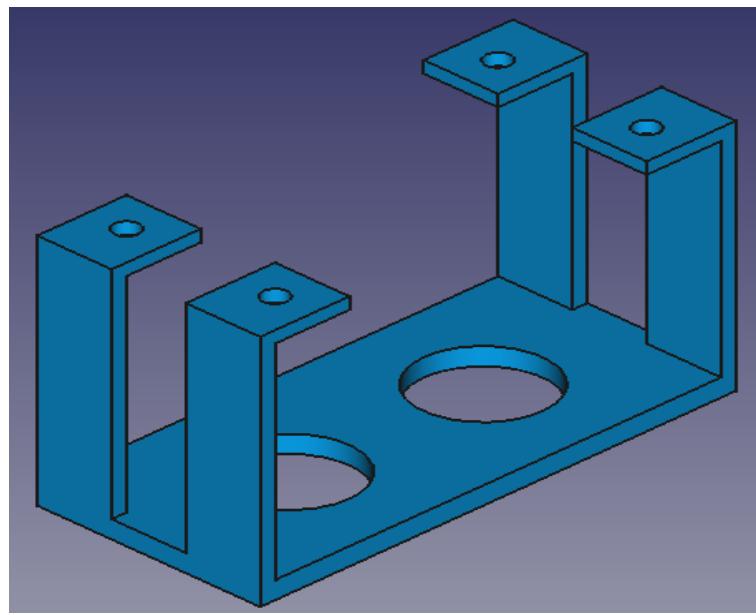
El módulo completo tiene unas dimensiones de 130x115x60 mm.

El módulo está formado por una tapa de la carcasa (rojo), dos tapas para los huecos de los motores (una para cada motor, naranja) y una carcasa principal (azul).

El módulo contiene dos motores DC, dispuestos a cada lado en un hueco dejado para ellos.

- Carcasa principal.
 - La carcasa mide 130x115x60 mm.
 - Se ha dejado un espacio de 130x60x5 mm para poder poner la tapa.
 - Dispone de un hueco para un conector, en uno de los laterales de 130 mm.
 - Dispone de un soporte para una rueda loca que va atornillado en la carcasa.
- Tapa de carcasa.
 - La tapa mide 130x60x5 mm.
 - Dispone de un par de clavijas para sujetar una placa 5V y de un soporte atornillado (Soporte tapa B), para sujetar la placa y dejarla fija.
 - Dispone de dos huecos de 3 mm de diámetro para atornillar una placa controladora de 2 motores DC.
- Tapa de motor.
 - La tapa de motor mide 55x35x5 mm.
 - Su función consiste en mantener fijo el motor DC dentro de su hueco.

5.1.7. Módulo de sensor.



Modelo del módulo de sensor.

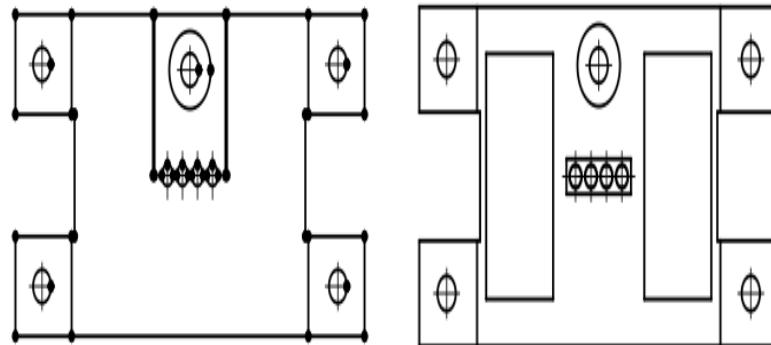
El módulo completo tiene unas dimensiones de 64x30x40 mm.

Dispone de dos huecos de 16 mm de diámetro para introducir y sujetar un sensor de distancia por ultrasonidos HC-SR04.

Dispone de cuatro soportes para sujetar el conector.

5.1.8. Conector.

Diseño de la carcasa del conector.



Parte Frontal del conector.

Parte Trasera del conector.

Hay dos tipos de conectores: conector H (hembra) y conector M (macho).

Ambos tipos de conectores están formados por dos piezas unidas mediante un tornillo de medidas M3x6 mm. En la mitad de la pieza, se dispone de un hueco para colocar los conductores Pogo-Pin (como se puede ver en la imagen).

Las dos piezas están denominadas como:

- Parte superior.

Los dos tipos de conectores tienen en la zona inferior la mitad del hueco dejado para incorporar el Pogo-Pin y en la zona superior un hueco para atornillar la pieza y dejarla unida a la parte inferior.

El conector H tiene unas medidas de 14.5x12x7.25 mm.

El conector M tiene unas medidas de 14.5x12x6.25 mm.

- Parte inferior.

Los dos tipos de conectores tienen en la mitad de la pieza un hueco, de 12.5 mm de ancho, dejado para incorporar la parte superior y se dispone en esa zona de la otra mitad del hueco para el Pogo-Pin. La diferencia entre tipos está en la profundidad dejada en el hueco para la parte superior.

En la parte posterior, a cada lado del hueco del Pogo-Pin, a 1.25 mm de distancia, hay un hueco para introducir un imán rectangular de medidas 20x10 mm. Los huecos para los imanes tienen unas medidas de 21x11x9 mm y están dispuestos de forma vertical, ya que permite una reducción del tamaño de la pieza en comparación con una posición horizontal. La distancia entre el borde del conector y el hueco para el imán es de 2 mm.

Con todo esto, cada parte que forma el conector se ha ajustado a medida dejando el mínimo espacio entre ellas para reducir al máximo el tamaño de la pieza dejando unas medidas totales del conector de 59x29x10 mm.

Conexión magnética.

La conexión magnética se ha pensado en realizar de dos formas:

- 1) Mediante Imanes con agujeros centrados y atornillados, siendo esta la forma más fiable en asegurar la posición de los imanes pero debido a la fragilidad de los imanes puede llevar a su rotura.
- 2) Mediante imanes insertados en un hueco hecho en la carcasa con las medidas adaptadas al tamaño del imán y pegados en él. De esta forma tenemos dos posibilidades:
 - I. Imán externo, se dispone de más potencia por el contacto directo con el imán pero puede ocasionar problemas al poder desprenderse de la carcasa por los numerosos contactos con los diferentes conectores.
 - II. Imán interno, puede perder un poco de potencia debido a la capa de carcasa que lo separa del exterior pero proporciona más seguridad dificultando que el imán se desprenda del hueco de la carcasa.

Como las piezas de robot se están haciendo a medida y es posible incorporar un hueco para los imanes, la opción por la que se ha optado es la de insertar un imán rectangular, en un hueco en la carcasa. Además para garantizar el mantenimiento del conector se ha optado por dejar el imán en el interior de la carcasa.

Los imanes que se van a utilizar son imanes de Neodimio de medidas 20x10x2 mm.

5.1.9. Problemas en el desarrollo mecánico del robot.

Los problemas que se han encontrado en la elaboración del prototipo del robot, tanto en el diseño 3D como en la obtención física de las diferentes piezas que forman cada módulo se explican en este apartado.

➤ Problema encontrado.

✓ Solución dada al problema.

Problemas en el diseño de las piezas.

- Medidas de los componentes, denominados como **factores limitantes**.
- ✓ Adaptación del tamaño y forma de las piezas y los módulos a estos factores limitantes.

Problemas encontrados durante el montaje del robot.

- Posición firme de los conectores para que aguanten el peso de los módulos.
- ✓ En los laterales de la carcasa del conector se han colocado cuatro agarres con huecos para tornillos de medidas M3x6 mm. Con el fin de garantizar el agarre de la pieza se han puesto dos agarres a cada lado, con un grosor de 2 mm en el agarre y 2 mm en el lado del módulo correspondiente, con un total de 4 mm de material soportando el peso del módulo en cada agarre.
- Los imanes no aguantan con suficiente fuerza el peso de los módulos, que ha sido mayor de lo esperado, lo que provoca que la conexión de los pogo-pines se vuelva inestable, debido a las pequeñas dimensiones de estos y la elevada precisión necesaria en su conexión, causando su desconexión ante posibles movimientos de los módulos.
- ✓ Se han añadido clavijas de apoyo en las carcasa de los módulos para poder aguantar el peso de las piezas y fijar así la posición de los módulos obteniendo una conexión, de una forma más precisa y segura de los pogo-pines.
- Al añadir el cableado de los pogo-pines, ya que se ha realizado de forma manual, el hueco dejado para que estos pasen y se apoyen dentro de la carcasa del conector ha quedado pequeño, ya que al añadir la soldadura de forma manual entre pogo-pin y cable, el tamaño de la unión es mayor de lo esperado.
- ✓ Aumento manual del hueco dejado debido a que el tamaño añadido por la soldadura no es regular ni constante. Como esto ha causado también un desajuste en la altura de las partes superiores del conector, esta se ha tenido que ajustar también manualmente según el caso.

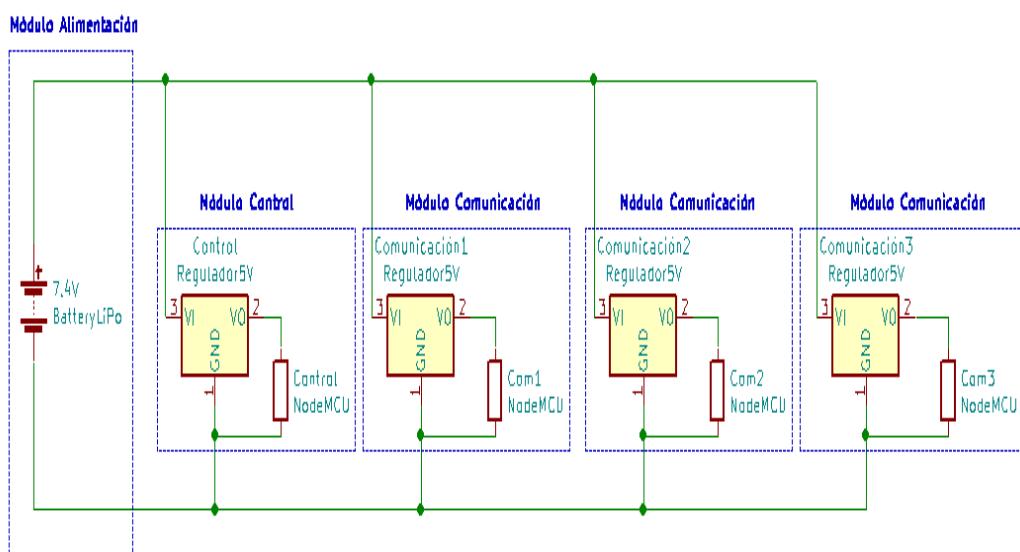
5.2. Diseño electrónico del robot.

En estas secciones se describe el diseño de las partes electrónicas del robot y las especificaciones de los componentes electrónicos.

5.2.1. Alimentación del robot.

Módulo de Alimentación.

La alimentación del robot, en general, se realiza mediante el módulo de alimentación, que es un módulo que contiene una batería LiPo de 7.4 V (dos celdas de 3.7 V). Este módulo realiza el suministro de corriente a todo el circuito tal y como se muestra en la siguiente imagen:



Esquema eléctrico de la alimentación del robot.

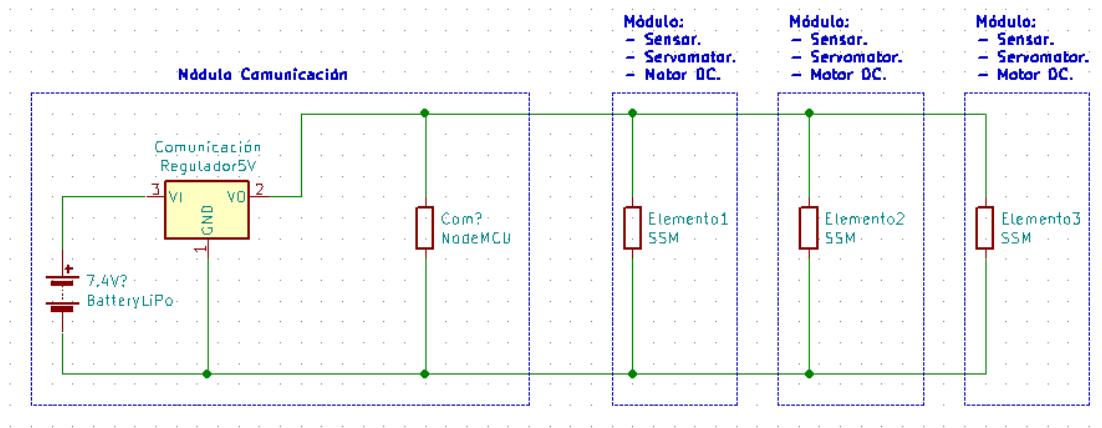
Módulos principales.

Tanto el módulo de control como el de comunicación contienen una placa MCU y además un regulador de tensión (placa 5V) que convierte la tensión principal de 7.4 V a 5 V para poder alimentar de esta forma la placa controladora.

Módulos secundarios.

La alimentación de los módulos de sensor, y cualquier módulo secundario, se realiza mediante una derivación en el módulo de comunicación de la conversión de 7.4 V a 5 V para poder alimentar hasta tres componentes con una alimentación de 5 V. La idea principal es poder alimentar sensores, motores DC y servomotores.

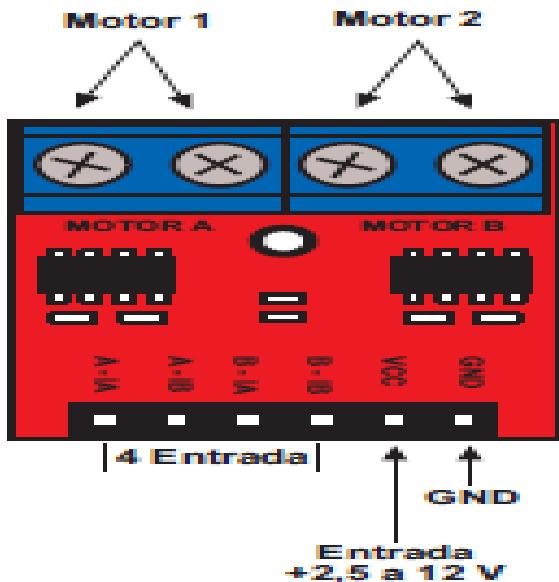
Desarrollo del proyecto - Diseño electrónico del robot.



Alimentación de los módulos conectados al módulo de comunicación.

Módulo de locomoción.

El módulo de locomoción contiene un controlador de motores DC, modelo L9110, alimentado con 5 V de señal de entrada, dada a través de una placa 5V.



Controlador L9110.

Característica	Valor
V_{in}	2.5 V – 12 V
$I_{Quiescent}$	0 – 2 μ A
I_{in}	200 μ A – 500 μ A
I_{out}	750 mA – 850 mA
I_{pico}	1.5 A – 2 A

Características técnicas del controlador L9110.

Consumo de corriente de los módulos.

El módulo de control y el módulo de comunicación consumen lo mismo ya que están formados de los mismos componentes: placa NodeMCU y placa 5V. En la placa

Desarrollo del proyecto - Diseño electrónico del robot.

NodeMCU se tiene un consumo nominal de 80 mA, pero en transmisión de datos se alcanzan los máximos de 170 mA.

El módulo de locomoción atendiendo a las características técnicas puede tener un pico de hasta 2 A.

El módulo de sensor que consta de un sensor de proximidad por ultrasonidos HCSR04 consume una corriente de 15 mA, alimentado a 5V.

Para poder garantizar una duración amplia de la batería, permitiendo una mayor autonomía del robot y dado que se ha pensado el robot para tener una alimentación general global en todo el robot, con lo cual si se van añadiendo módulos el consumo aumentaría, de forma que con vistas a una ampliación del robot mediante diferentes módulos la batería usada es una batería Li-Po de capacidad 3000 mAh.

5.2.2. Conector.

El conector es la parte del módulo que permite la conexión entre dos módulos y se encarga de transmitir las señales eléctricas entre ellos. Se busca utilizar como conector algo similar a lo siguiente:



Ejemplo de conector magnético. Imagen obtenida de <https://es.aliexpress.com>

Estos conectores están formados por:

1. Carcasa del conector.
2. Conjunto de pines Pogo-Pin.
3. Uno o más imanes que permiten una conexión magnética entre conectores.

La idea principal de usar este tipo de conexión se debe a la intención de que la conexión entre los módulos se haga sin tener que encajar pines eléctricos ni tener que usar enchufes.

La parte electrónica del conector son los pines conductores tipo Pogo-pin.

Pines conductores tipo Pogo-Pin.



Conductor Pogo-Pin de dos pines.

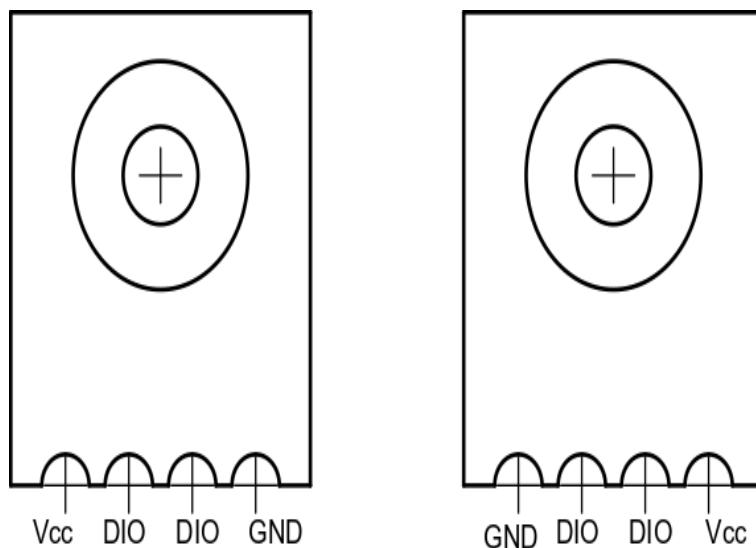
Característica	Valor
Datos Generales	
Tiempo de funcionamiento	100.000 usos
Datos Eléctricos	
Voltaje máximo	500 V
Corriente nominal	1 A – 5 A
Datos Térmicos	
Temperatura nominal de funcionamiento	(–60) °C – 70 °C
Temperatura máxima	280 °C
Temperatura máxima (plástico)	270 °C

Características técnicas del pin tipo Pogo-Pin usado en el proyecto.

La cantidad de pines a utilizar depende de los datos que se quieran transmitir, en este caso, el mínimo es de dos conductores (V_{cc} y GND) ya que se busca transmitir la señal de alimentación principalmente, pero se ha optado por tener cuatro pines para poder transmitir señales digitales de control para los sensores y/o motores.

Por tanto se dispone de dos señales digitales (DIO) que se pueden configurar como: In-In, Out-Out o In-Out, aumentando la versatilidad del conector.

En el conector diseñado hay dos tipos de disposición de los pines, según sea conductor M o conductor H (usando como referencia física la parte superior del conductor), como se muestra en la siguiente imagen:



Conector M

Disposición de los pines en los dos tipos de conectores.

Conector H

5.2.3. Conexiones digitales del robot.

Módulo de control.

El módulo de control, en el proyecto, tiene un lado como si fuera el módulo de comunicación para conectar el módulo de locomoción. Por tanto tiene dos pines digitales, configurados como salidas (Out-Out) ya que su función es activar los motores DC conectados en el módulo de locomoción.

Función	Pin NodeMCU (GPIO)
Activación motor 1	D1 (5)
Activación motor 2	D3 (0)
Dirección de giro del motor	D2 (4)

Distribución de los pines digitales en el módulo de control.

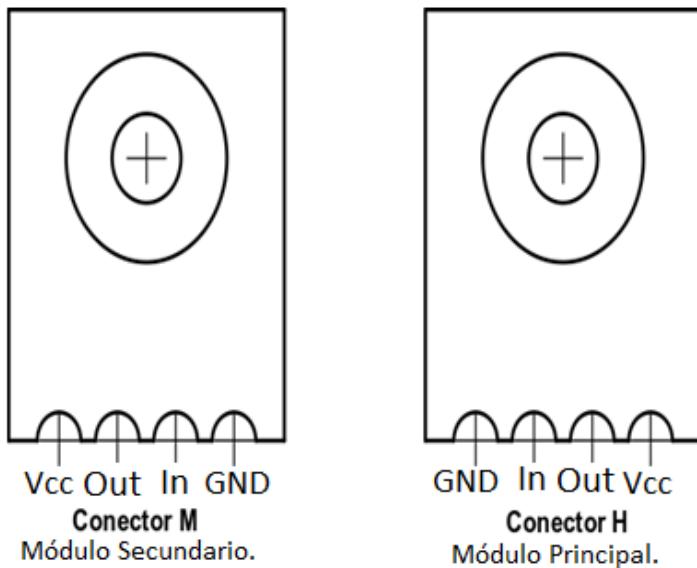
En un modelo teórico del proyecto, este módulo no dispone de pines digitales conectados ya que solo tendría conectados módulos de comunicación, hasta un máximo de 3 módulos, pero por simplificación del robot y por un modelado 3D más uniforme el módulo de control ejerce como el módulo de comunicación que se comunica con el módulo de locomoción.

Módulo de comunicación.

El módulo de comunicación, en el proyecto, tiene dos sensores de proximidad por ultrasonidos conectados por lo que tiene dos pares de pines digitales configurados como entrada-salida (In-Out) ya que su función es enviar una señal de activación del sensor y recibir la señal captada por el sensor.

Función	Pin NodeMCU (GPIO)
Sensor1 input	D1 (5)
Sensor1 output	D2 (4)
Sensor2 input	D7 (13)
Sensor2 output	D8 (15)

Distribución de los pines digitales en el módulo de comunicación.



Distribución de los pines digitales entre módulo principal y módulo secundario.

En un modelo teórico del proyecto, este módulo dispone de tres pares de pines digitales para poder conectar módulos de elementos (de sensor, motor DC o servomotor), hasta un máximo de 3 módulos, configurados según el elemento final conectado. Este módulo sería el único que tiene contacto con los elementos.

Módulo de locomoción.

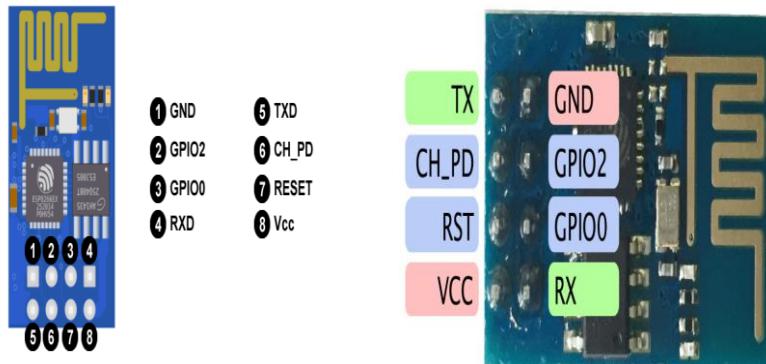
El módulo de locomoción y su conexión con el módulo de control dispone de un pin digital extra, esto se debe a que para controlar un motor se necesitan dos pines digitales: pin de activación y pin de dirección. En el proyecto, el módulo de locomoción tiene dos motores DC, ya que facilitaba de esta forma el montaje del robot y tenía una mejor estabilidad de las piezas del módulo. Por ello, se ha dispuesto de un pin digital extra en el conector del módulo para que controle la dirección de giro de los motores, de manera simultánea, y la señal de activación de los motores vendrá dada por los dos pines digitales que normalmente tiene el conector.

5.2.5. Microcontrolador del robot.

Para controlar el robot se busca un microcontrolador con la capacidad de conexión inalámbrica vía Wi-Fi, ya que se busca que los módulos se comuniquen de esta forma inalámbrica. Por ello se ha tenido en cuenta el microcontrolador ESP8266 debido a que es fácil de encontrar en el mercado con un precio aceptable, tiene muchas versiones que se adaptan a diferentes situaciones y tamaños. Además, como característica principal que ha llevado a su elección es la compatibilidad con Arduino lo que permite una mayor facilidad de programación y compatibilidad de componentes. Entre las versiones de este microcontrolador que se pueden encontrar más fácilmente en el mercado, ya que hay muchas descatalogadas, son: la versión principal del microcontrolador o ESP-01 y la versión más moderna en forma de placa PCB NodeMCU (versión V3).

Versiones del ESP8266.

ESP-01.



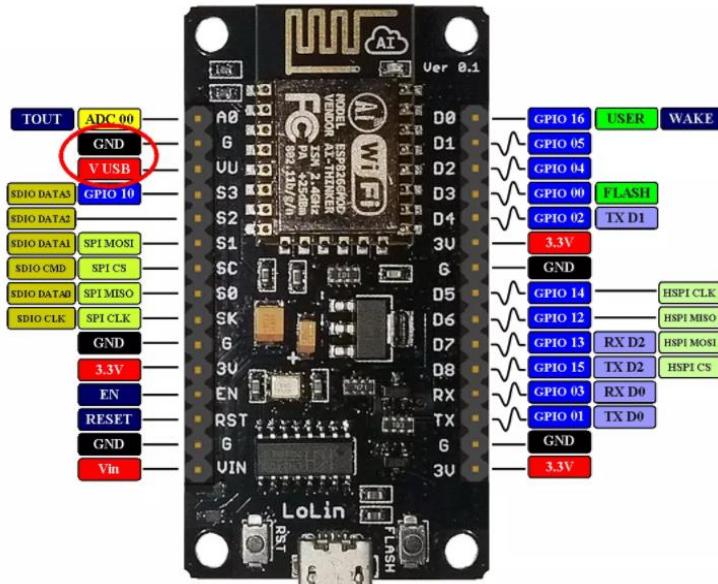
Pines de ESP-01.

Características de la placa:

- 1 pin de alimentación a 3.3 V.
- 1 pin GND.
- 4 pines digitales para uso general (GPIO).
- Memoria SPI flash externa de 1 MB.

Desarrollo del proyecto - Diseño electrónico del robot.

NodeMCU V3.



Pines de NodeMCU 1.0 versión LoLin.

Características de la placa:

- 1 pin de alimentación a 5 V [VIN] con una regulación a 3.3 V para alimentar el microprocesador con un regulador AMS1117 (Tanto la versión Wemos como la versión Lolin usan el mismo regulador). El pin de alimentación a 5 V está conectado a un puerto µUSB para poder alimentarlo a través de este puerto.
- 1 pin destinado a salida de tensión a 5 V [VU] a través de la alimentación de la placa.
- 3 pines de salida de tensión a 3.3 V.
- 4 pines GND.
- 13 pines digitales para uso general (GPIO).

MCU Lolin	ESP8266EX (GPIO)
D0	16
D1	5
D2	4
D3	0
D4	2
D5	14
D6	12
D7	13
D8	15
D9(RX)	3
D10(TX)	1
D11(S2)	9
D12(S3)	10

Equivalencias de entradas digitales entre ESP8266 y NodeMCU.

Desarrollo del proyecto - Diseño electrónico del robot.

- 1 pin de entrada analógica.
- Memoria SPI flash externa de 4 MB.

Comparación entre ESP-01 y NodeMCU V3.

Modelo	Pines GPIO	Vcc (V)	Dimensiones (mm)	Memoria Flash (MB)
ESP 01	4	3.3	24.8x14.3	1
NodeMCU LoLin	13	5	30x58	4

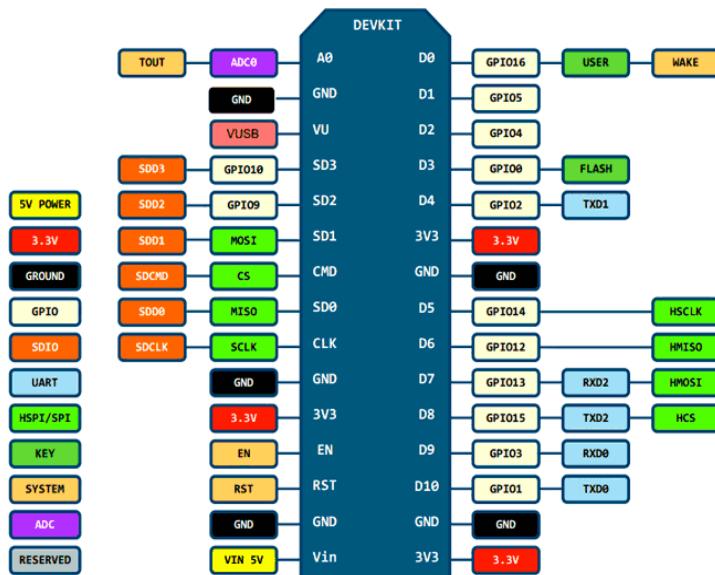
Tabla comparativa ESP-01 y NodeMCU V3 Lolin.

La mayor ventaja de la placa ESP-01 está en su tamaño, fácilmente adaptable a cualquier forma, permitiendo reducir los tamaños de las piezas. Se dispone de cuatro pines digitales libres, que podrían aumentarse mediante placas especiales externas pero complicaría el circuito y aumentaría el tamaño del conjunto. Para realizar una conexión mediante USB se necesita acoplar el USB de manera externa, lo que haría aumentar su tamaño, dificultaría la localización de la pieza y complica el circuito añadiendo cableado. Además, si se acopla el USB externo se necesitaría acoplar el regulador de voltaje de forma externa a este USB para conseguir los 3.3 V de alimentación necesaria para la placa ESP-01 y también se pierde dos de los pines digitales libres que deberían actuar de RX y TX de la comunicación USB.

La placa MCU dispone de una mayor cantidad de pines digitales libres, además de disponer de una alimentación a 5 V, incorporando la conexión por µUSB lo que permite una conexión al PC más sencilla y rápida. Su tamaño es mayor que el ESP-01 pero incorpora la conexión USB, la regulación del voltaje a 3.3 V y se evita el aumento de cableado al estar soldados los componentes a una placa. Además la placa MCU incluye una salida de voltaje a 5 V a través del USB lo que permite incorporar componentes que se alimenten a ese voltaje. También incluye una entrada analógica que aumenta la variedad y funcionalidad de los sensores acoplados.

Con todo esto, ya que ofrece una mayor versatilidad y el único defecto es tener un tamaño mayor pero con todos los componentes (ESP8266, mayor número de pines digitales, conexión USB y regulador de tensión) incorporados, se ha optado por utilizar la placa MCU.

5.2.6. NodeMCU V3.



Pines de NodeMCU V3.

Los componentes principales de la placa MCU son:

- ESP8266 (versión ESP-12E).
- Alimentación por USB de 5V.
- Chip CH340G para el manejo del USB.
- Regulador AMS1117 de tensión de 5V a 3.3V.
- Botones RST y FLASH.

ESP8266 (ESP-12E).

Distribución de los pines digitales (GPIO):

- Los pines GPIO 6, 7, 8 y 11 están destinados a la memoria SPI Flash externa y por ello no han sido contados como pines libres GPIO.
- Los pines GPIO 9 y 10 son pines digitales libres pero no se recomienda su uso ya que son una posible ampliación de memoria SPI Flash externa.
- Los pines GPIO 1 y 3 son pines digitales libres pero no se recomienda su uso ya que son los pines destinados al uso de la comunicación serie, usada por el USB para cargar los programas de Arduino (sketch).

Desarrollo del proyecto - Diseño electrónico del robot.



Nº	PIN
1	RST (Reset)
2	ADC
3	EN (CH-PD)
4	GPIO 16
5	GPIO 14
6	GPIO 12
7	GPIO 13
8	VCC (3,3 V)
9	CS0, GPIO 11
10	MISO, GPIO 7
11	GPIO 9
12	GPIO 10
13	MOSI, GPIO 8
14	SCLK, GPIO 6
15	GND
16	GPIO 15
17	GPIO 2
18	GPIO 0
19	GPIO 4
20	GPIO 5
21	RXD, GPIO 3
22	TXD, GPIO 1

Pines del ESP8266-12E.

Desarrollo del proyecto - Diseño electrónico del robot.

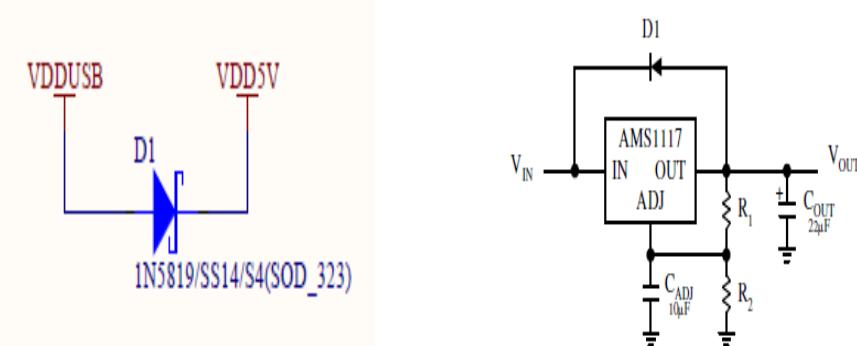
Característica	Valor
Datos Generales	
Clock Speed	80 MHz (máximo de 160 MHz)
Frecuencia Cristal	24 MHz – 52 MHz
Memoria RAM (General)	160 KB
Memoria dRAM	96 KB
Memoria iRAM	64 KB
Memoria SPI Flash externa	512 KB – 16 MB
Datos Eléctricos Generales	
Tensión Nominal	3.3 V
Corriente Nominal	80 mA
Corriente Deep Sleep	20 µA
Corriente TX máximo	170 mA
Corriente RX máximo	56 mA
Datos Eléctricos GPIO	
V_{out}	3.3 V
I_{out} (máxima)	12 mA
Input LOW	-0.3 V – 0.825 V
Input HIGH	2.475 V – 3.6 V
Output LOW	0 V – 0.33 V
Output HIGH	2.64 V – 3.3 V

Características técnicas ESP8266.

Frecuencia de Cristal (MHz)	Velocidad de transmisión (baudios)
26	74880
40	115200

Velocidad de transmisión según frecuencia de cristal.

Alimentación de la placa MCU.



Entrada µUSB de NodeMCU.

Regulación de Tensión de entrada de 5V a 3.3 V.

Regulador de tensión de la placa MCU.

Característica	Valor
Datos Generales	
Modelo	AMS1117
Encapsulado	SOT-223
Datos Eléctricos	
V_{in} máxima	15 V
Line Regulation ^{*1} (con $1.5V \leq (V_{in} - V_{out}) \leq 12V$)	1 mV – 10 mV
Load Regulation ^{*2} (con $V_{in} = 4.75V; 0 \leq I_{out} \leq 0.8A$)	3 mV – 15 mV
$V_{dropout}$ ^{*3} (con $I_{out} = 800 mA$)	1.1 V – 1.3 V
I_{out} máxima (con $(V_{in} - V_{out}) \leq 1.5V$)	900 mA – 1500 mA (nominal 1 A)
I_{out} mínima (con $(V_{in} - V_{out}) \leq 1.5V$)	5 mA – 10 mA
Quiescent Current (con $(V_{in} - V_{out}) \leq 1.5V$)	5 mA – 11 mA
Datos Térmicos	
Operating Junction Temperature	(–40) °C – 125 °C
Storage Temperature	(–65) °C – 150 °C
Thermal Resistance (SOT-223)	46 °C/W – 90 °C/W
Thermal Resistance (Junction to Case)	15 °C/W

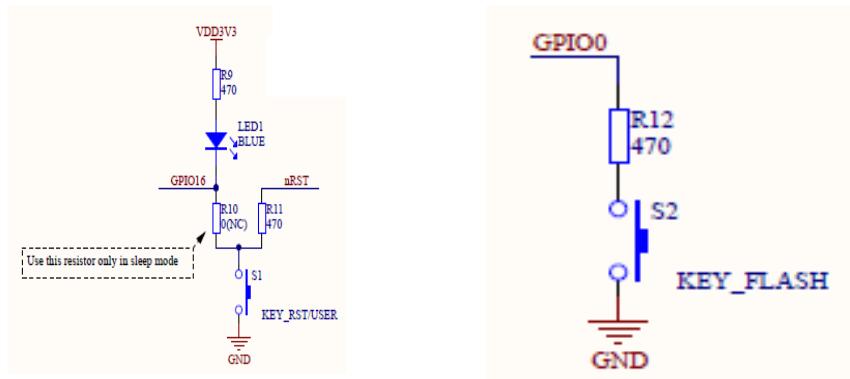
^{*1}Line Regulation: Capacidad de mantener la tensión de salida respecto a las variaciones en la señal de entrada.

^{*2}Load Regulation: Capacidad de mantener la tensión de salida ante cambios en el consumo de corriente de la carga.

^{*3} $V_{dropout}$: Mínima diferencia de tensión entre entrada-salida para que pueda realizarse la regulación de tensión correctamente.

Características técnicas de AMS1117.

Botones de la placa MCU.



Esquema eléctrico del Botón RST (Reset).

Esquema eléctrico del Botón Flash.

Botón RST:

La placa MCU se puede reiniciar cuando en el pin RST (Reset) se aplica una señal de estado bajo. El pin RST de la placa está conectado de forma que su estado es normalmente alto, como se puede comprobar en el esquema estando conectado a la señal de 3.3 V. Cuando se pulsa el botón RST, el pin pasa a estar en estado bajo provocando el reinicio de la placa.

Si se desean aplicar los estados de la placa SLEEP o DEEP-SLEEP para ahorrar energía se debe conectar el pin GPIO 16 (D0) con el pin RST, como muestra la imagen, de esta forma cuando se señale a través del pin GPIO 16 una señal de estado bajo la placa se reiniciará al igual que si se hubiera pulsado el botón RST. Por tanto una forma de automatizarlo sería aplicando un temporizador mediante el pin GPIO 16 que “despierte” a la placa sólo cambiando el estado de salida de ese pin GPIO.

Botón FLASH:

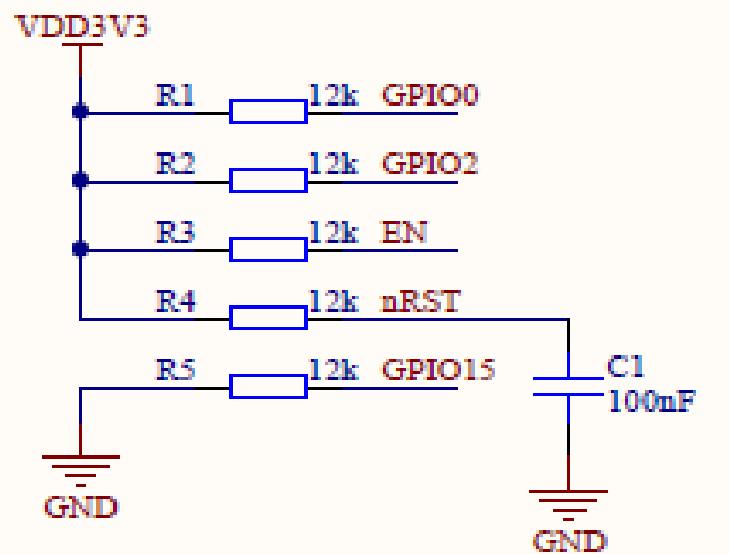
El botón Flash permite que la placa entre en modo FLASH para que pueda almacenar los datos de los programas que se le pasará para que ejecute las operaciones deseadas. En el caso de este proyecto, permite el almacenamiento del Sketch de Arduino.

Modos de funcionamiento del ESP.

El ESP8266 tiene dos modos de funcionamiento:

- Modo UART, es el funcionamiento normal, ejecutando las órdenes almacenadas en el programa que le ha sido enviado.
- Modo FLASH, permite el almacenamiento de los programas en la memoria de la placa.

Para configurar modos de funcionamiento se debe cumplir las siguientes condiciones:



Configuración electrónica de modos de funcionamiento.

Modo	GPIO 15	GPIO 2	GPIO 0
UART	LOW	HIGH	HIGH
FLASH	LOW	HIGH	LOW

Configuración lógica de los modos de funcionamiento.

- El pin GPIO 15 debe de tener un estado normalmente bajo.
- El pin GPIO 2 debe de tener un estado normalmente alto.
- El pin GPIO 0 es el que conmutará, según su estado, el modo en el que funcionará la placa [alto → modo UART : bajo → modo FLASH].

Para poder conmutar los diferentes modos de funcionamiento de la placa se debe realizar el siguiente proceso, si se desea hacerlo de forma manual:

1. Pulsar, y mantener pulsado, el botón FLASH. Con esto dejamos el pin GPIO0 a un estado LOW, y como los pins GPIO2 y GPIO15 ya estaban fijos con sus estados correspondientes se habrá procedido a activar al modo FLASH del ESP8266.
2. Para que funcione en este modo debemos reiniciar el ESP por tanto, sin soltar aún el botón FLASH, se debe pulsar el botón RST. Por lo que reiniciamos la placa en su modo activado FLASH, comprobándolo mediante el parpadeo del LED acoplado en el ESP.

Desarrollo del proyecto - Diseño electrónico del robot.

3. Finalmente, tras acabar con el modo FLASH, para volver al modo normal UART se suelta el botón FLASH.

NOTA: En la placa MCU si se usa IDE de Arduino o similares cuando se realiza la función de subir programa (sketch) este proceso se realiza de forma automática y no es necesario hacerlo.

5.3. Diseño lógico

En estas secciones se describe la estructura y funcionamiento del software incluido en los microcontroladores del robot.

5.3.1. Estructura general

Todos los componentes lógicos del robot se modelan como módulos independientes. Existe dos tipos de módulos, los módulos de control y los módulos de dispositivo.

Un módulo de control actúa como un concentrador de mensajes, distribuyendo los mensajes del protocolo entre los distintos módulos de dispositivo. Los módulos implementan la relación cliente/servidor entre los componentes del robot. El módulo de control actúa de punto de acceso WiFi y servidor de cara a las comunicaciones TCP/IP. Cada módulo de dispositivo actúa como estación WiFi y cliente de cara a las comunicaciones TCP/IP.

Cada módulo, incluso el de control, puede disponer de cualquier número de dispositivos físicos, que denominaremos elementos, directamente controlables mediante un protocolo sencillo.

5.3.2. Protocolo

El protocolo entre módulos permite comunicar mediante paso de mensajes todos los componentes, sin necesidad de tener un mecanismo de direccionamiento sofisticado.

Es un protocolo sin estado que se compone de mensajes textuales completamente homogéneos con el siguiente formato:

[Orden] [id_ModuloOrig] [id_ModuloDestino] ([id_Elemento]+ ([Datos]))

La orden puede ser una de las siguientes letras:

W	Escribir un valor determinado en el elemento id_Elemento (pueden ser varios) del módulo id_ModuloDestino
R	Leer el valor asociado al elemento id_Elemento (pueden ser varios) conectado al módulo id_ModuloDestino.
N	Notifica el resultado de una lectura al dispositivo que la pidió (id_ModuloDestino).
L	Lista de los elementos conectados a un módulo. Esta orden es usada solamente para depuración.

El protocolo permite identificar al módulo originario sin importar que otro módulo actúe de intermediario. Además, todos los mensajes son idempotentes, lo que simplifica notablemente la gestión de errores.

Algunos ejemplos de mensajes se muestran a continuación:

W pc mod1 motor1 138	Escribe en el elemento motor1 del módulo mod1 el valor 138. Lo pide el módulo pc.
R pc mod2 temp	Lee el elemento temp del módulo mod2. Lo pide el módulo pc.

Desarrollo del proyecto - Diseño lógico

N mod2 pc temp 23	Notificación del valor 23 del elemento temp del módulo mod2. Lo notifica al módulo pc, presumiblemente porque antes hubo una lectura desde ese origen.
L pc mod1	Lista los elementos disponibles en el módulo mod1. Lo pide el módulo pc.

En un mismo mensaje se pueden indicar varios elementos del mismo módulo, separados por comas.

Modelo cliente servidor

Todo el proyecto utiliza comunicaciones TCP. Se asume que el módulo de control es un servidor TCP concurrente y los módulos de dispositivo son clientes TCP. Sin embargo, desde el punto de vista de la interacción, el sistema sigue un modelo peer to peer, en el que cualquiera puede tomar la iniciativa de la comunicación. Así mismo, la interacción se produce siempre mediante paso de mensajes para evitar problemas de fallo parcial. No existe garantía de orden en la entrega de mensajes, aunque esto se puede conseguir con un protocolo de mayor nivel si fuera necesario.

La implementación de cliente y servidor se realiza en los archivos client.hh y server.hh y sus respectivos client.cpp y server.cpp. Ambos se implementan de forma similar, con una máquina de estados que intenta conexiones persistentes.

Por ejemplo, el cliente tiene la siguiente estructura:

```
template <class Protocol>
class ROMEOClient {
public:
    ROMEOClient() : _state(State::Disconnected) { }
    void run();
private:
    // ...
    enum class State {
        Disconnected,
        Waiting,
        Associated,
        Connected,
    };
    WiFiClient _client;
    State _state;
    LEDControl _led;
};
```

El método run se ejecuta repetidamente y es el responsable de realizar las transiciones de estado cuando se cumplen las condiciones. Normalmente el módulo pasará de forma secuencial entre los estados

1. Disconnected. El módulo no está conectado ni asociado a ningún punto de acceso.
2. Waiting. El módulo está intentando asociarse a la red WiFi del módulo de control.

Desarrollo del proyecto - Diseño lógico

3. Associated. El módulo está asociado a la red WiFi e intenta conectarse al módulo de control usando TCP.
4. Connected. El módulo está conectado usando TCP con el módulo de control.

El servidor implementa la máquina de estados complementaria, con una estructura similar:

```
template <class Protocol>
class ROMEOServer {
public:
    ROMEOServer() : _state(State::MissingAP), _server(80) { pinMode(2, OUTPUT); }

    void run();
    // ...
private:
    enum class State {
        MissingAP,
        SoftAP,
        Listening,
    };

    WiFiServer _server;
    WiFiClient _clients[4];
    State _state;
    LEDControl _led;
};
```

Al igual que en el caso del cliente, el método run es el responsable de realizar las transiciones de estado. Normalmente seguirá la siguiente secuencia:

1. MissingAP. El módulo de control activa el punto de acceso. Aún no hay constancia de que haya tenido éxito.
2. SoftAP. El punto de acceso está disponible. Ahora activa el servidor TCP.
3. Listening. El servidor TCP está escuchando. Si hay algún nuevo cliente establece la conexión y se mantiene en el estado Listening.

Rutado

Los módulos de dispositivo son nodos finales. Solo entregan los mensajes que van destinados a ellos. Sin embargo, los módulos de control actúan como concentradores (hubs) de mensajes, retransmitiendo todos los mensajes que no van destinados a ellos a todos los módulos de dispositivo conectados. Esto permite que el rutado pueda implementarse sin mantener ningún tipo de estado, lo que dota al sistema de una aceptable tolerancia a fallos.

Paso de mensajes

Los mensajes de los que consta el protocolo constituyen fundamentalmente transferencias de estado completas. Las escrituras cambian directamente el estado de un elemento por el valor que incorpora el mensaje. Es decir, se trata de un protocolo idempotente.

Desarrollo del proyecto - Diseño lógico

El transporte de los mensajes se realiza mediante TCP, pero eso no permite concluir que estamos en un entorno ausente de fallos. Las pérdidas de la conexión WiFi o de la conexión TCP pueden ocurrir en cualquier momento. El sistema está preparado para reconectar inmediatamente, pero pueden producirse pérdidas y duplicados de mensajes.

La idempotencia garantiza que no es necesario filtrar duplicados, pero las pérdidas de mensajes no están contempladas en el protocolo. En caso de ser necesario deberá implementarse en un protocolo de mayor nivel.

5.3.3. Controlador

Para ilustrar la implementación veremos con cierto detalle cómo se implementa el módulo controlador. Puede resumirse en las siguientes líneas:

```
ROMEODevice device("control", "M12M32");

struct ControlProto {
    static void intro(WiFiClient& client, WiFiServer& server);
    static void run(WiFiClient& client, WiFiServer& server);
};

using ROMEOModule = ROMEOServer<ControlProto>;
ROMEOModule module;
```

La primera línea identifica al módulo de control como un posible destino de mensajes, con el nombre control, y con los elementos asociados que se muestran en el argumento M12M32. La cadena de configuración determina que dispone de un motor conectado entre los pines 1 y 2 y otro motor conectado entre los pines 3 y 2.

A continuación, se define una clase que implementa el protocolo de paso de mensajes y se instancia la plantilla ROMEOServer empleando este protocolo. La plantilla ROMEOServer implementa el rol de servidor en la comunicación TCP/IP. Por un lado, se configura el módulo como punto de acceso WiFi y por otro atiende conexiones concurrentes de todos los clientes (ver plantilla ROMEOClient).

El protocolo ControlProto solo tiene dos métodos.

- El método intro se invoca una sola vez, en el momento del establecimiento de la conexión. Está pensado para implementar algún tipo de saludo, que impida un posible interbloqueo de TCP en presencia de fallos. Actualmente el saludo puede ser cualquier línea de texto enviada por el cliente, incluso una línea vacía.
- El método run se invoca cada vez que hay datos disponibles. Actualmente lo único que hace es replicar el mensaje en todas las conexiones abiertas y redirigirlo además al módulo de dispositivo (ROMEODevice).

Un módulo ROMEODevice es simplemente un posible destino de mensajes. Aglutina un conjunto de elementos de distinto tipo, derivados de la clase común Element. Un elemento es capaz de interpretar los mensajes destinados a él (métodos read, write y notify). Como ejemplos, en este proyecto se proporciona un actuador (MotorElement) y un sensor (DistanceSensorElement). Se remite al lector interesado en los detalles de implementación al archivo device.hh del repositorio GitHub.

5.3.4. Dispositivos

El módulo de dispositivo es muy similar al módulo de control, salvo que implementa el rol de cliente en lugar de servidor y el protocolo no replica los mensajes, sino que los consume directamente:

```
ROMEODevice device("com", "D12D78");

struct ClientProto {
    static void intro(WiFiClient& client);
    static void run(WiFiClient& client);
};

using ROMEOModule = ROMEOClient<ClientProto>;
ROMEOModule module;
```

En este caso el módulo dispositivo es un posible destino con nombre com (módulo de comunicaciones) y configurado con un sensor de distancia entre los pines 1 y 2 y otro sensor de distancia entre los pines 7 y 8.

El protocolo de cliente es análogo al del control, salvo por:

- El saludo (intro) es enviado en lugar de recibido.
- El procesamiento de mensajes simplemente redirige el mensaje al dispositivo (ROMEODevice).

La implementación de los módulos está desacoplada en las diferentes funciones, de manera que sea sencillo construir módulos más complejos.

5.3.5. Utilidades

Para la comunicación con el usuario se emplea un pequeño módulo de manejo de leds que permite generar fácilmente parpadeos de distintos períodos.

```
class LEDControl {
public:
    LEDControl(): _count(0) { pinMode(2, OUTPUT); }

    static void on() { digitalWrite(2, LOW); }
    static void off() { digitalWrite(2, HIGH); }
    static void toggle() { digitalWrite(2, !digitalRead(2)); }
    void blink(short n) { if (++_count % n == 0) toggle(); }

private:
    short _count;
};
```

Capítulo 6. Conclusiones

6.1. Realización de los objetivos.

Los objetivos planteados en el proyecto han sido desarrollados de la siguiente forma:

- Para realizar el prototipo del robot se ha diseñado un modelo 3D de cada módulo que ha sido impreso mediante una impresora 3D.
- Para poder aplicar la versatilidad de permitir diseñar módulos secundarios del robot a gusto de cada usuario se ha procedido diseñando un modelo 3D de un prototipo del conector magnético que se ha usado para unir los diferentes módulos y es el que contiene los conductores que transmiten las señales eléctricas entre módulos. Se ha hecho el modelo 3D para poder imprimirla con una impresora 3D.
- La alimentación se ha conseguido realizar mediante un módulo de alimentación que suministra la corriente a través de los conectores y del módulo de control, alimentando así a los módulos de comunicación conectados a él.
- Para darle la capacidad de control de motores se ha diseñado un módulo de locomoción que contiene un par de motores DC que deben de ser controlados. El control se realiza mediante la función secundaria del módulo de control de comunicación y enviando órdenes a través del PC externo conectado a la red interna del robot, dando señales digitales que el módulo de locomoción traduce en señales que activan o desactivan los motores.
- Para realizar un sistema inalámbrico de comunicación entre los módulos se ha creado una red interna del robot Wi-Fi, a través del módulo de control, a la que se conectan los módulos de comunicación que controlan los módulos secundarios personalizados y el PC externo que enviará las ordenes al robot.
- Para realizar la comunicación se ha diseñado un protocolo que a través de un mensaje, en forma de cadena de texto, se dan los datos de la operación a ejecutar, los módulos principales participantes (emisor y receptor), el módulo secundario que debe ejecutar la operación y los datos de activación, si son necesarios.

6.2. Resultados.

El robot diseñado ofrece la capacidad de control de dos motores DC de forma simultánea, mediante el módulo de locomoción, el diseño fue pensado para facilitar el montaje del módulo e intentar hacerlo fuerte, resistente y robusto para que aguante el peso del robot, aunque ha causado ciertos problemas en la electrónica, teniendo que añadir un conector pogo-pin adicional para el control simultáneo de los dos motores DC. También, se ha tenido que adaptar el software para que el módulo de control actúe como módulo secundario de comunicación. Los motores estaban pensados para mover el

Conclusiones.

robot mediante un par de ruedas conectadas a los ejes de los motores, pero se ha suprimido esta función para usar el movimiento de los motores para otra función, dando prioridad a la capacidad de control de motores DC de forma inalámbrica y no a la función de movimiento exclusivamente.

Los módulos sensor, incorporando un sensor de proximidad, cumplen una función de freno de emergencia de los motores al detectar un elemento próximo, la idea principal era la de evitar posibles choques del robot con objetos cercanos durante su movimiento, frenándolo antes de aproximarse a una cierta distancia de un obstáculo pero al no poder implementar un manejo sencillo de los movimientos del robot mediante una interfaz su función es la de un freno de emergencia más estático, sólo cuando se deseé parar los motores, sin enviar señal de parada. En implementaciones futuras, si se implementara una interfaz de usuario para control de los diferentes módulos, entonces se podría dar una función más dinámica a la función de freno de emergencia. Otra de las funciones que podría cumplir perfectamente este módulo es la de fin de carrera en caso de aplicar un movimiento en el módulo del robot.

En el diseño de software ha habido problemas en la conexión entre los módulos durante el diseño, lo que ha llevado a no poder implementar una interfaz de control para el usuario para un control más sencillo visual y rápido de los motores, lo que ha llevado al descarte de la función móvil del robot ya que el manejo sería lento pudiendo ocasionar daños en el robot. Por otro lado, se ha logrado correctamente la conexión entre los módulos y su comunicación mediante el protocolo de comunicación propio permitiendo el control de los motores y recepción correcta de los datos captados por el sensor.

El diseño mecánico del robot ha sufrido varios problemas, como son el peso de los módulos, siendo mayores de lo esperado, o la ausencia de soportes para los módulos conectados en horizontal ya que aunque los imanes conectan bien los conectores el peso de los módulos, aunque sea bajo o el estimado, no soporta adecuadamente ese peso ocasionando la desconexión de los módulos, por ello se añadieron posteriormente de forma manual.

Los conectores mecánicamente sufren el mismo problema que el robot en general, pero eléctricamente cumple la función perfectamente, una vez solucionado el problema de los deslizamientos de los módulos debido a movimientos bruscos o su peso.

En el diseño electrónico, las placas 5V cumplen su función perfectamente y el MCU funciona perfectamente. El MCU es un componente que se encuentra fácilmente a buen precio en el mercado y tiene buena funcionalidad electrónica y es muy versátil pero a nivel de software, aunque admite correctamente las funciones de Arduino mediante su librería particular, se ha encontrado un problema en la conexión inalámbrica que causaba en algunas ocasiones la perdida de la señal inalámbrica por parte de los módulos clientes, lo que ha causado retrasos en el proyecto y que no se pueda implementar la interfaz de usuario gráfica para controlar los motores. Este problema puede solucionarse posiblemente mediante un código en LUA que es el lenguaje nativo del ESP8266, pero se ha pensado usar el lenguaje de Arduino ya que es uno de los que más comunidad tiene y de los que más datos se disponen a la hora de necesitar ayuda autodidacta, además de que con Arduino hay mucha compatibilidad entre componentes y se disponen de muchas fuentes de código que agiliza el proceso de diseño software, y como el uso principal del robot es un aprendizaje de la robótica y electrónica a través de medios sencillos y que puedan usarse como un ocio, sin saturar al público con números conceptos complejos y difíciles de encontrar y entender, por ser demasiado avanzados, el problema con la librería Arduino es mínimo.

Conclusiones.

Finalmente, el cableado se ha logrado reducir al mínimo que era uno de los objetivos del proyecto, y la señal se transmite correctamente por todo el robot.

6.3. Discusión de resultados.

Durante la realización de este proyecto han surgido dos puntos clave, que han marcado la funcionalidad y utilidad del robot y del proyecto, estas funciones son: la comunicación y control inalámbricos de los diversos elementos y el diseño personalizado de los diferentes elementos.

Como uno de los puntos fuertes del proyecto del robot ROMEO es el control inalámbrico y a distancia de los diferentes módulos, se puede potenciar esta característica haciendo una alimentación de módulos individual y no general de todo el conjunto, como se ha presentado en este proyecto. De esta forma, se consigue módulos de alimentación reducidos en tamaño y con una alimentación más específica y ajustada al elemento que tiene que alimentar, y dado que la batería ha sido un limitante en las dimensiones físicas de los módulos, los módulos de control y comunicación podrían ajustarse también en sus dimensiones, haciendo al conjunto más manejable y ajustable.

Tras intentar implementar un módulo de locomoción basado en un par de motores se ha comprobado que es más viable, útil y sencillo, dado las características inalámbricas del robot y basándonos en el concepto de simplicidad electrónica que ha sido tema principal del proyecto, diseñar e implementar módulos de locomoción de un único motor, aunque la complejidad física del módulo queda en manos del usuario diseñador del módulo. Esta individualidad de locomoción consigue que se pueda aplicar un sistema de seguridad en el movimiento por el cual en el caso de que deje de funcionar un motor, este podría separarse del resto dejando el movimiento a los demás módulos de locomoción, aunque haría más complejo el control de los módulos de locomoción. Por último, permite una separación de los módulos lo que ofrece la posibilidad de implementación en elementos muy separados entre sí, eliminando gran cantidad de cableado.

El otro punto fuerte del proyecto, el diseño de módulos secundarios para el robot, es el que permite un aprendizaje en temas como son el diseño e impresión 3D, además de electrónica y robótica, temas en los que se ha intentado simplificar al máximo posible, razón por la cual, se usan sólo cuatro conductores de señales eléctricas y se ha intentado que todo el robot utilice este diseño eléctrico. El proceso de buscar el equilibrio entre simplicidad y utilidad de los diferentes módulos del robot es el que ofrecería este aprendizaje.

6.4. Trabajos futuros.

Dentro de las futuras implementaciones, actualizaciones o expansiones en funciones y usos del robot, destacarían las siguientes:

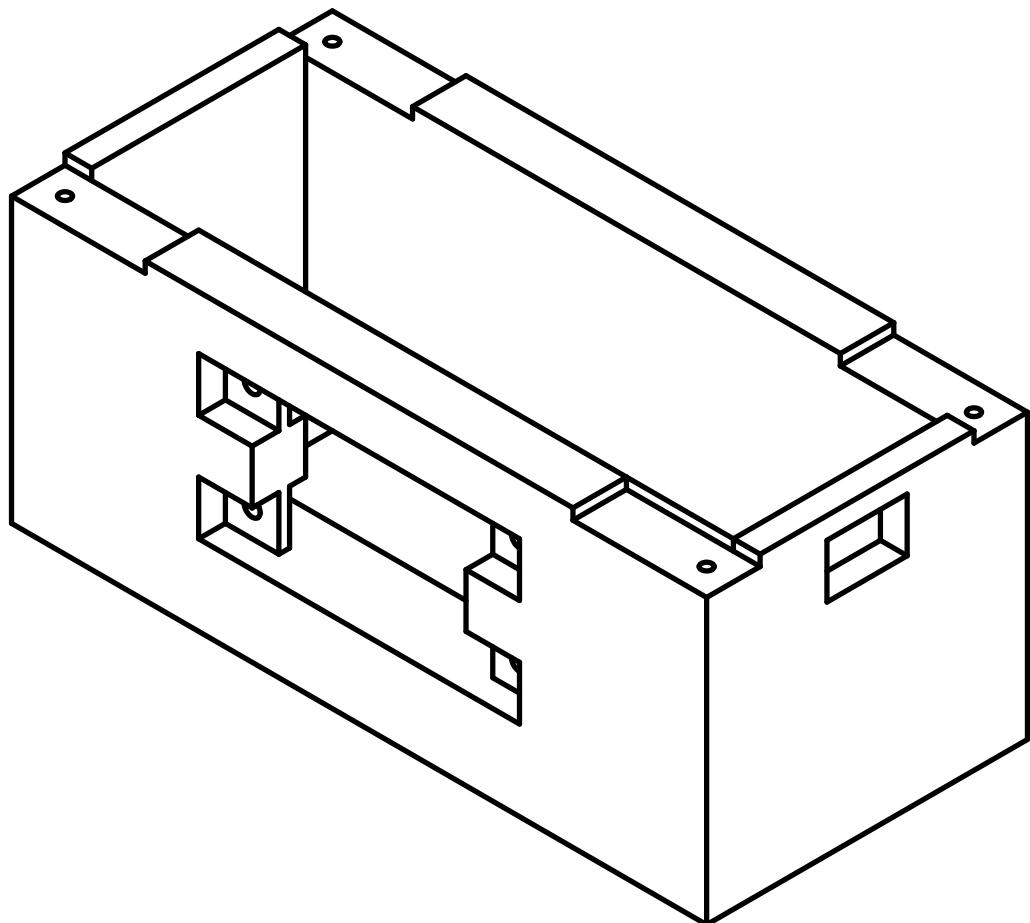
1. Implementación de módulos de locomoción individuales y aplicación de un sistema de control de estos módulos más completo y seguro, pudiendo llegar a implementar un sistema de seguridad de descarte de los módulos de locomoción que fallan, dejando el control en el resto de módulos de locomoción.

Conclusiones.

2. Mejoras en el hardware usado, sustituyendo la placa MCU por otro modelo más actualizado, teniendo en cuenta las posibilidades de adquisición en el mercado y su precio.
3. Unir el módulo de control y de comunicación en un único módulo de control que permita realizar las funciones de ambos en uno sólo, facilitando el proceso de control, el diseño físico y electrónico pero haría más complejo el diseño del software de control. Este módulo general de control debería de tener dos funciones marcadas, maestro o esclavo, siendo el maestro el que ejerce las funciones de gestión de los datos transmitidos y se comunica con el exterior y los esclavos se encargarían del control de los módulos secundarios, esta selección puede comenzar a realizarse e implementarse en primera instancia de forma manual pero para hacer más completo el robot debería de hacerse de forma automática.

ANEXOS

Planos de los módulos.



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Carcasa Principal

Escala:

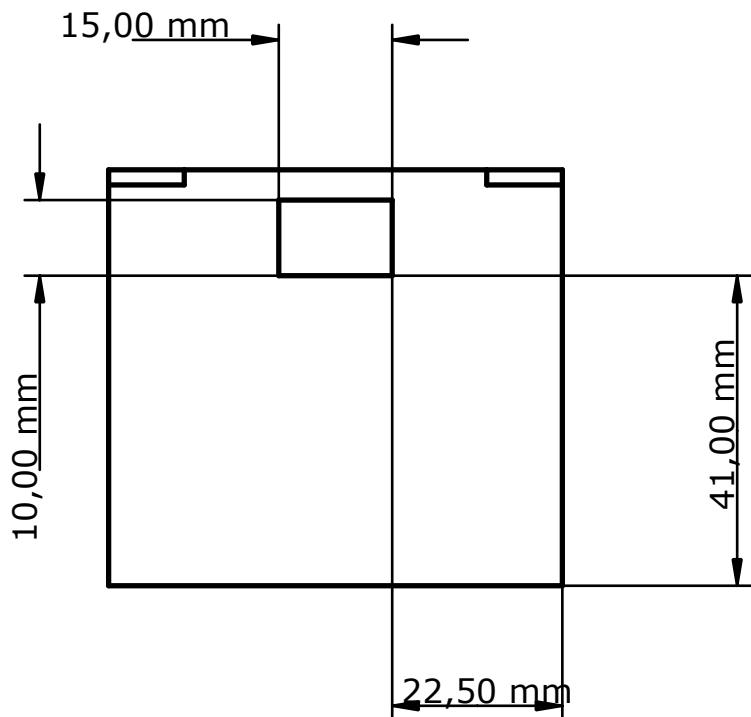
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / -

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado

Escala:

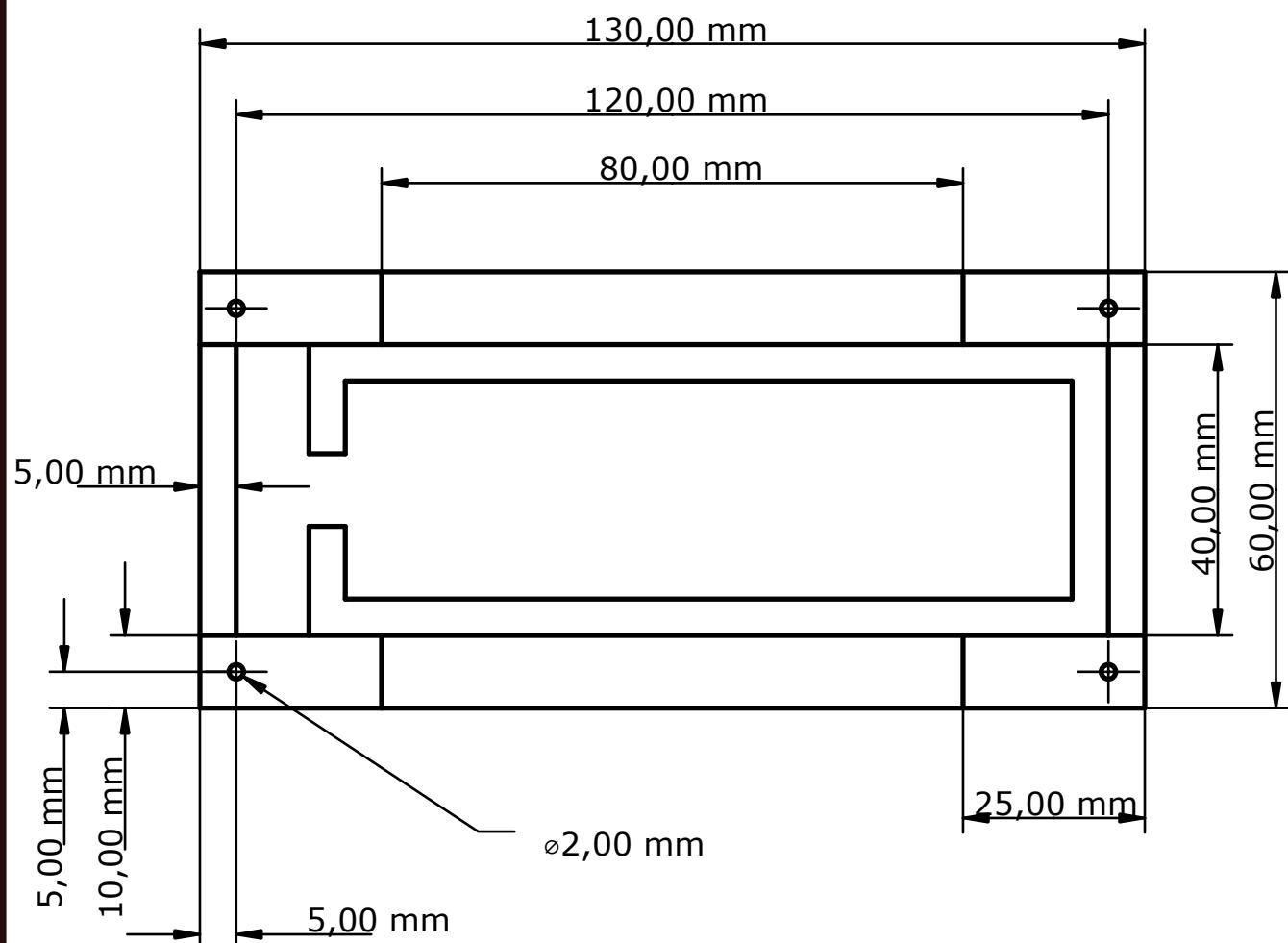
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 1

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta

Escala:

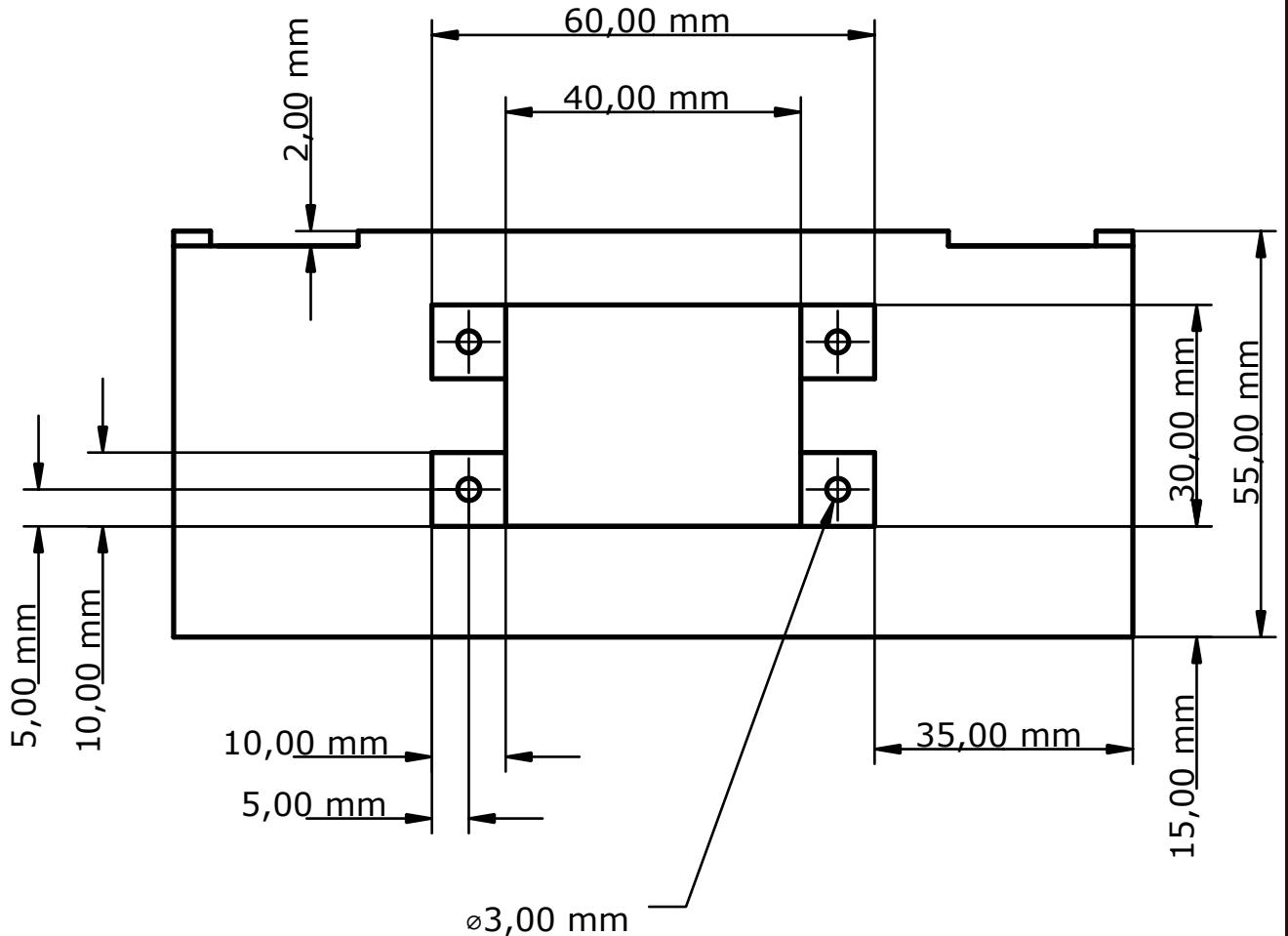
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 2

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izquierdo

Escala:

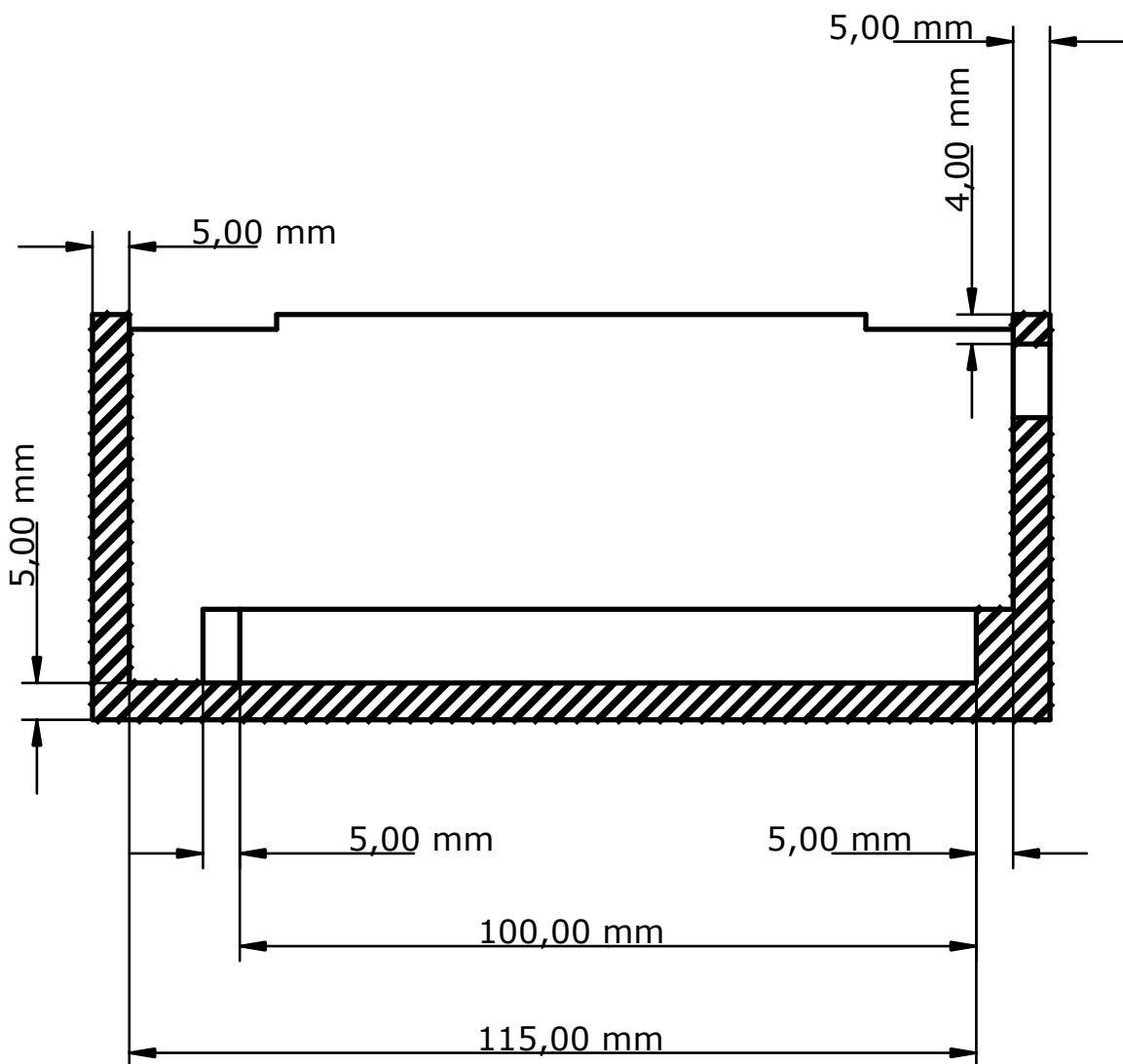
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 3

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Corte con plano XZ

Escala:

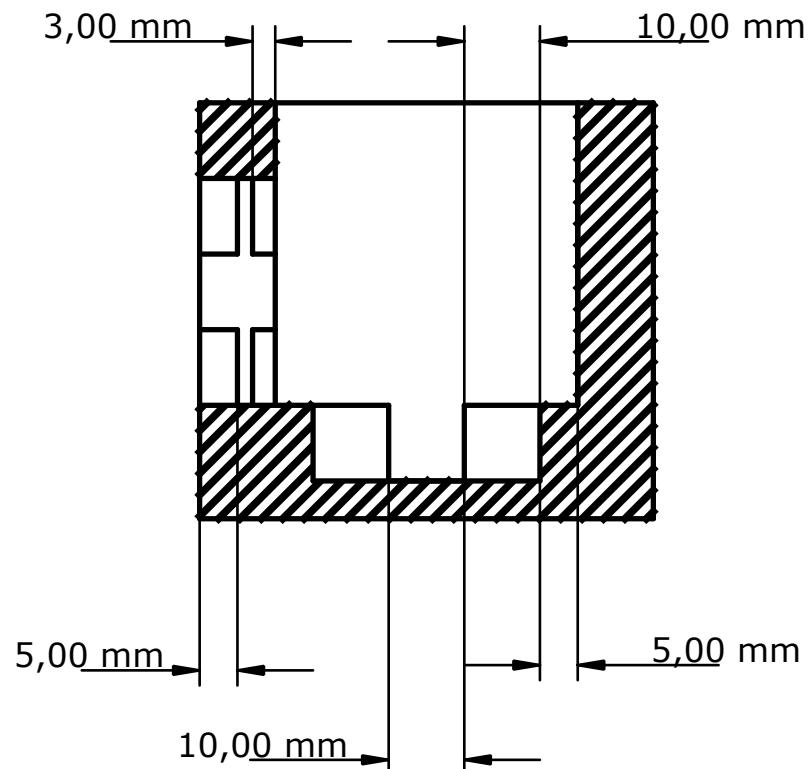
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 4

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Corte con plano YZ

Escala:

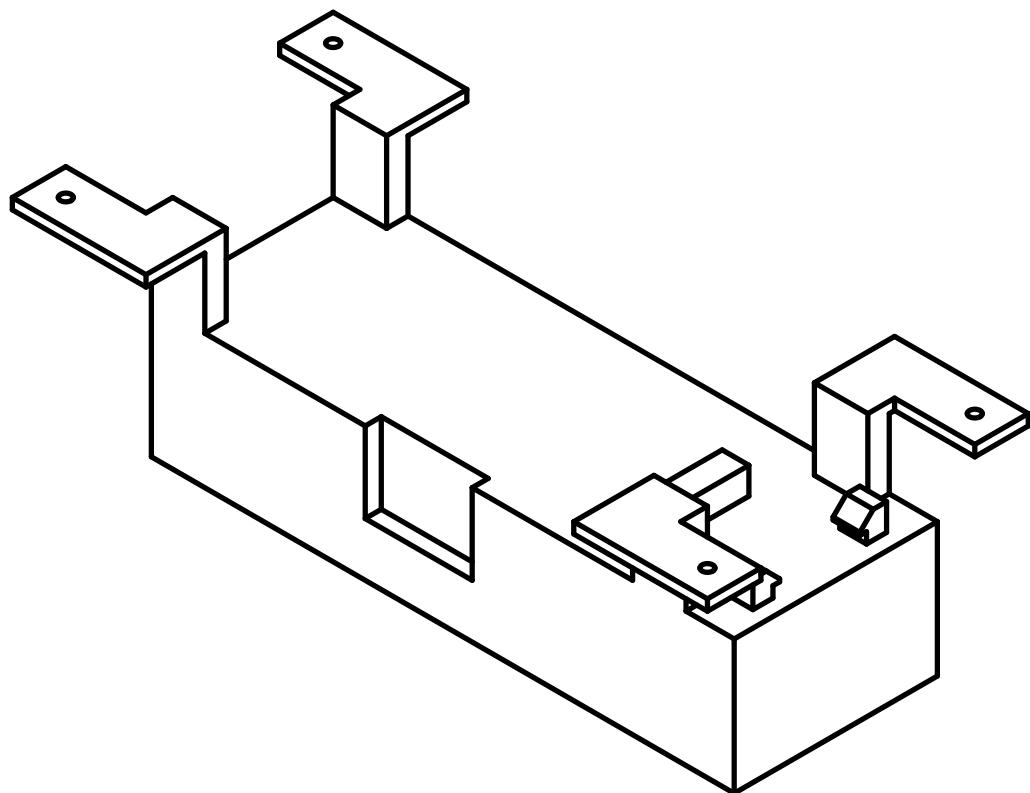
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 5

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Soporte

Escala:

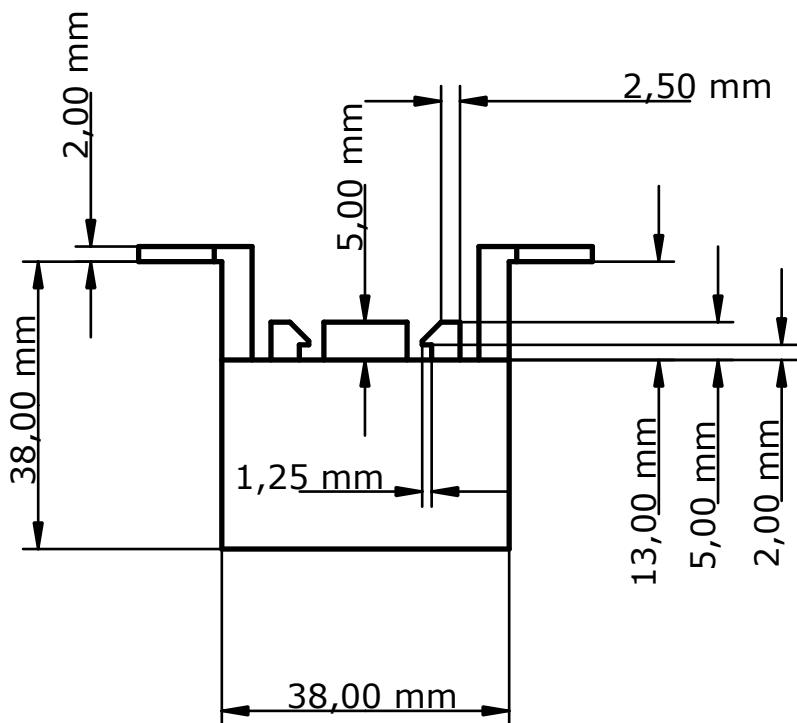
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / -

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Soporte

Escala:

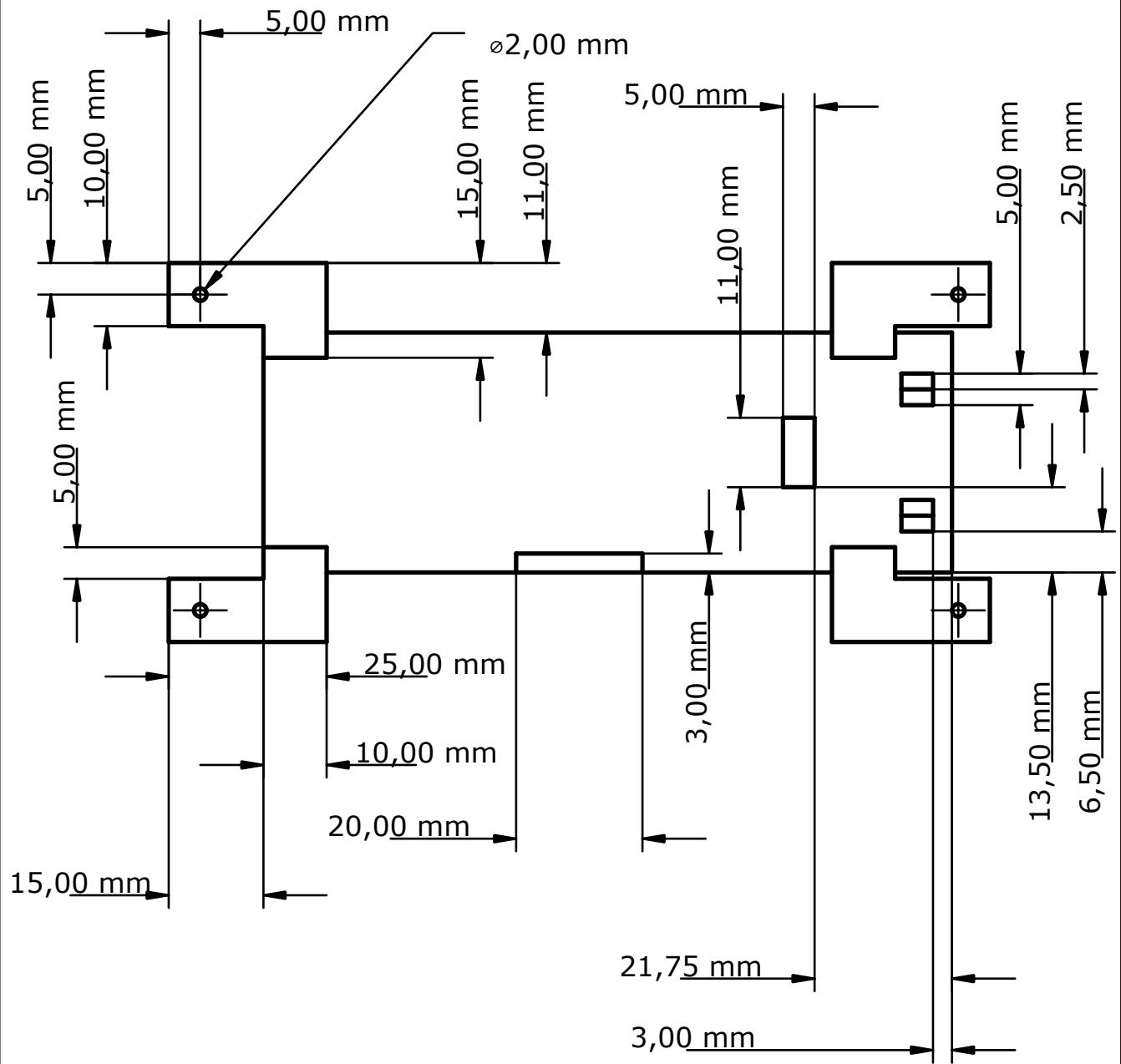
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 6

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta Soporte

Escala:

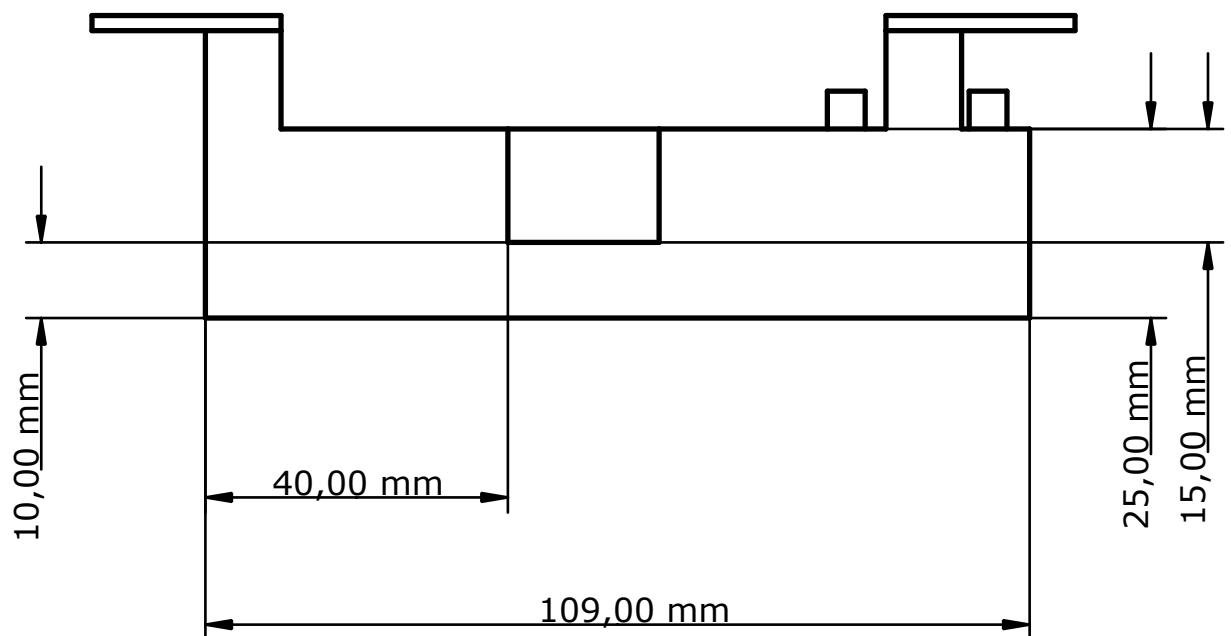
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 7

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_ Soporte

Escala:

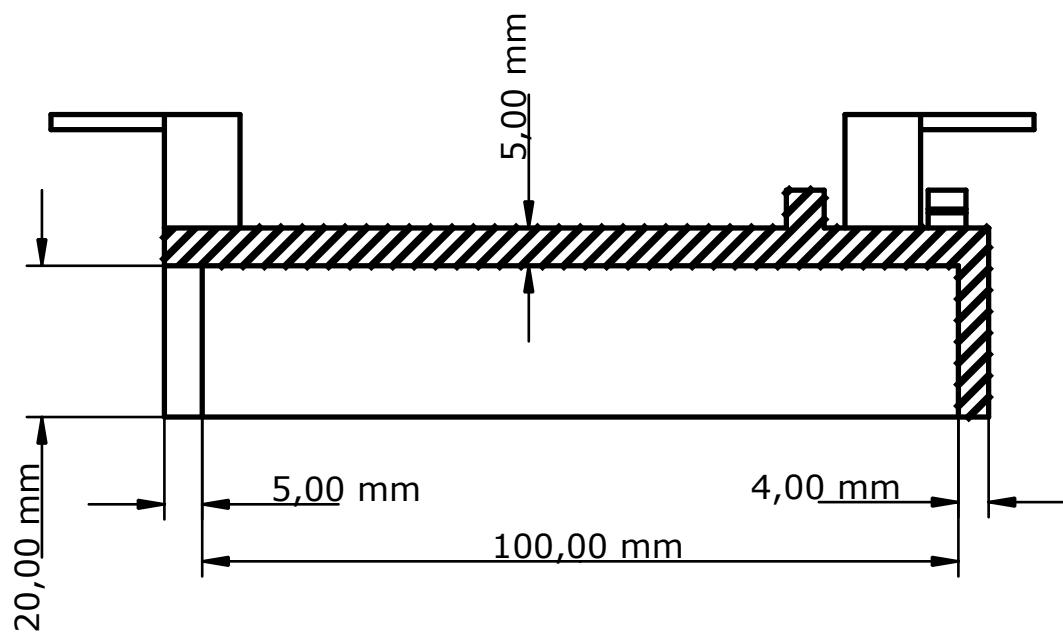
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 8

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Corte XZ Soporte

Escala:

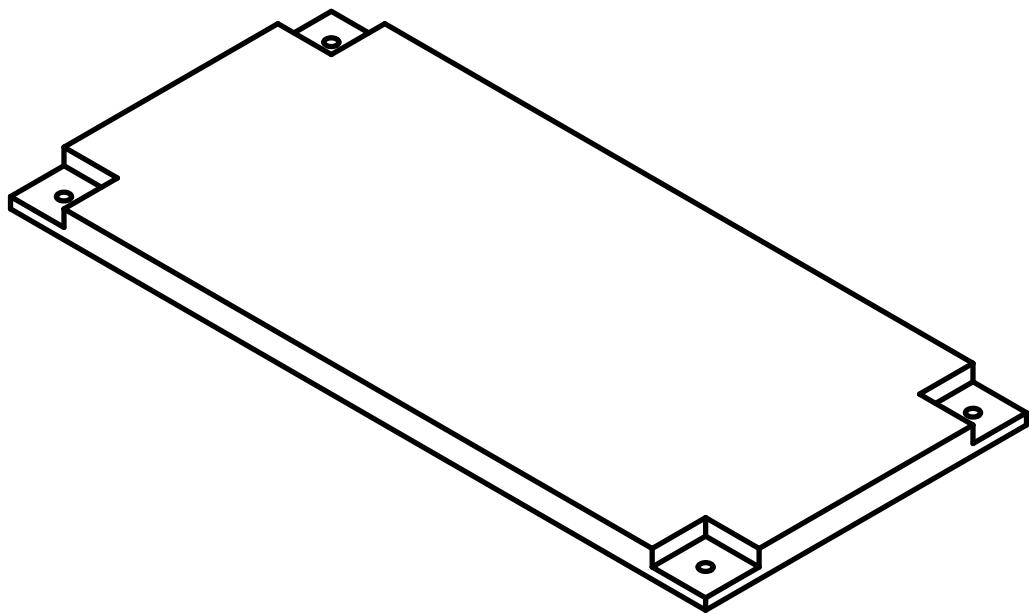
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 9

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Tapa

Escala:

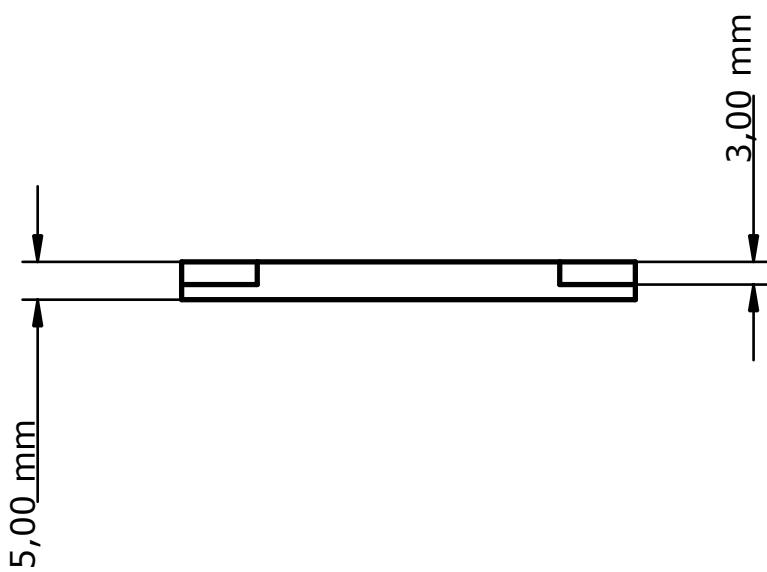
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / -

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Tapa

Escala:

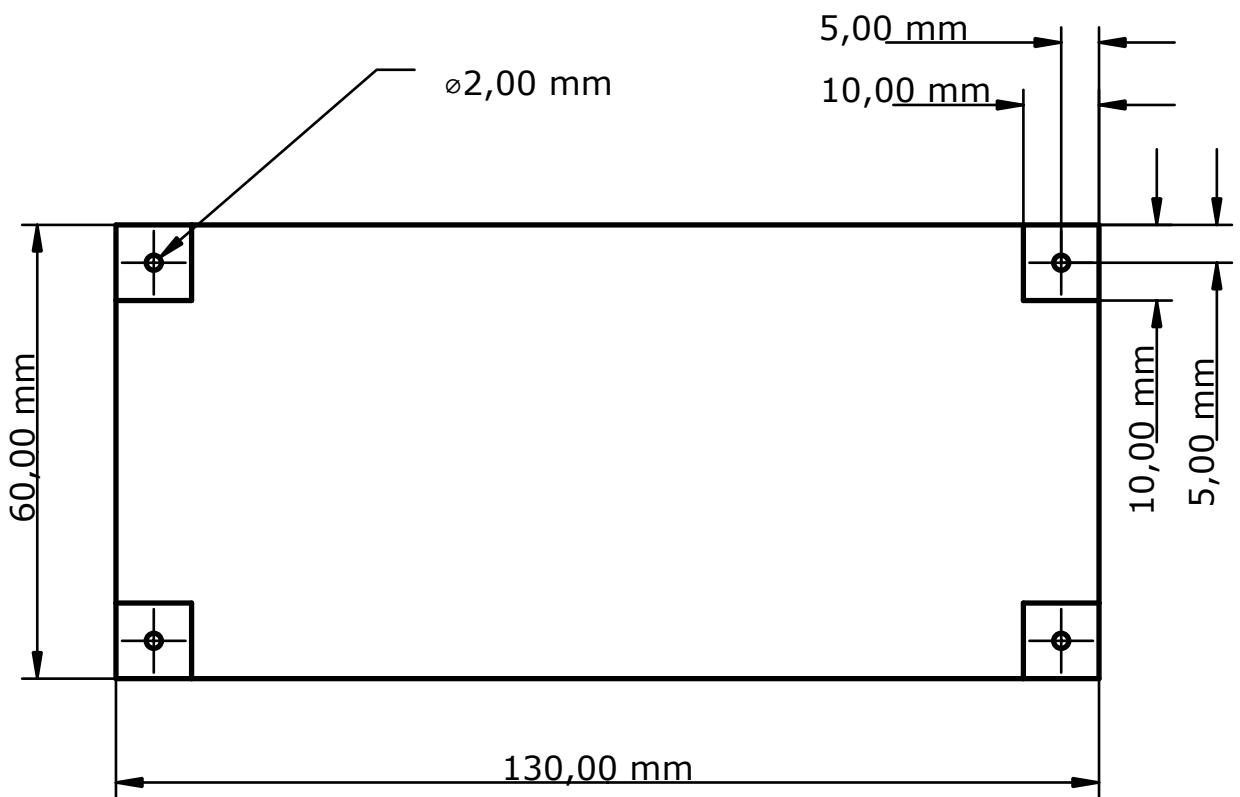
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 10

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta Tapa

Escala:

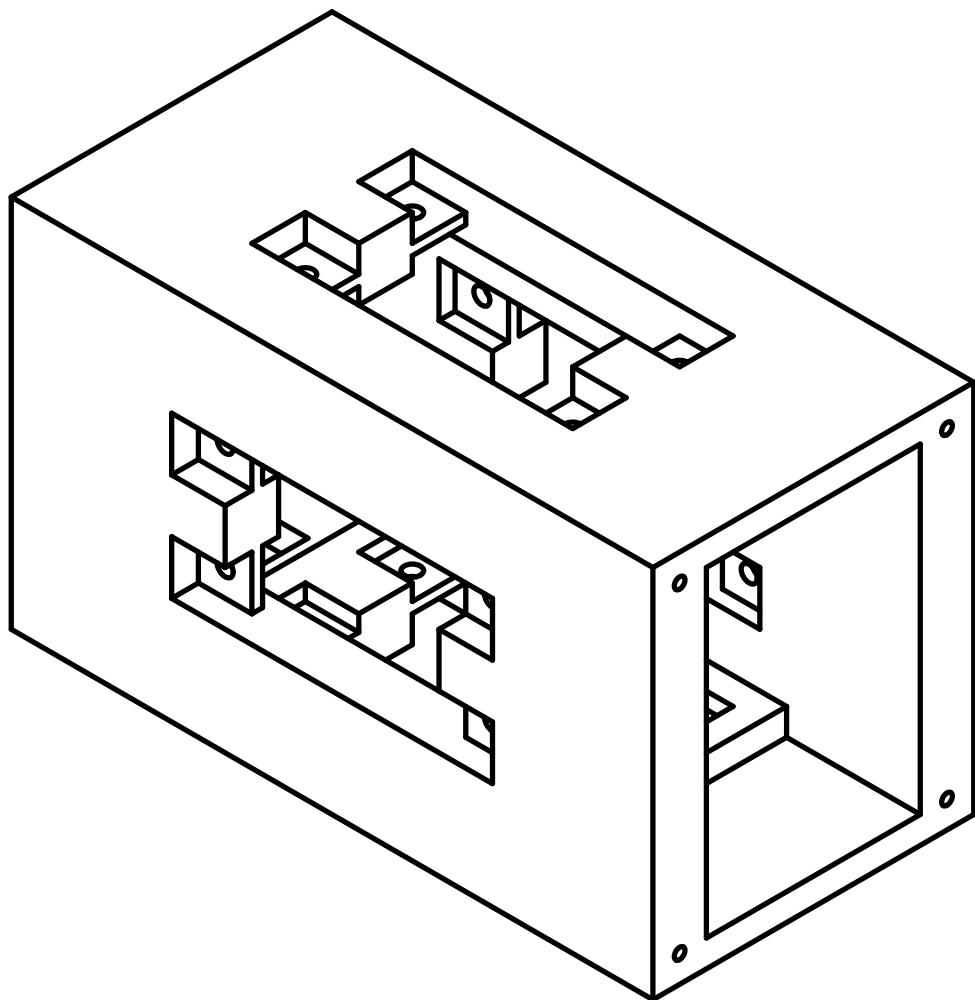
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

1 / 11

Pieza:

Alimentación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Carcasa Principal

Escala:

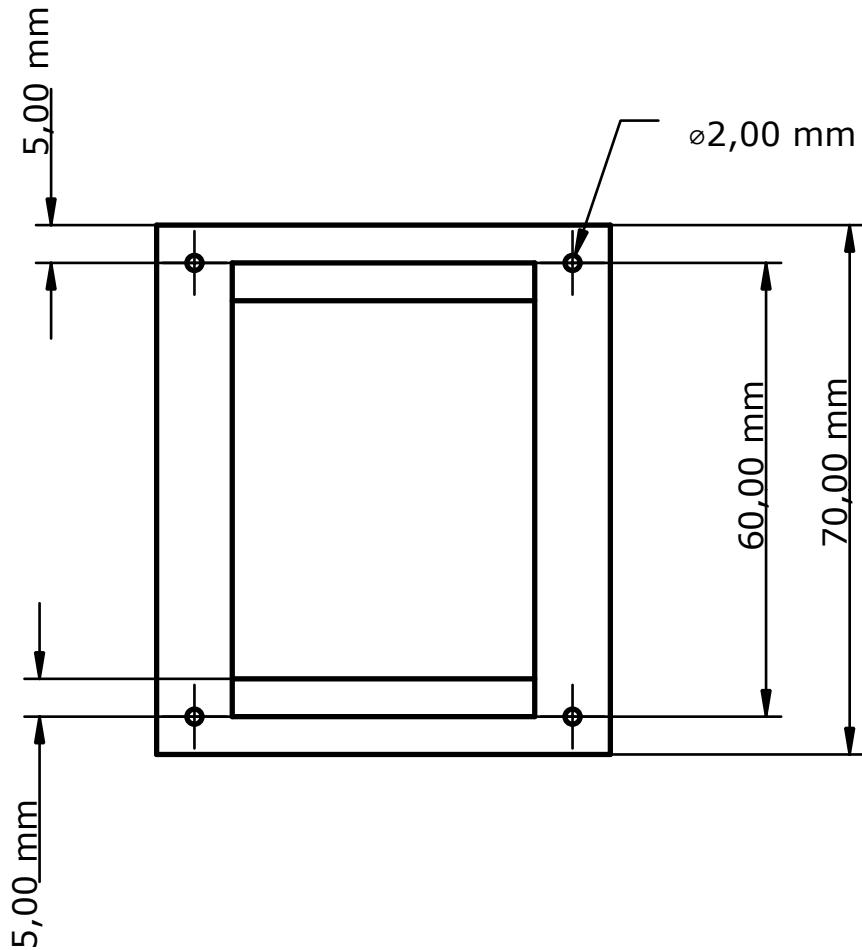
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / -

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado

Escala:

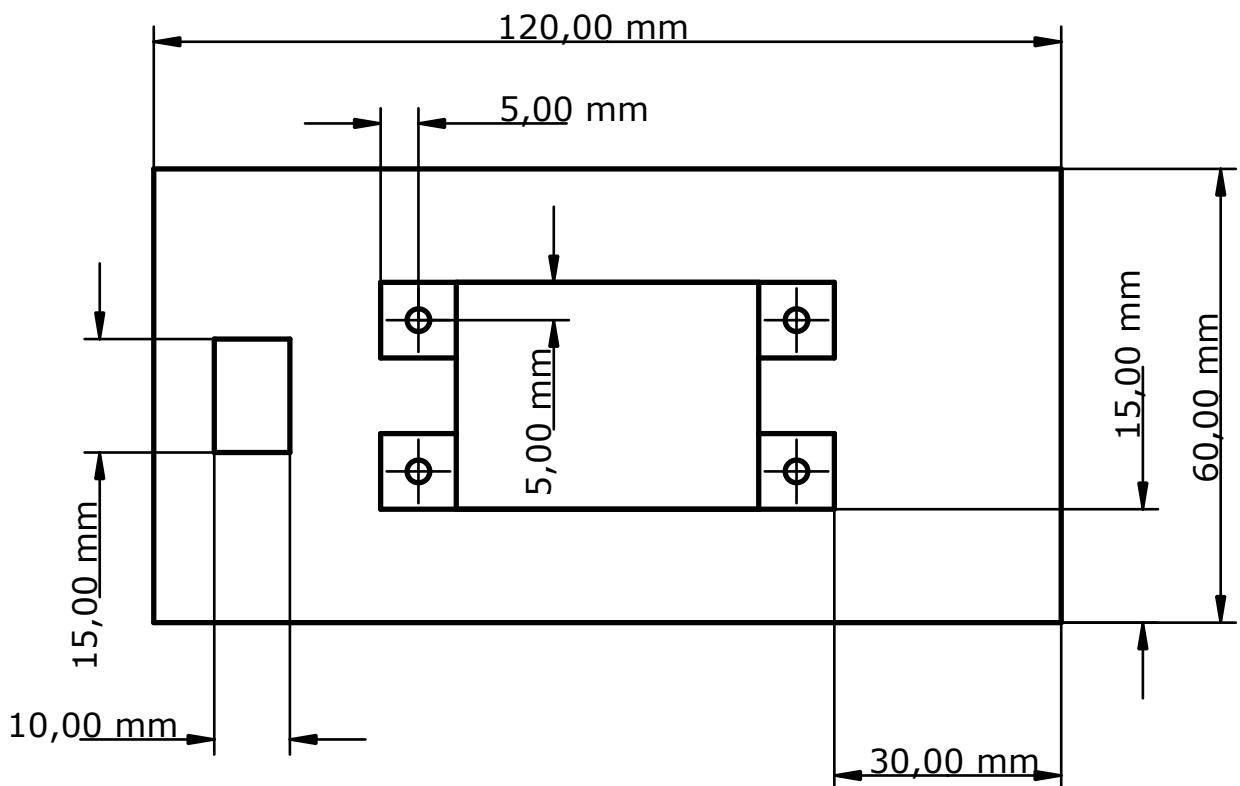
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 1

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta

Escala:

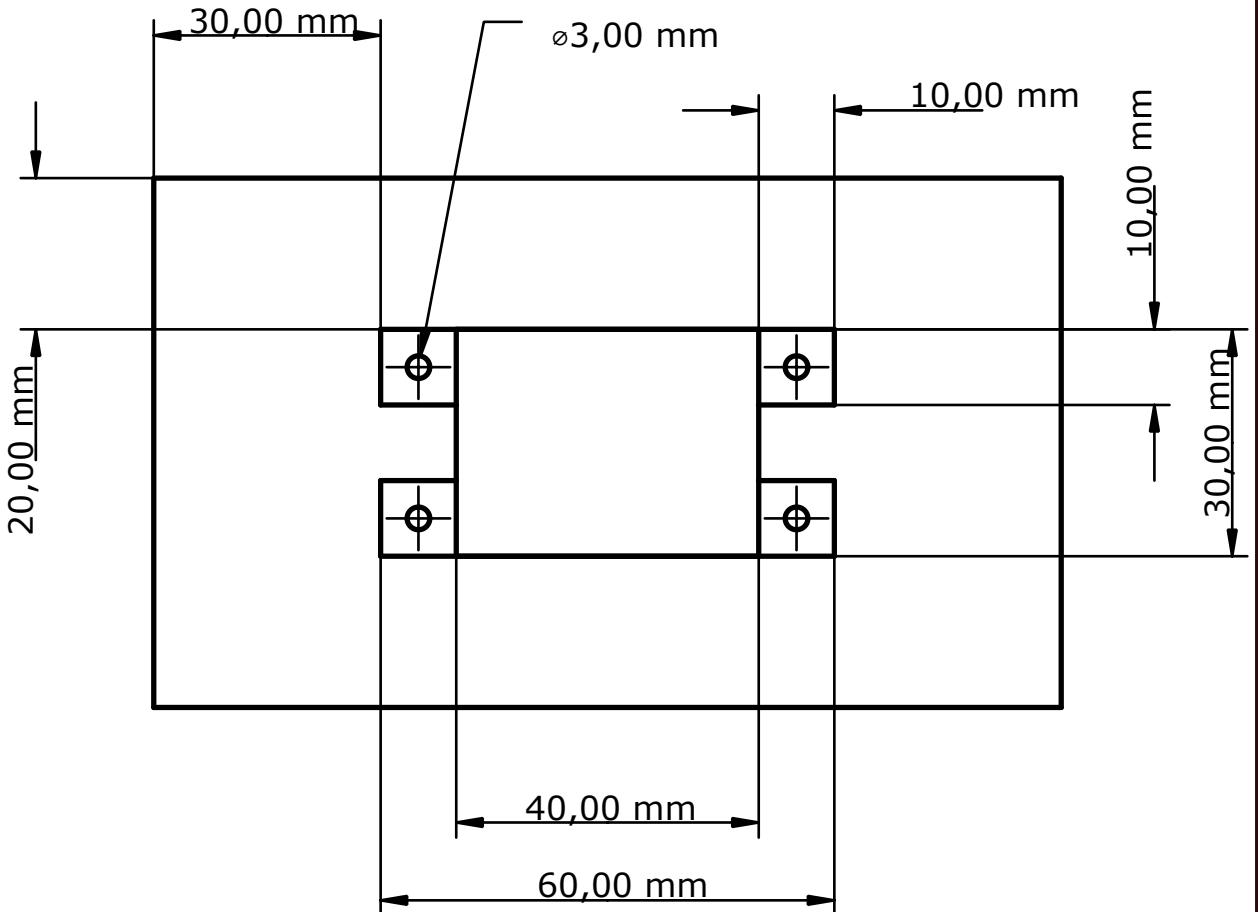
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 2

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izquierdo

Escala:

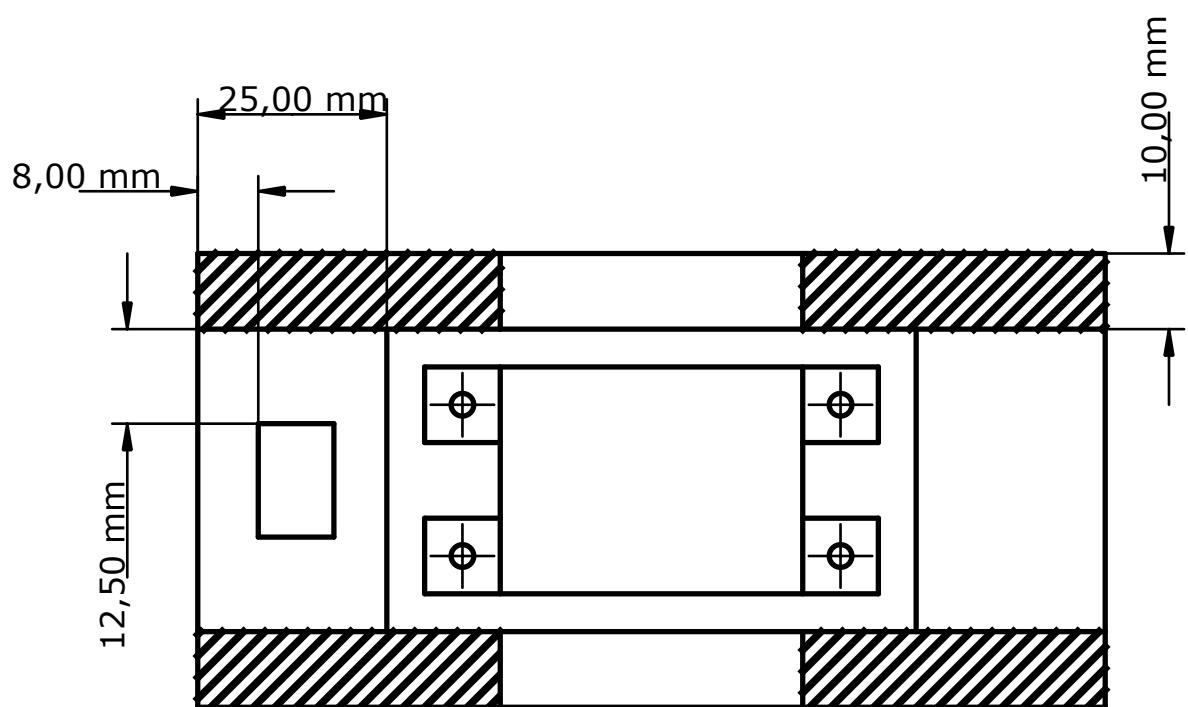
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 3

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Corte con plano XY

Escala:

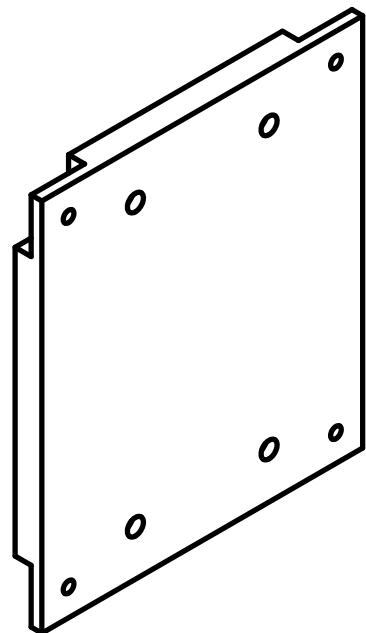
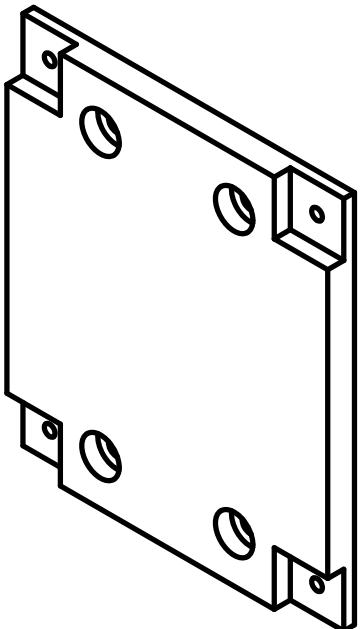
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 4

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Tapa A

Escala:

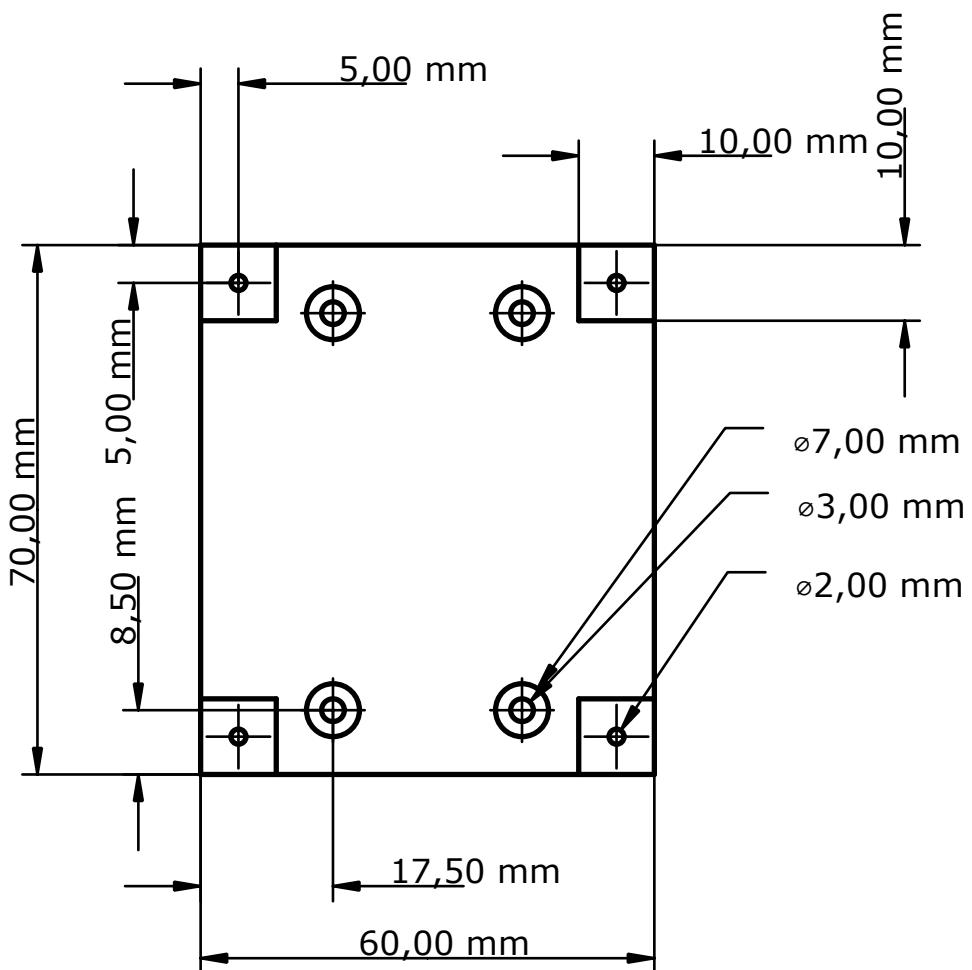
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / -

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Tapa A

Escala:

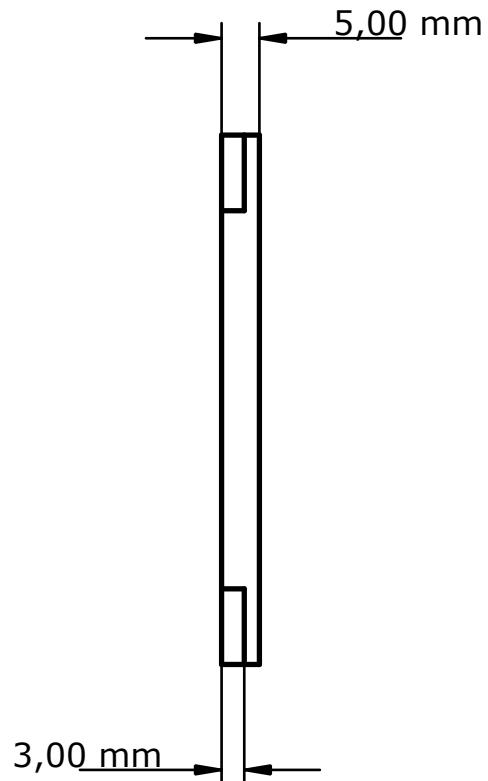
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 5

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_Tapa A

Escala:

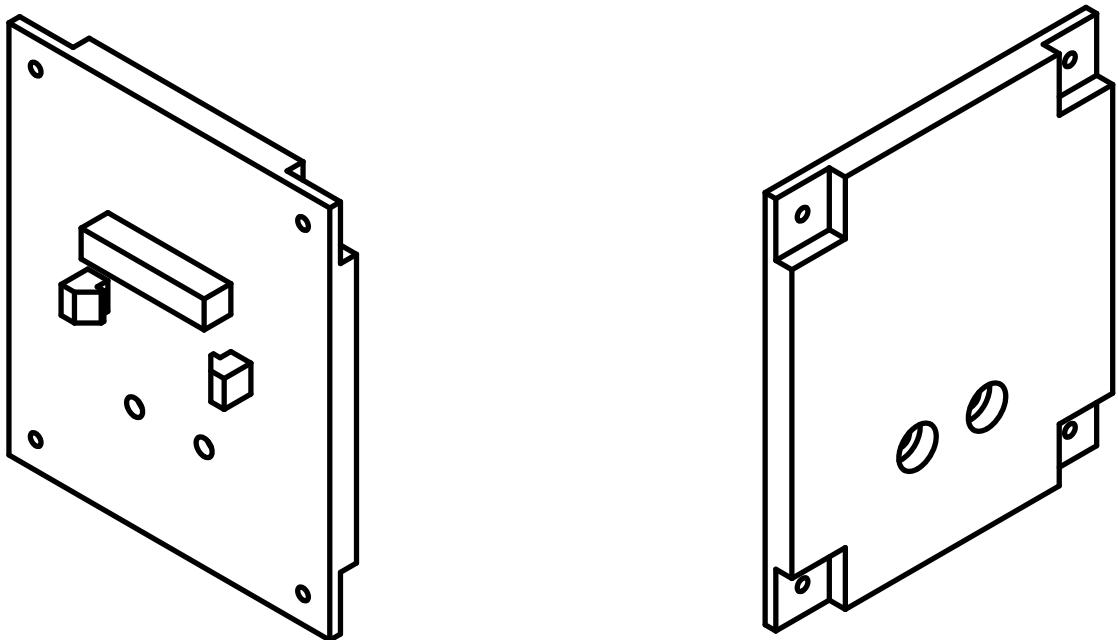
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 6

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Tapa B

Escala:

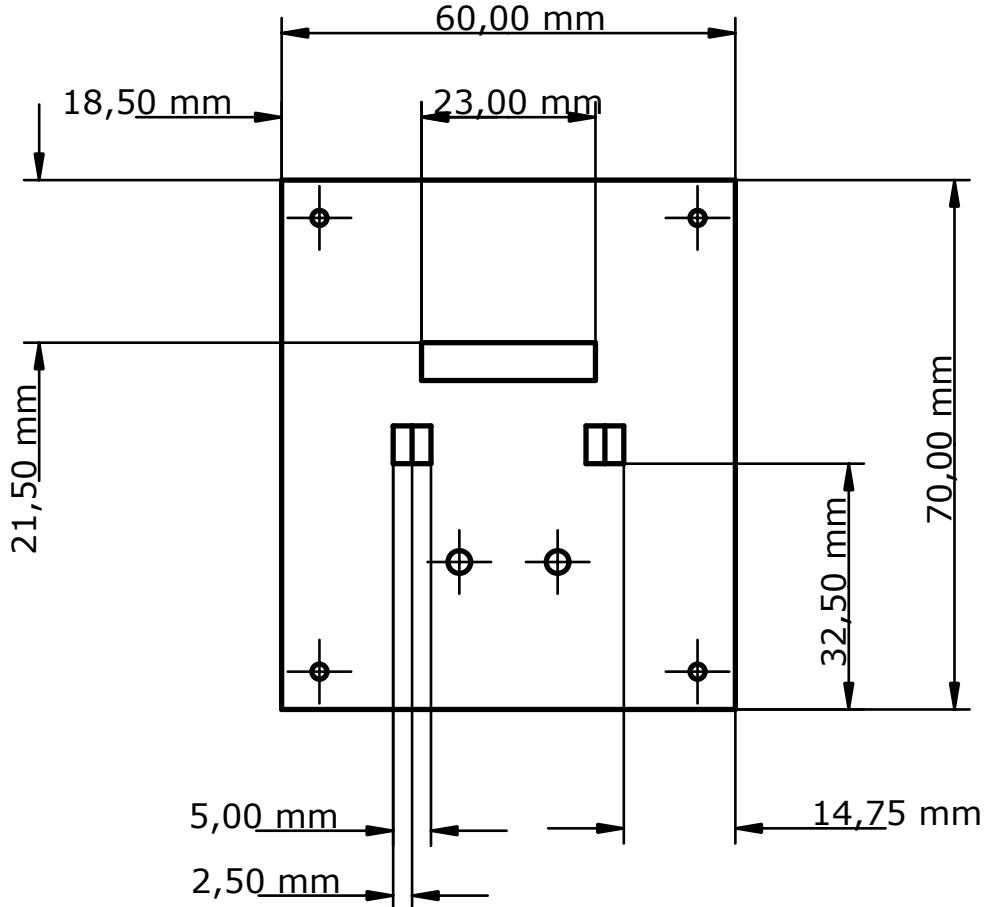
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / -

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Tapa B

Escala:

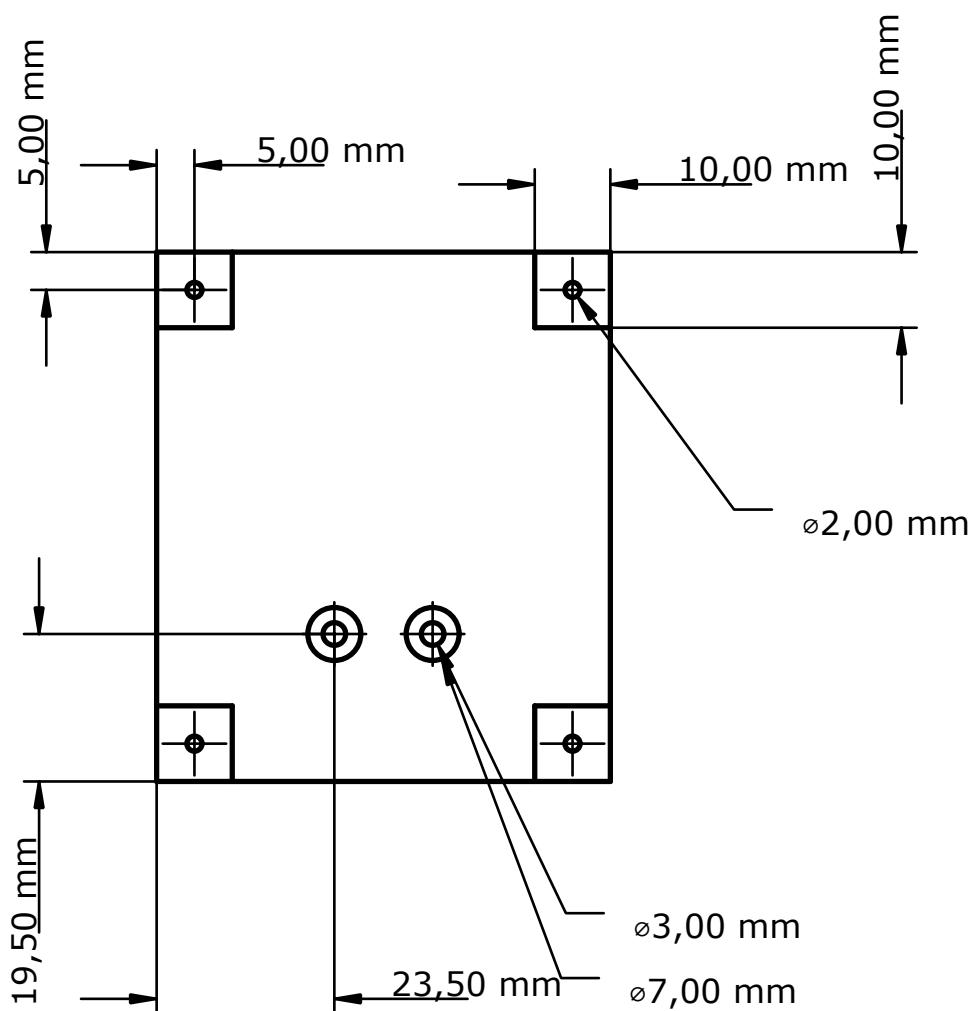
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 7

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Post_Tapa B

Escala:

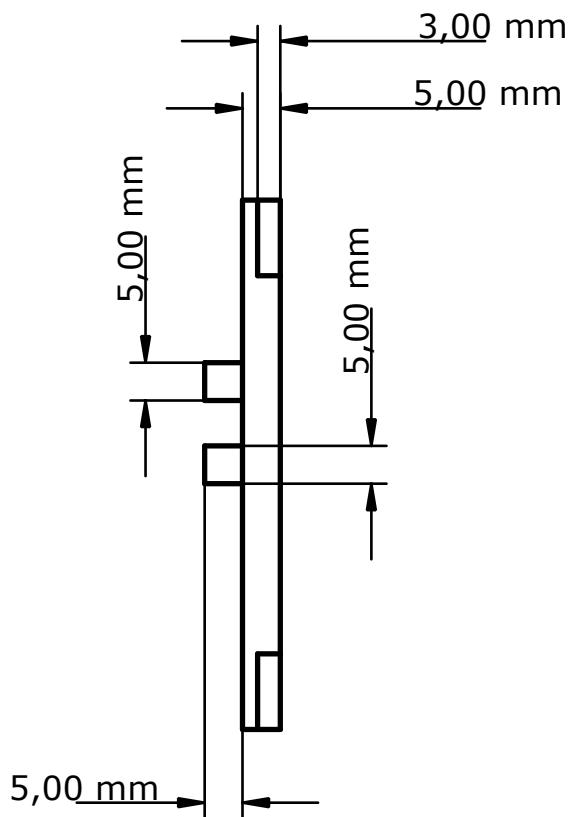
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 8

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_Tapa B

Escala:

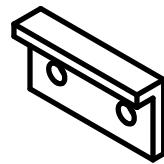
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 9

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Soporte Tapa B

Escala:

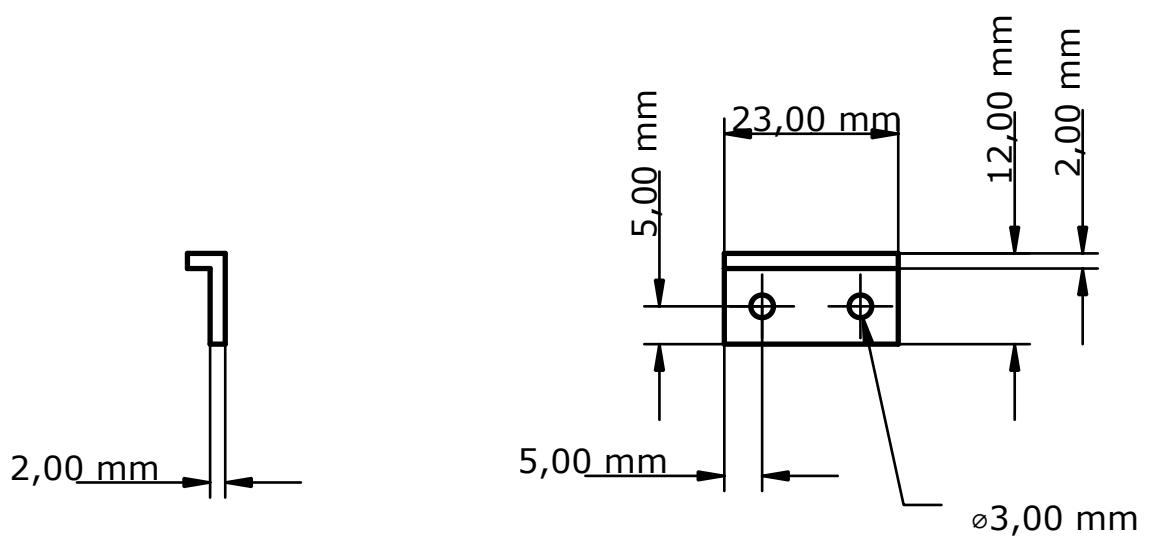
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / -

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Soporte Tapa B

Escala:

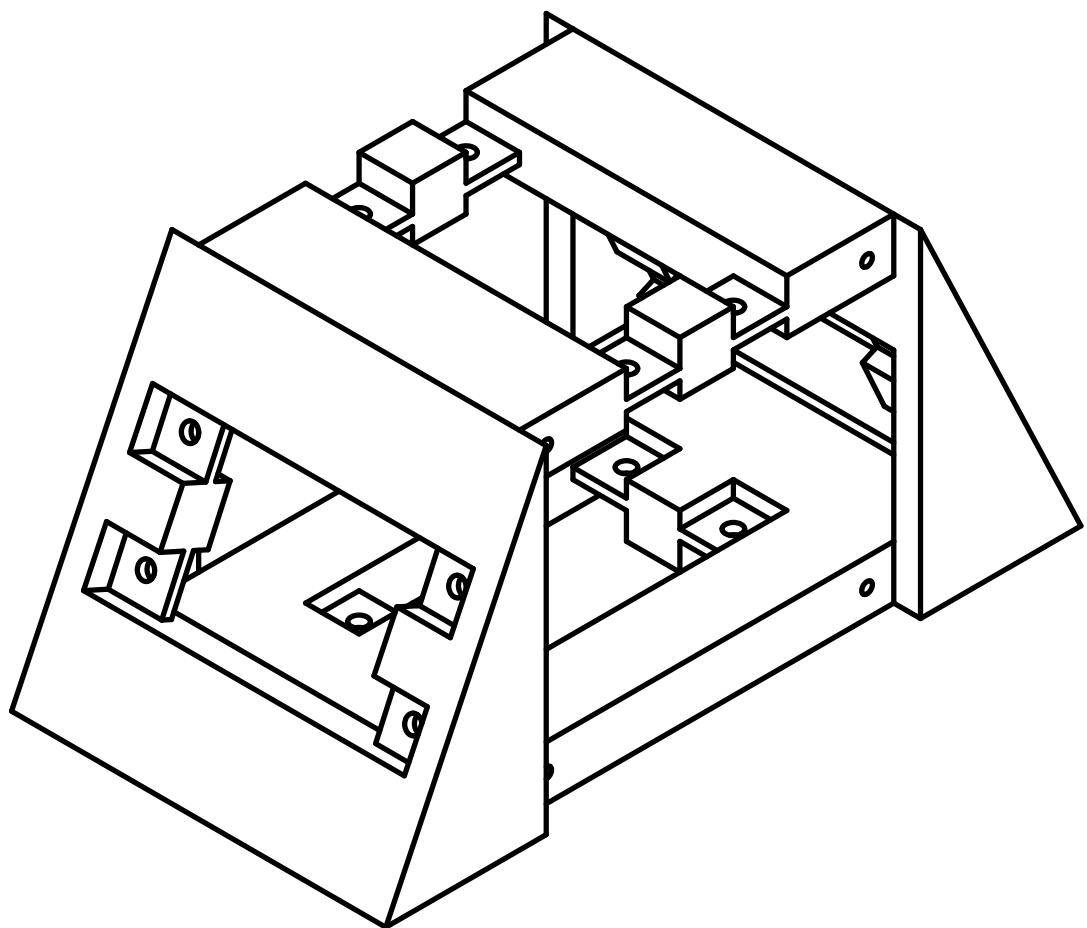
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

2 / 10

Pieza:

Control



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Carcasa Principal

Escala:

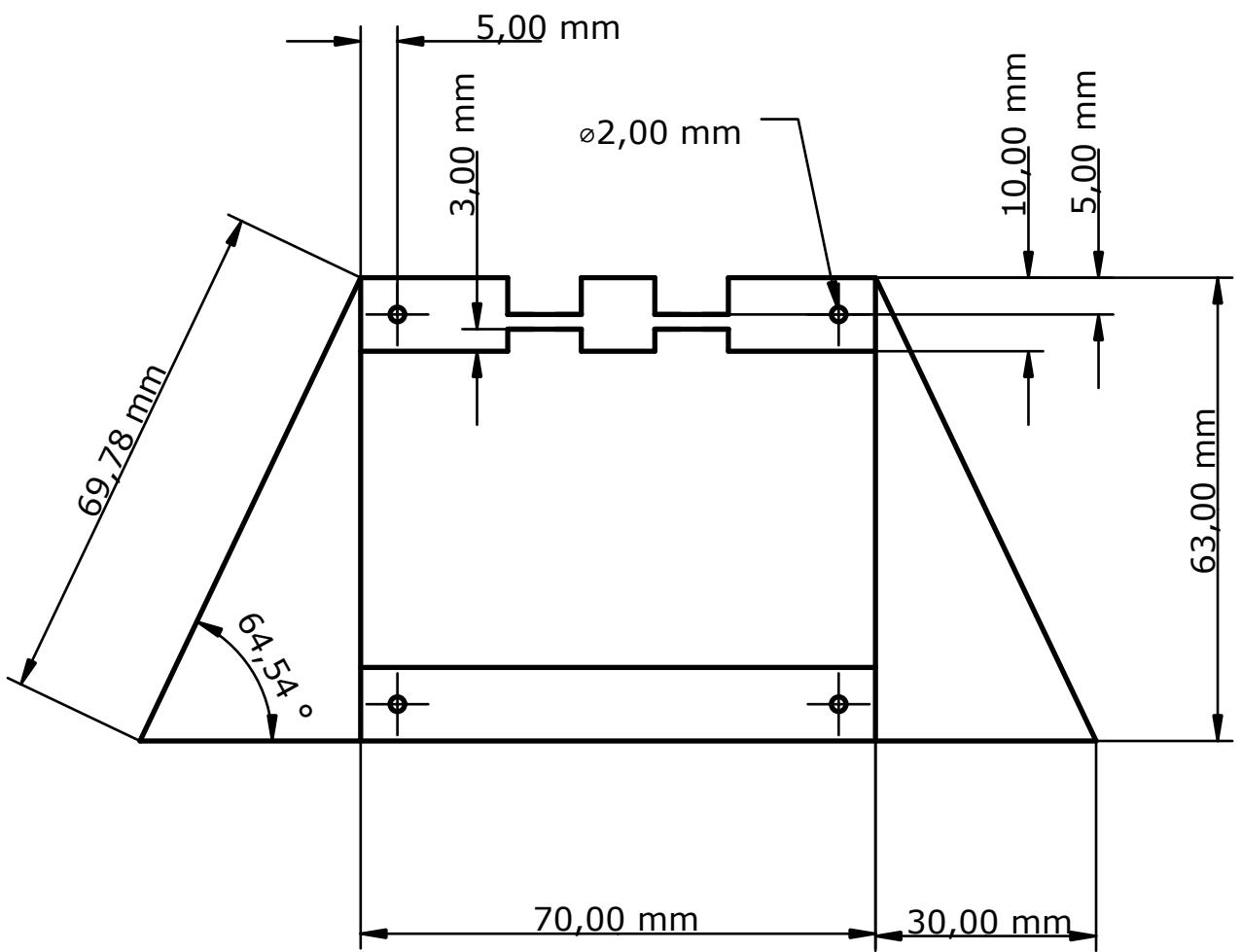
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / -

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado

Escala:

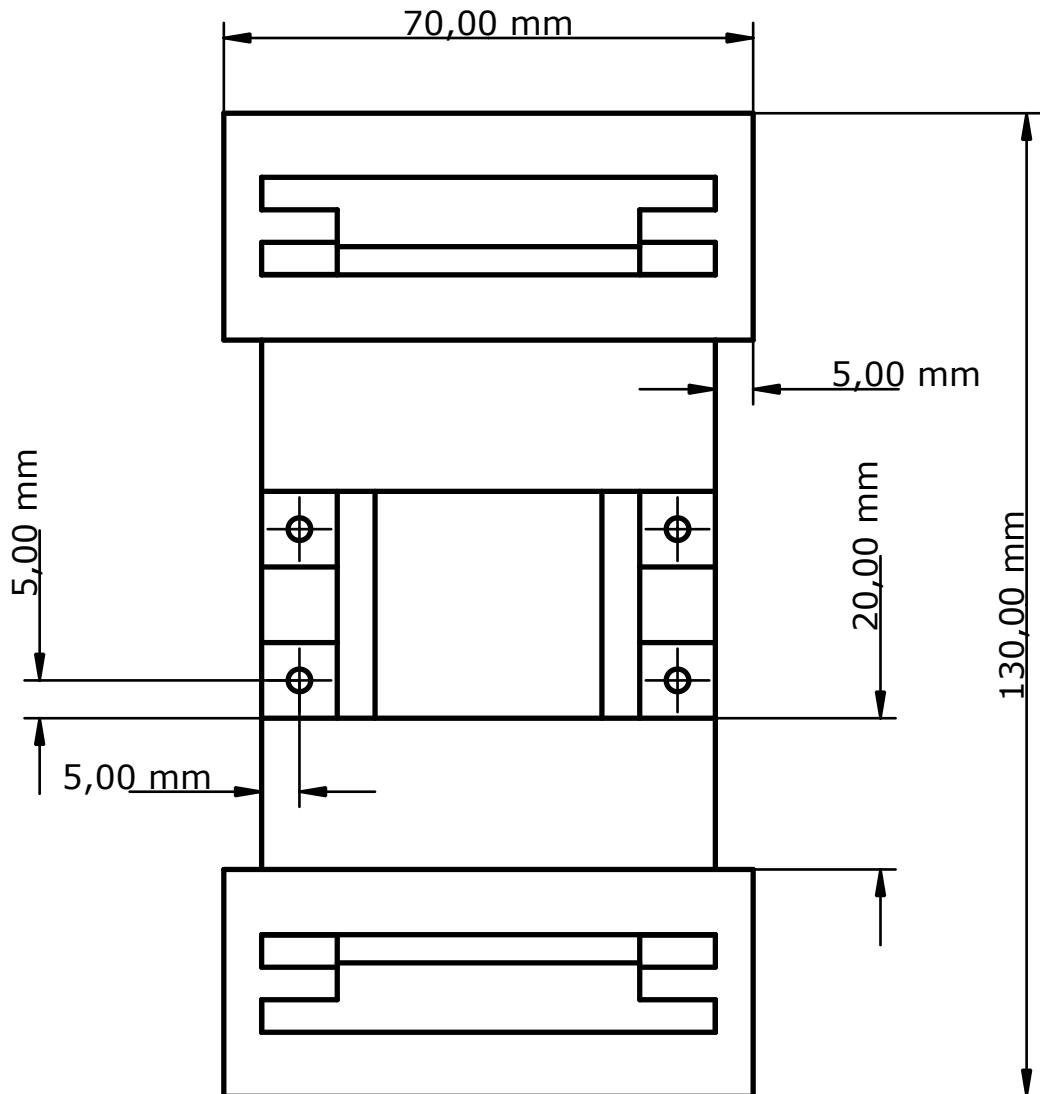
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 1

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta

Escala:

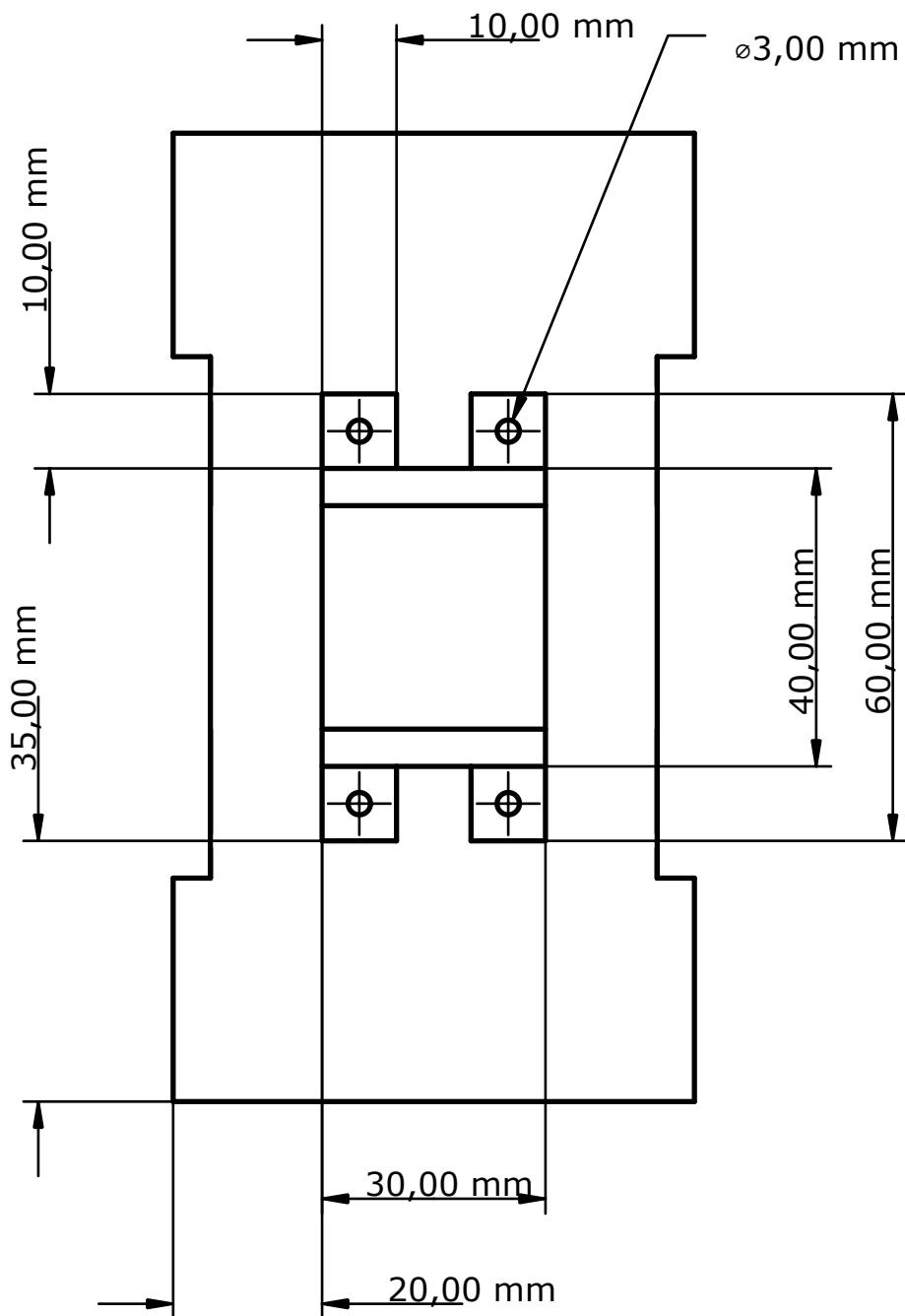
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 2

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta Posterior

Escala:

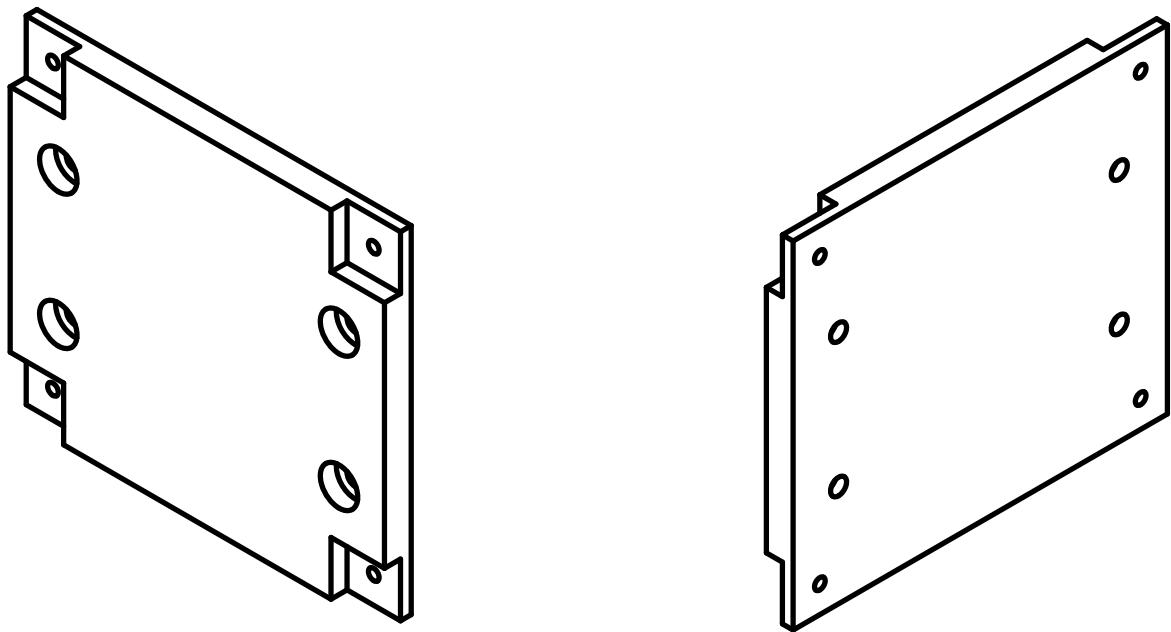
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 3

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Tapa A

Escala:

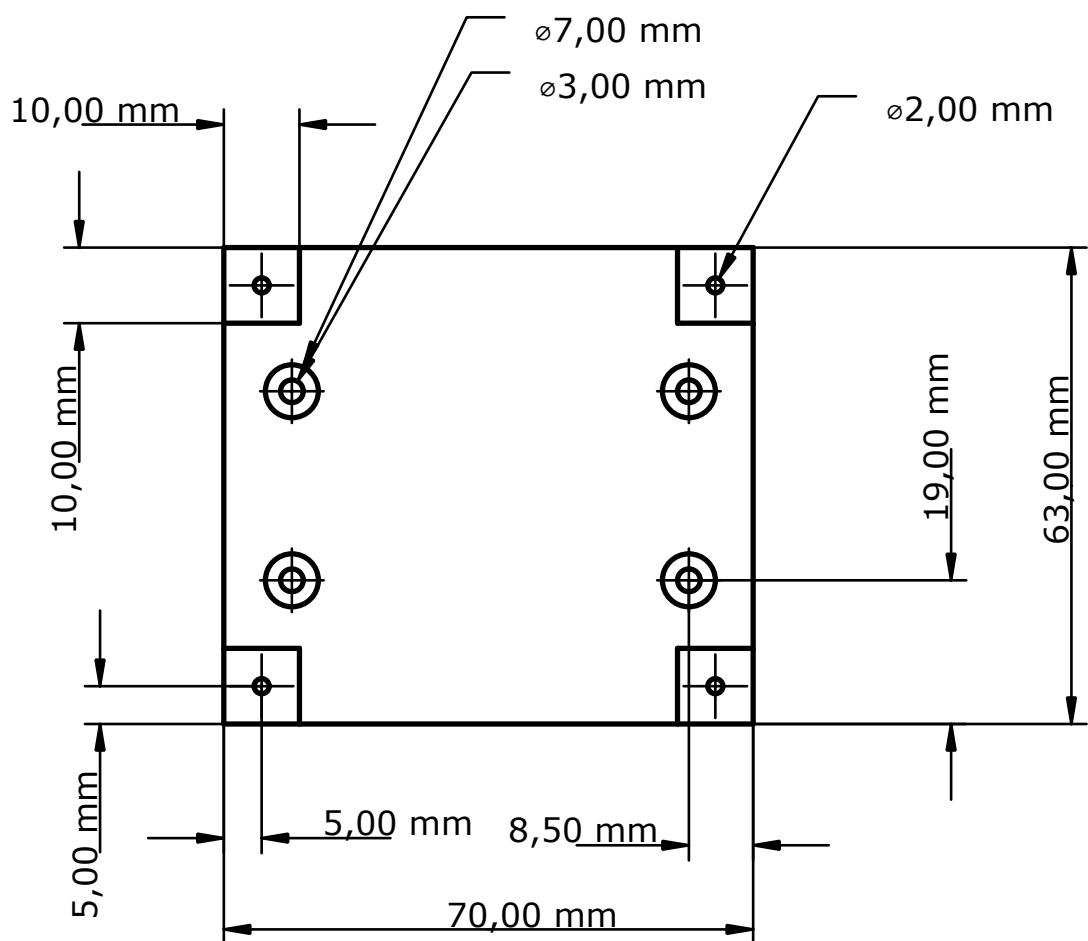
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / -

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Tapa A

Escala:

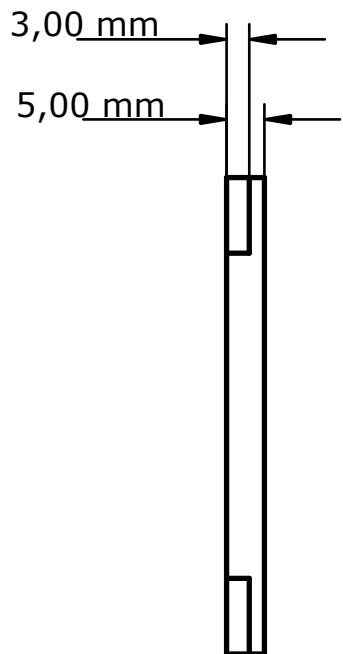
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 4

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_Tapa A

Escala:

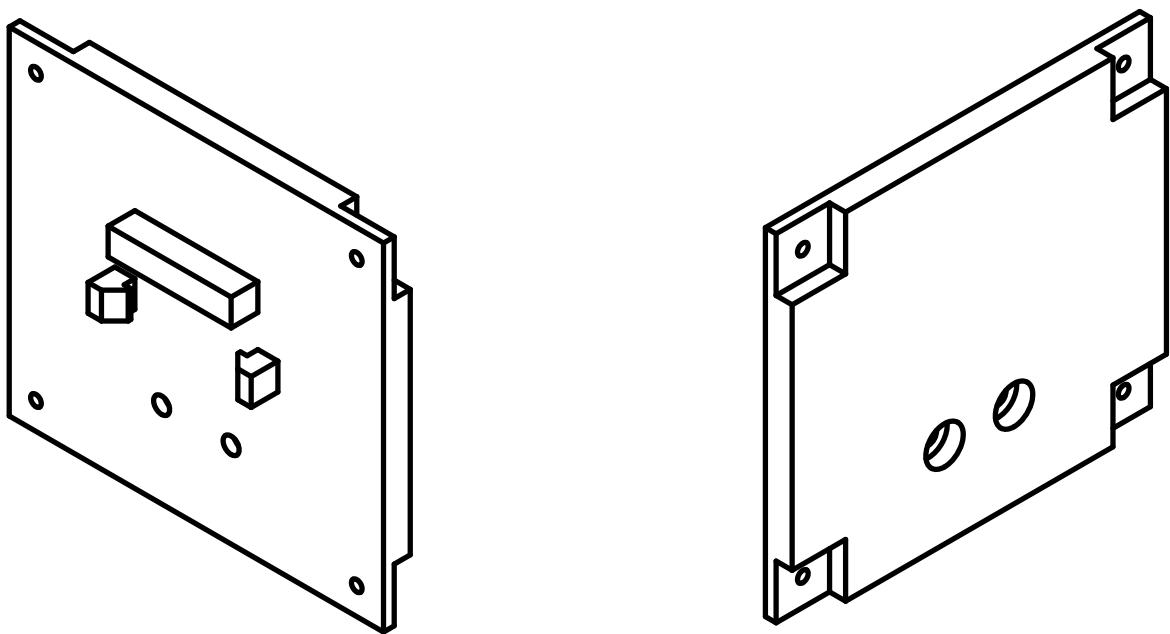
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 5

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Tapa B

Escala:

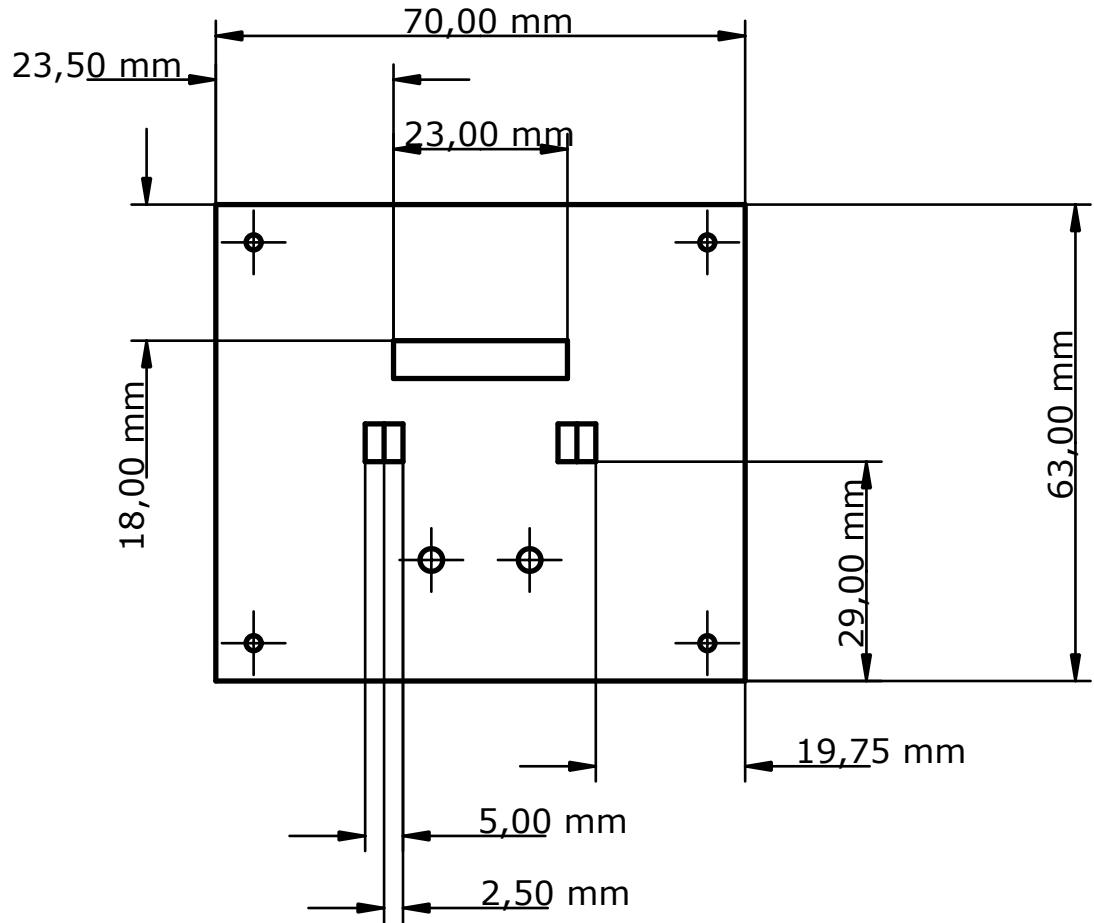
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / -

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Tapa B

Escala:

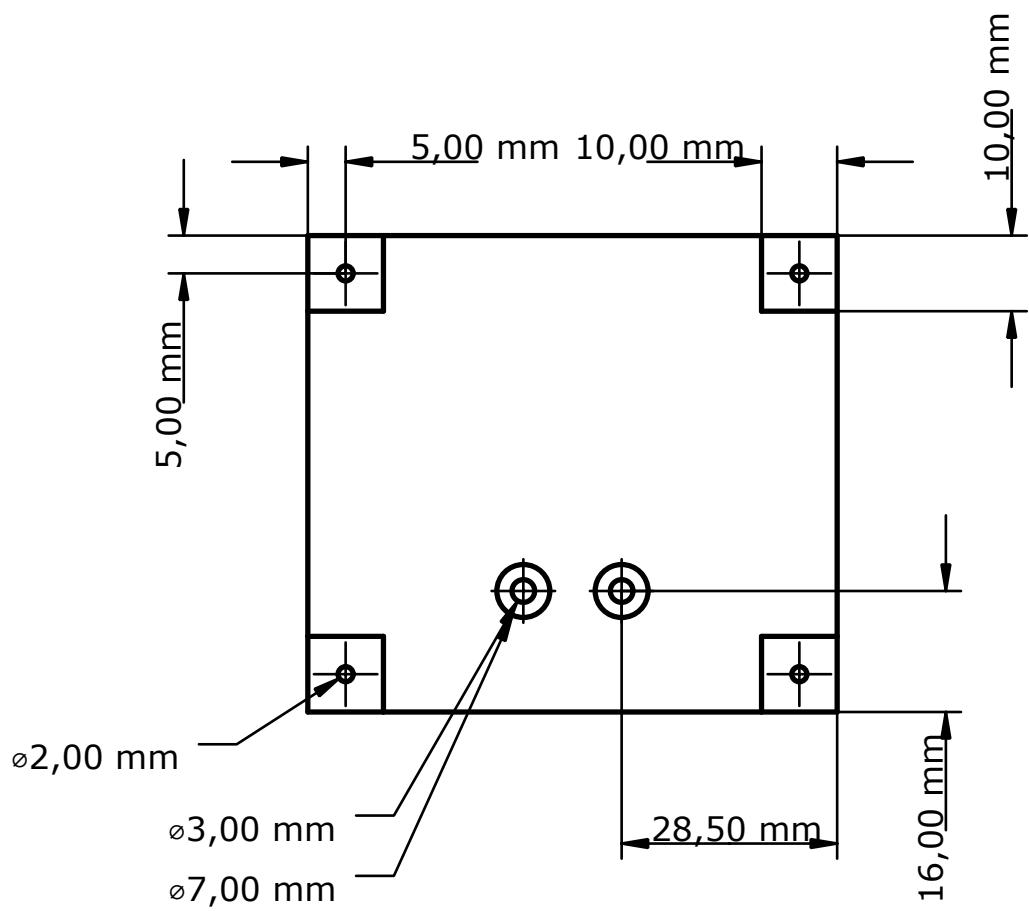
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 6

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Post_Tapa B

Escala:

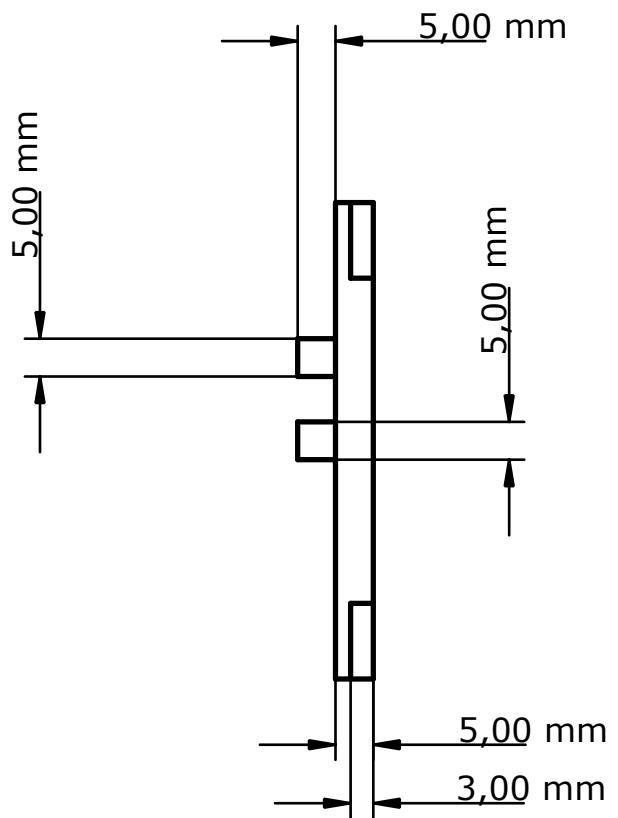
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 7

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_Tapa B

Escala:

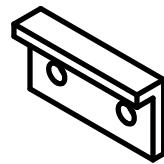
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 8

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Soporte Tapa B

Escala:

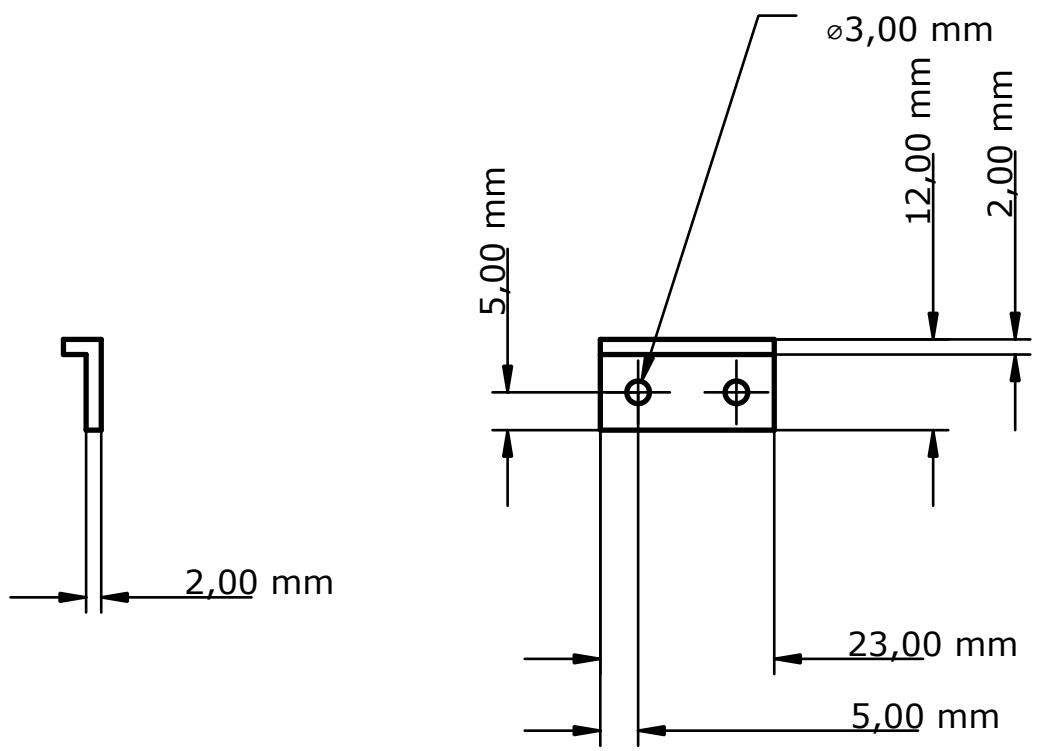
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / -

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Soporte Tapa B

Escala:

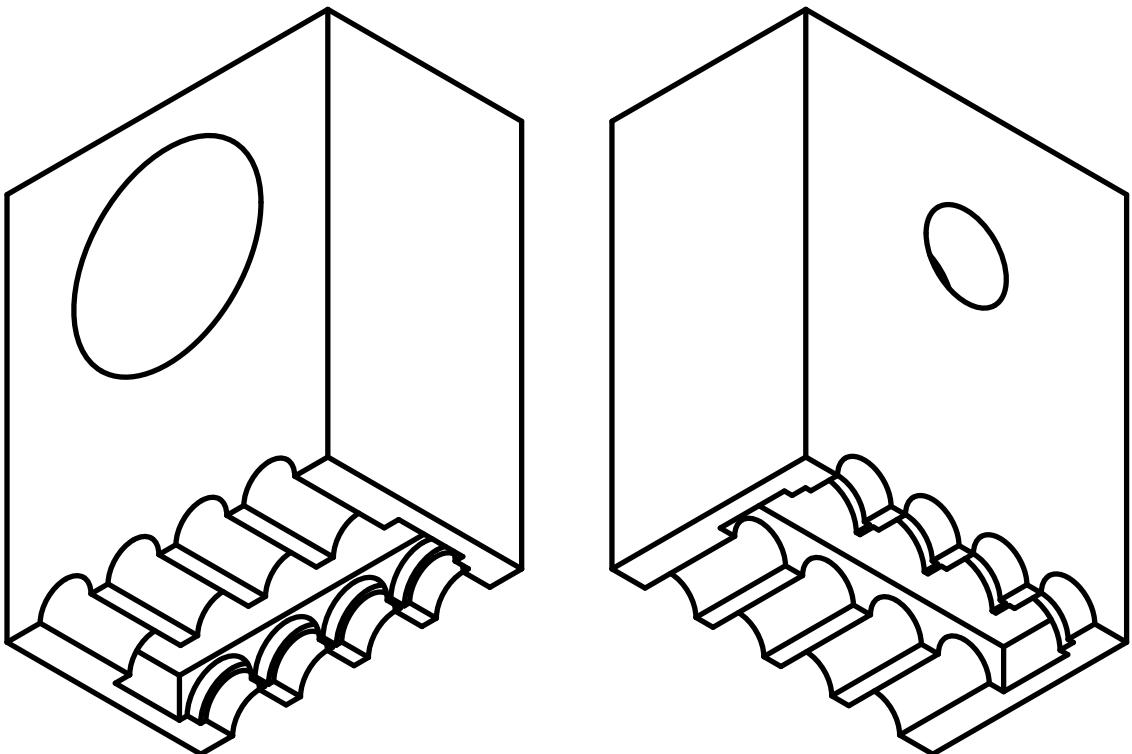
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

3 / 9

Pieza:

Comunicación



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Parte Superior

Escala:

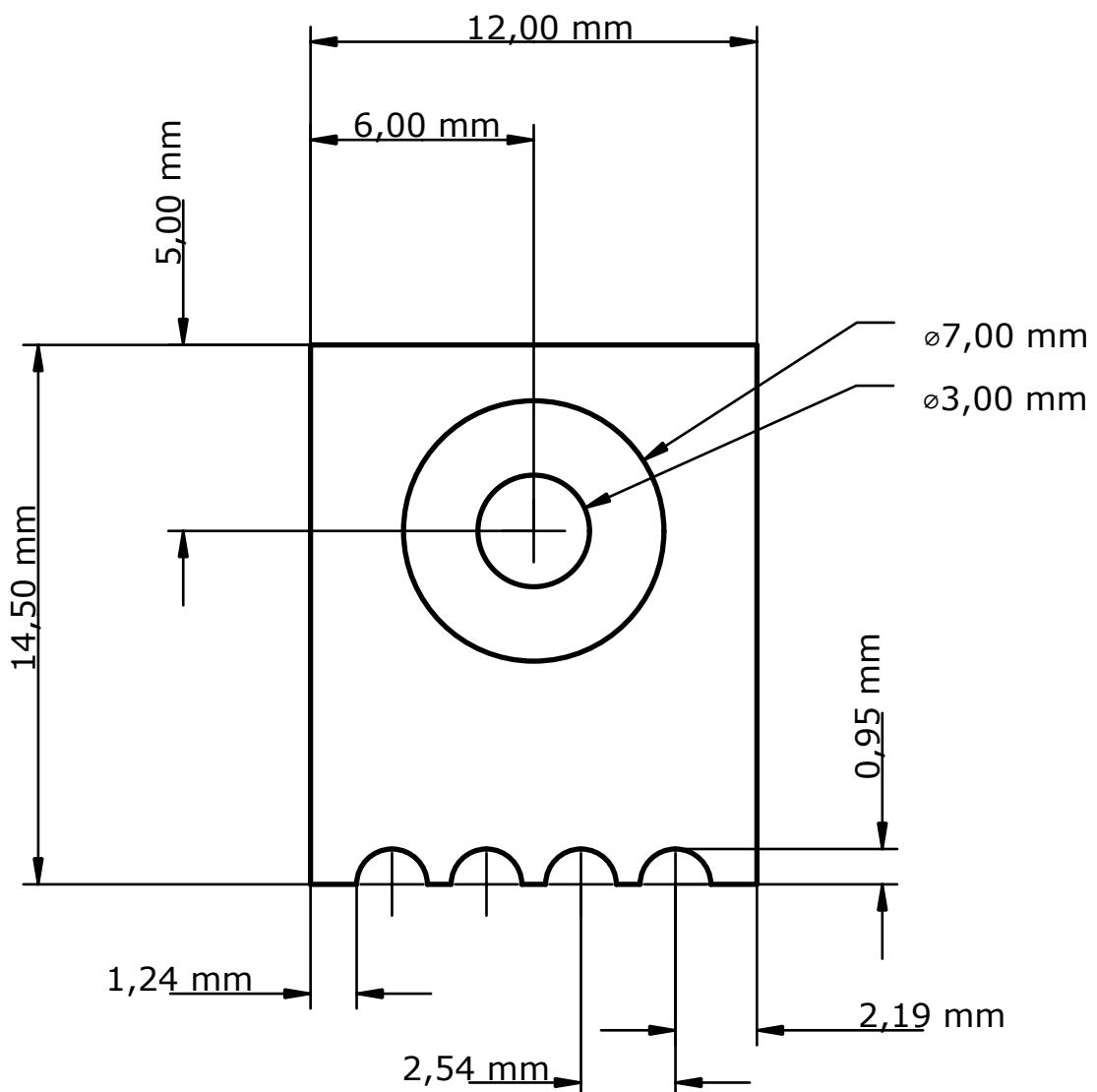
5:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / -

Pieza:

Conector H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado_Sup

Escala:

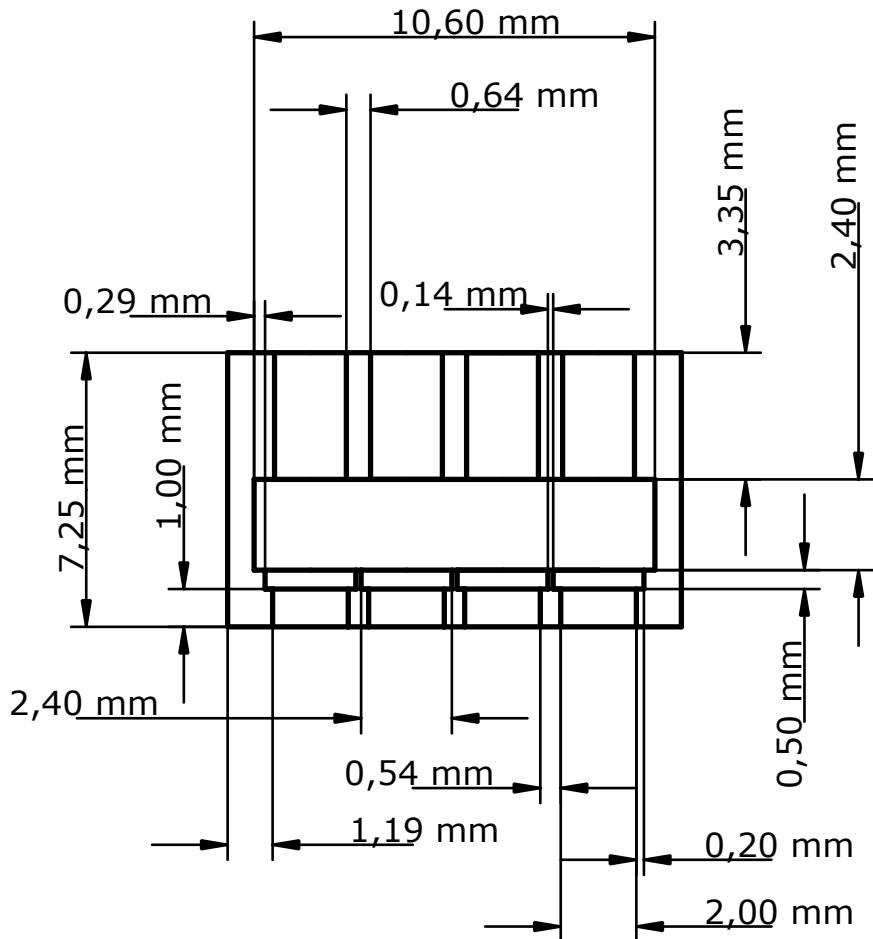
5:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / 1

Pieza:

Conector H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta Post_Sup

Escala:

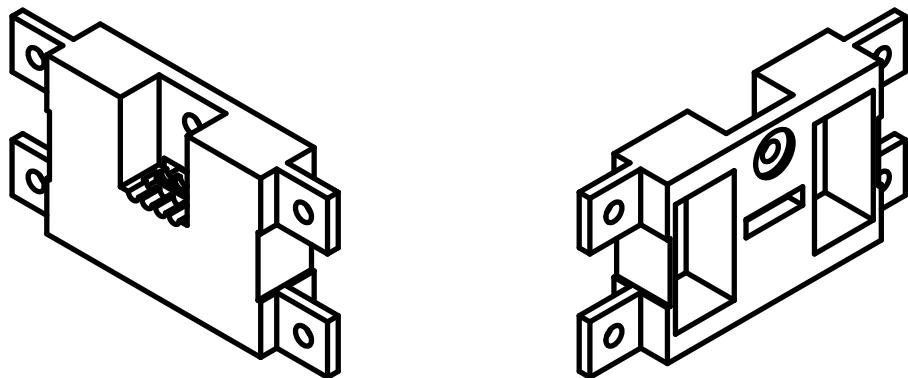
5:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / 2

Pieza:

Conecotor H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Parte Inferior

Escala:

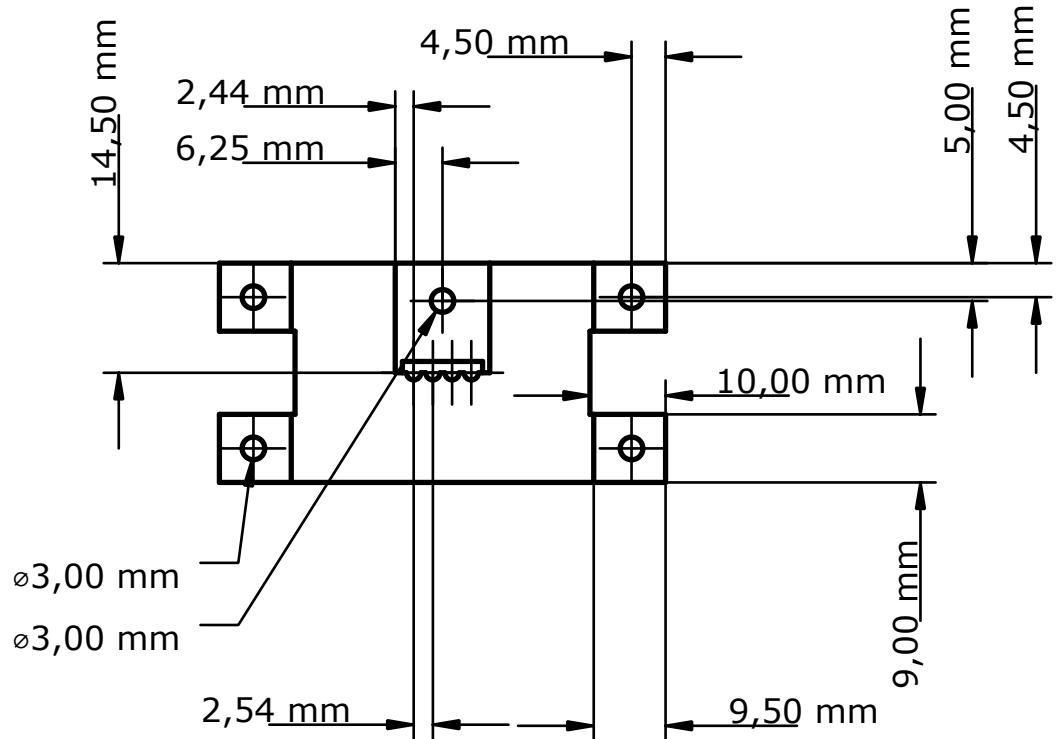
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / -

Pieza:

Conector H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado_Inf

Escala:

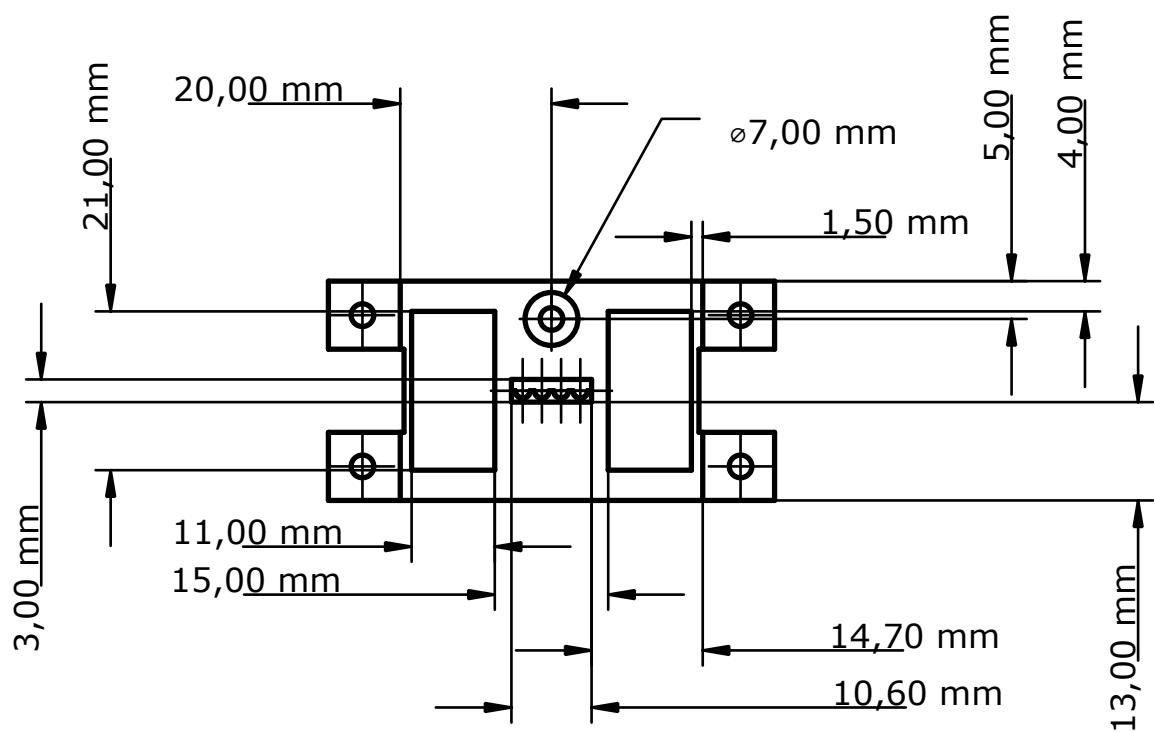
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / 3

Pieza:

Conektor H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Post_Inf

Escala:

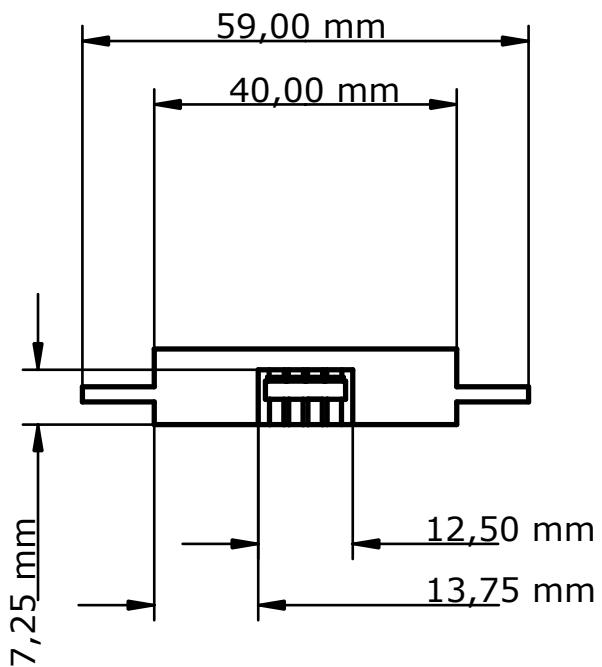
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / 4

Pieza:

Conektor H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta_Inf

Escala:

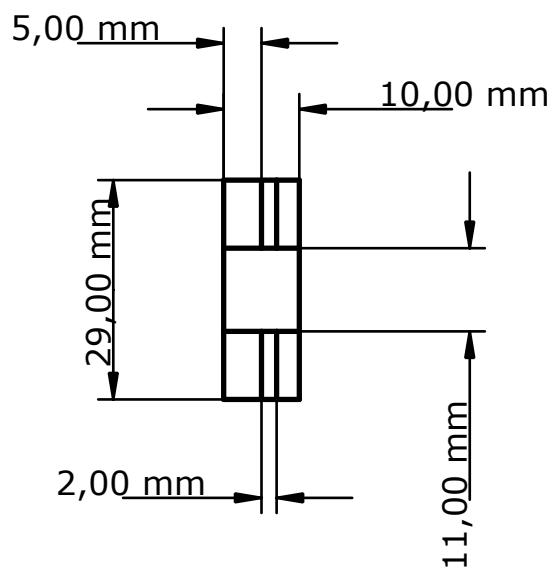
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / 5

Pieza:

Conektor H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_Inf

Escala:

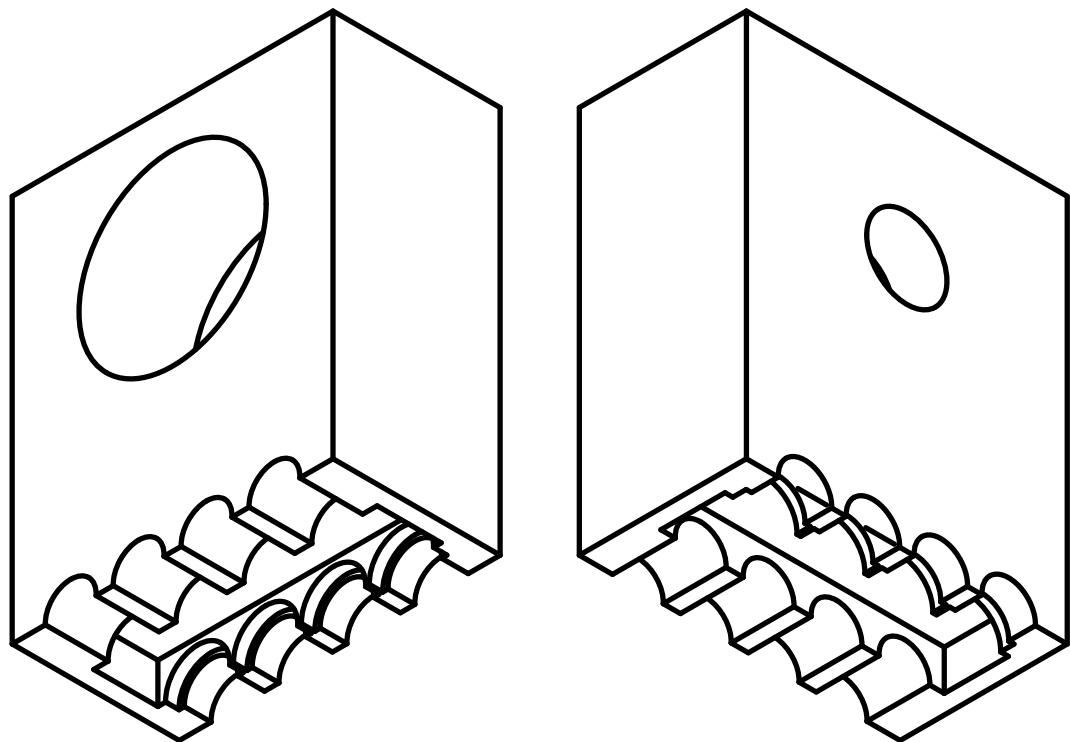
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

4 / 6

Pieza:

Conector H



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Parte Superior

Escala:

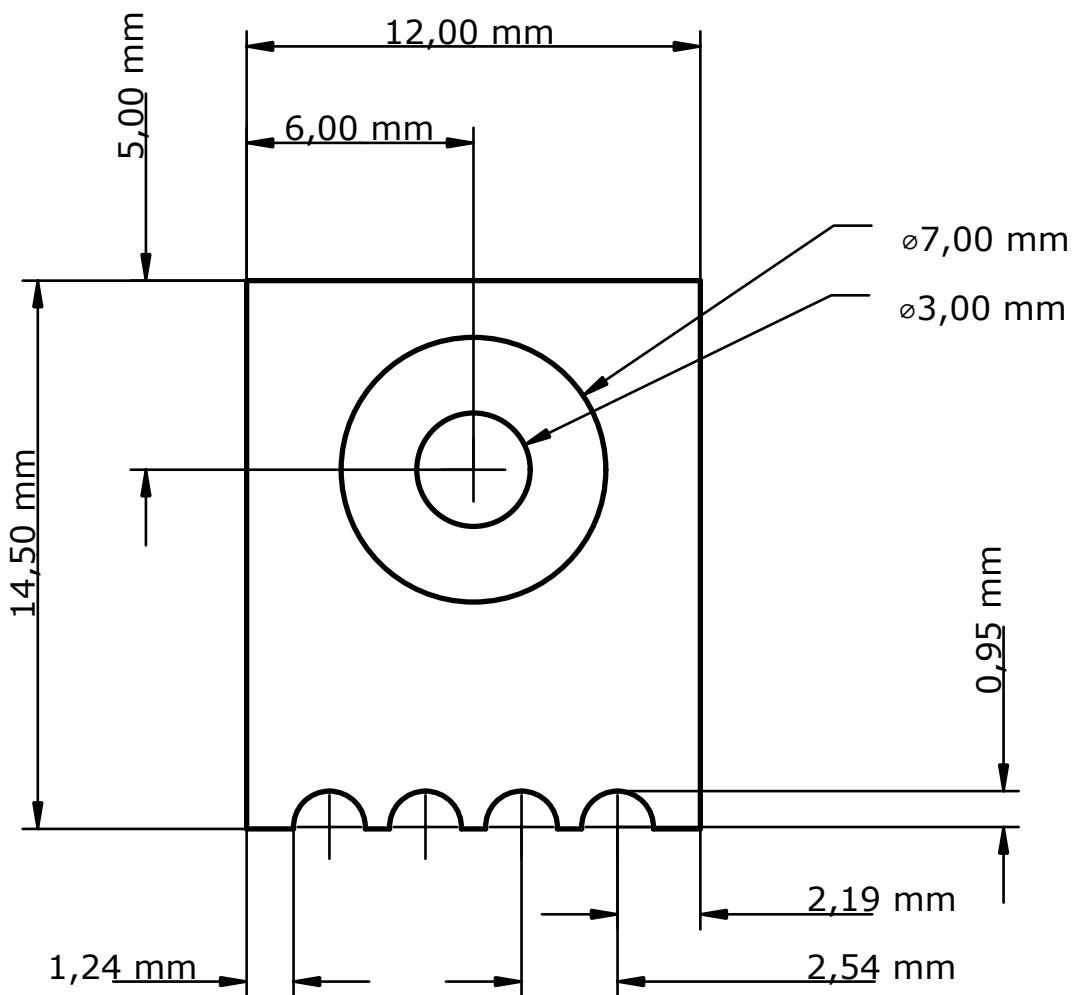
5:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / -

Pieza:

Conector M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado_Sup

Escala:

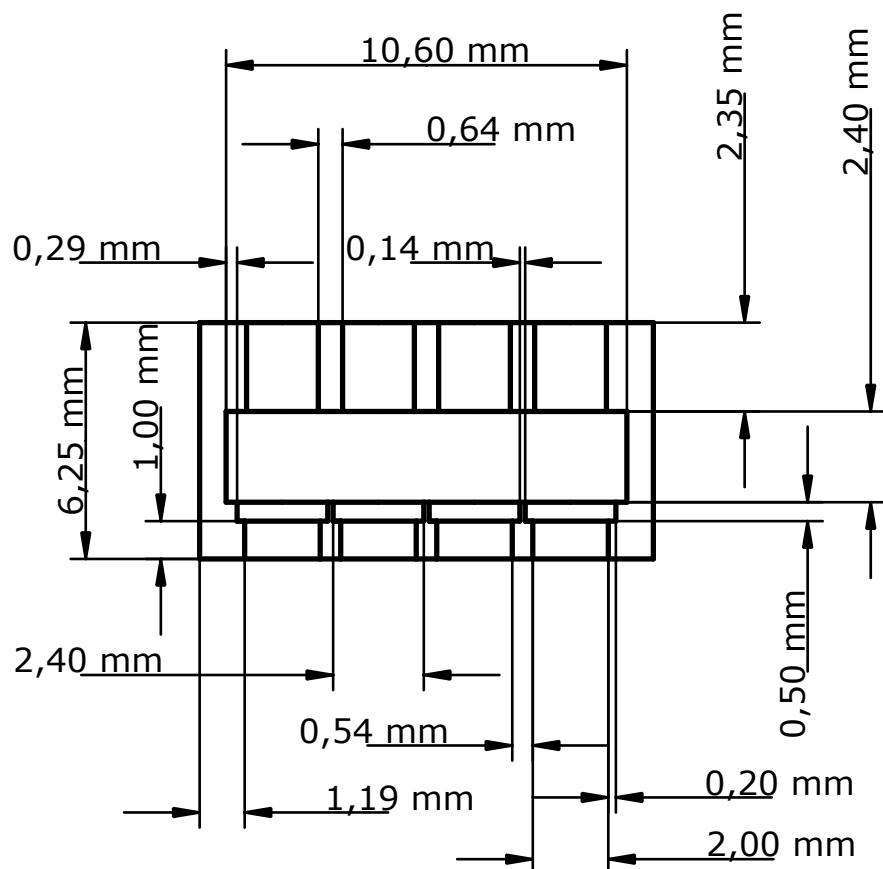
5:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / 1

Pieza:

Conector M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta Post_Sup

Escala:

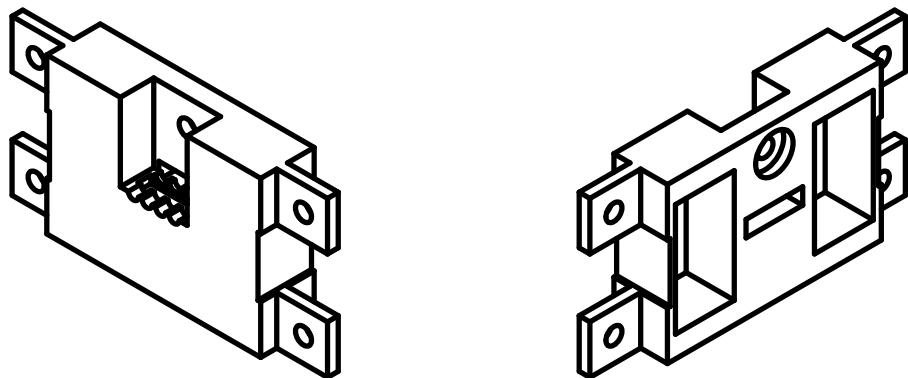
5:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / 2

Pieza:

Conector M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Parte Inferior

Escala:

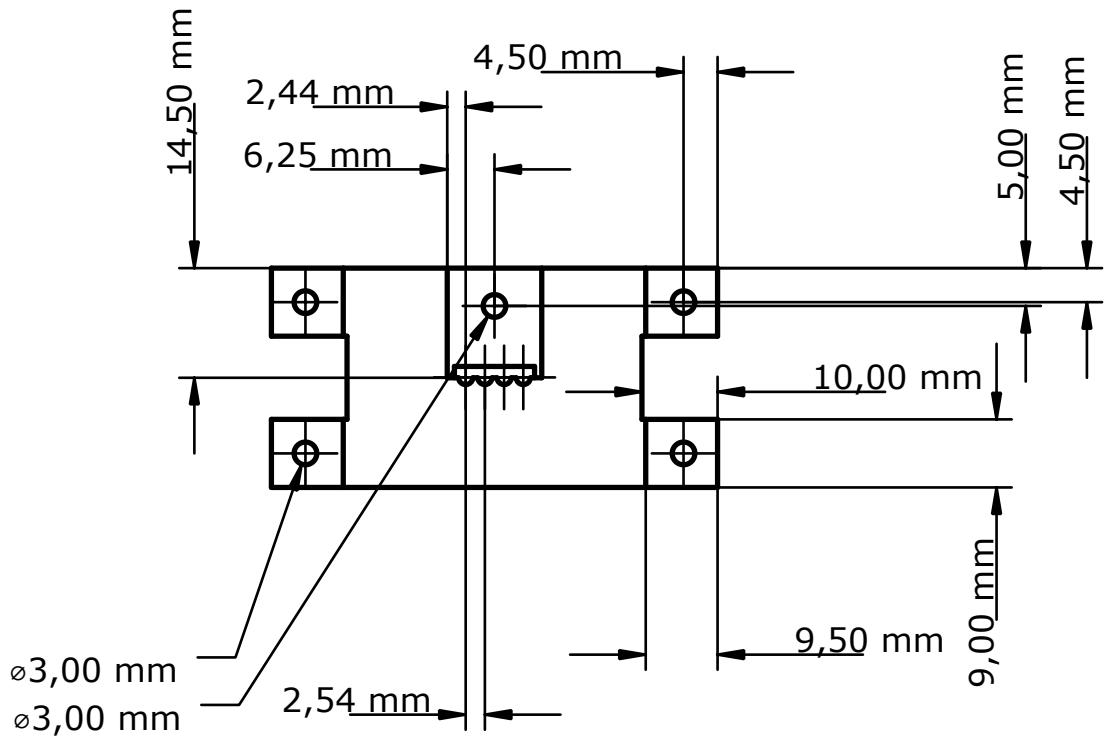
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / -

Pieza:

Conector M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado_Inf

Escala:

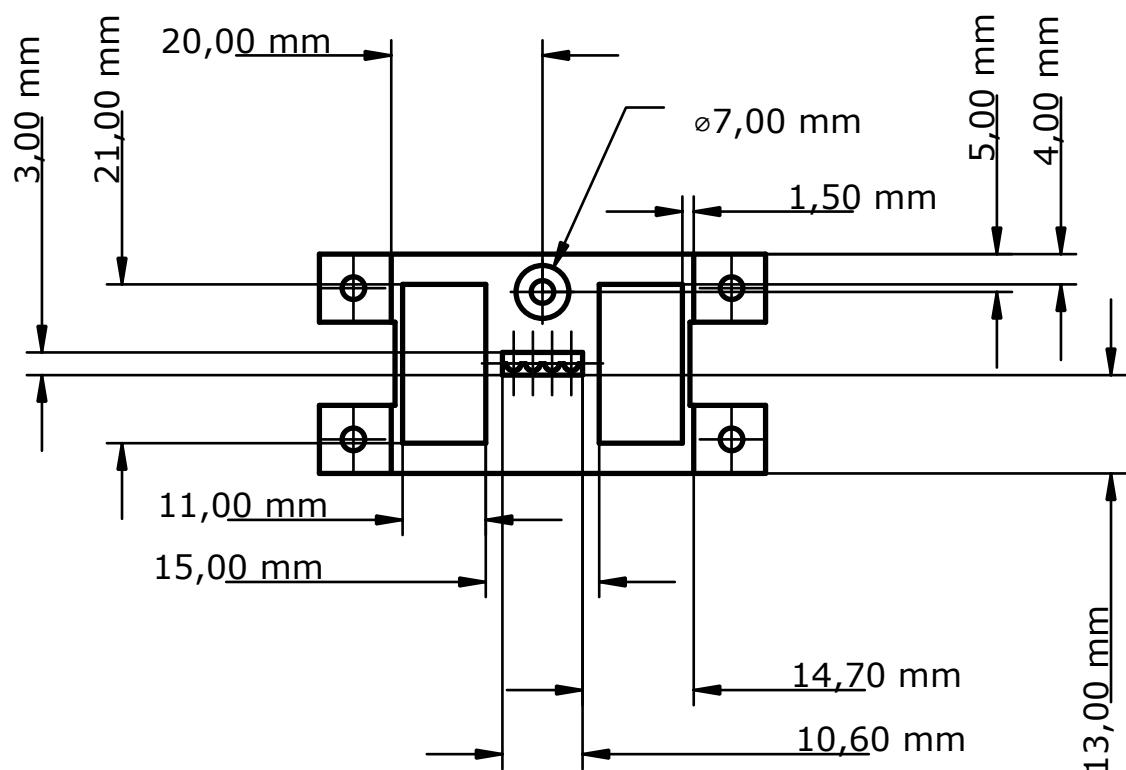
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / 3

Pieza:

Conektor M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado Post_Inf

Escala:

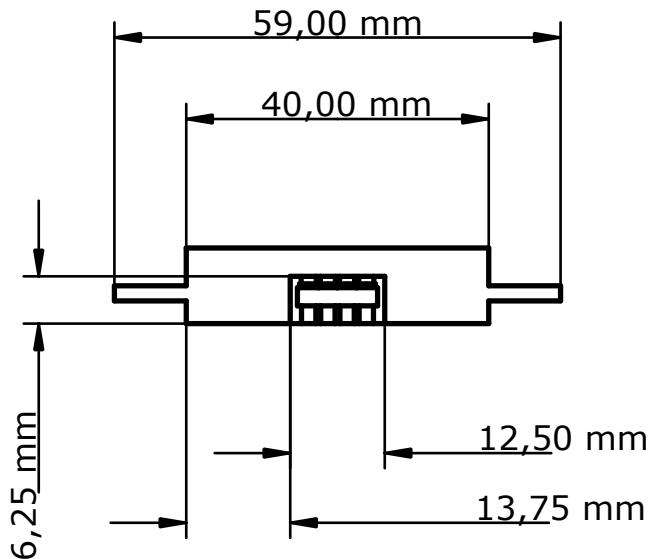
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / 4

Pieza:

Conektor M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta_Inf

Escala:

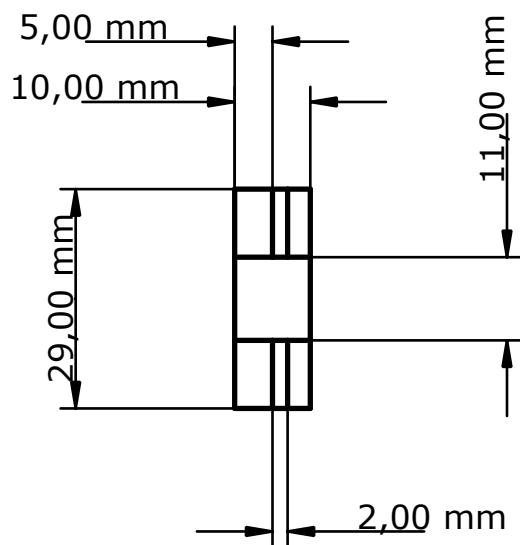
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / 5

Pieza:

Conector M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_Inf

Escala:

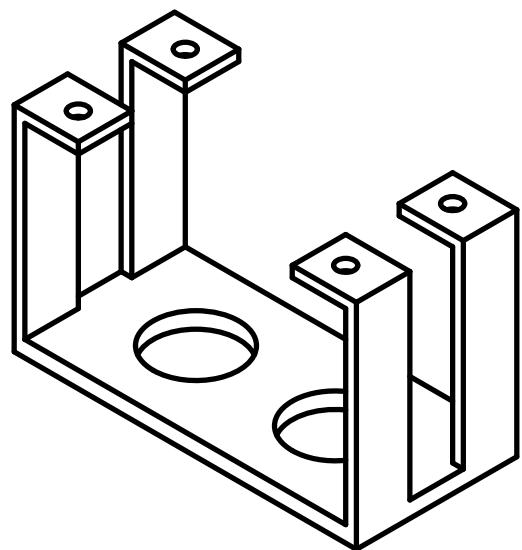
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

5 / 6

Pieza:

Conector M



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Módulo Sensor

Escala:

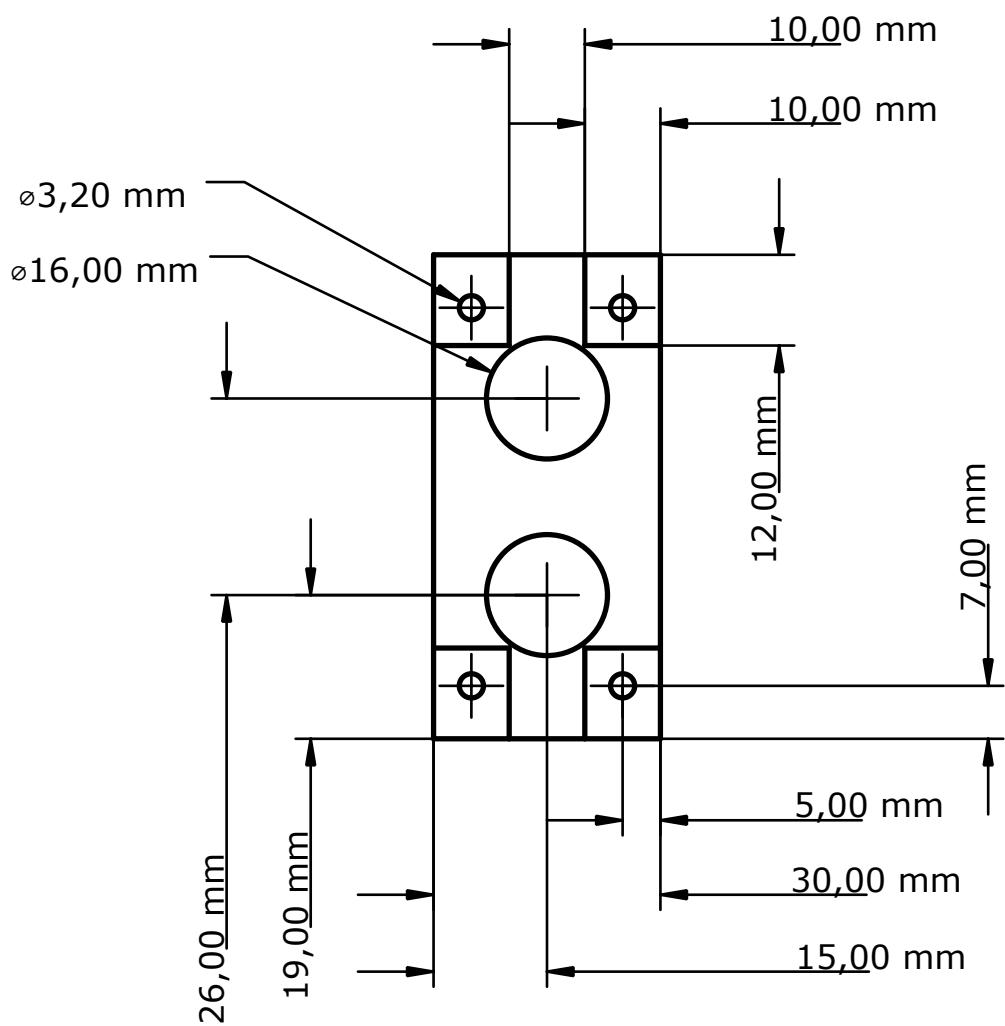
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

6 / -

Pieza:

Sensor



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta

Escala:

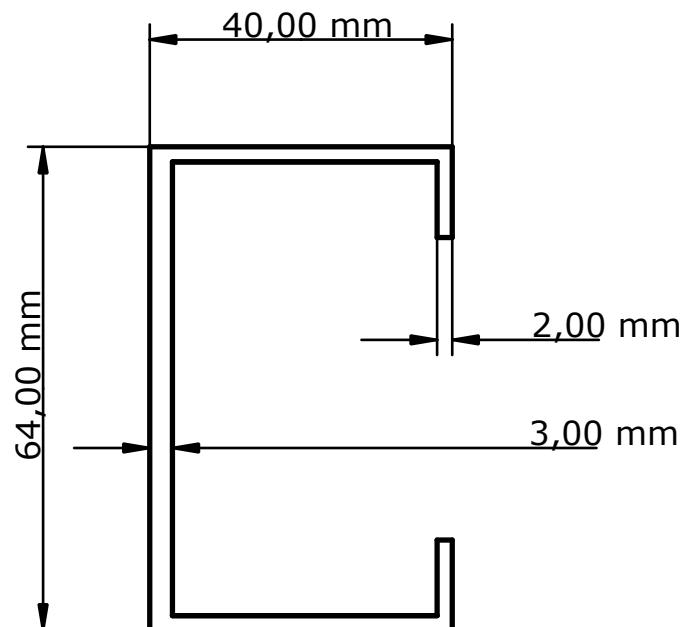
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

6 / 1

Pieza:

Sensor



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izquierdo

Escala:

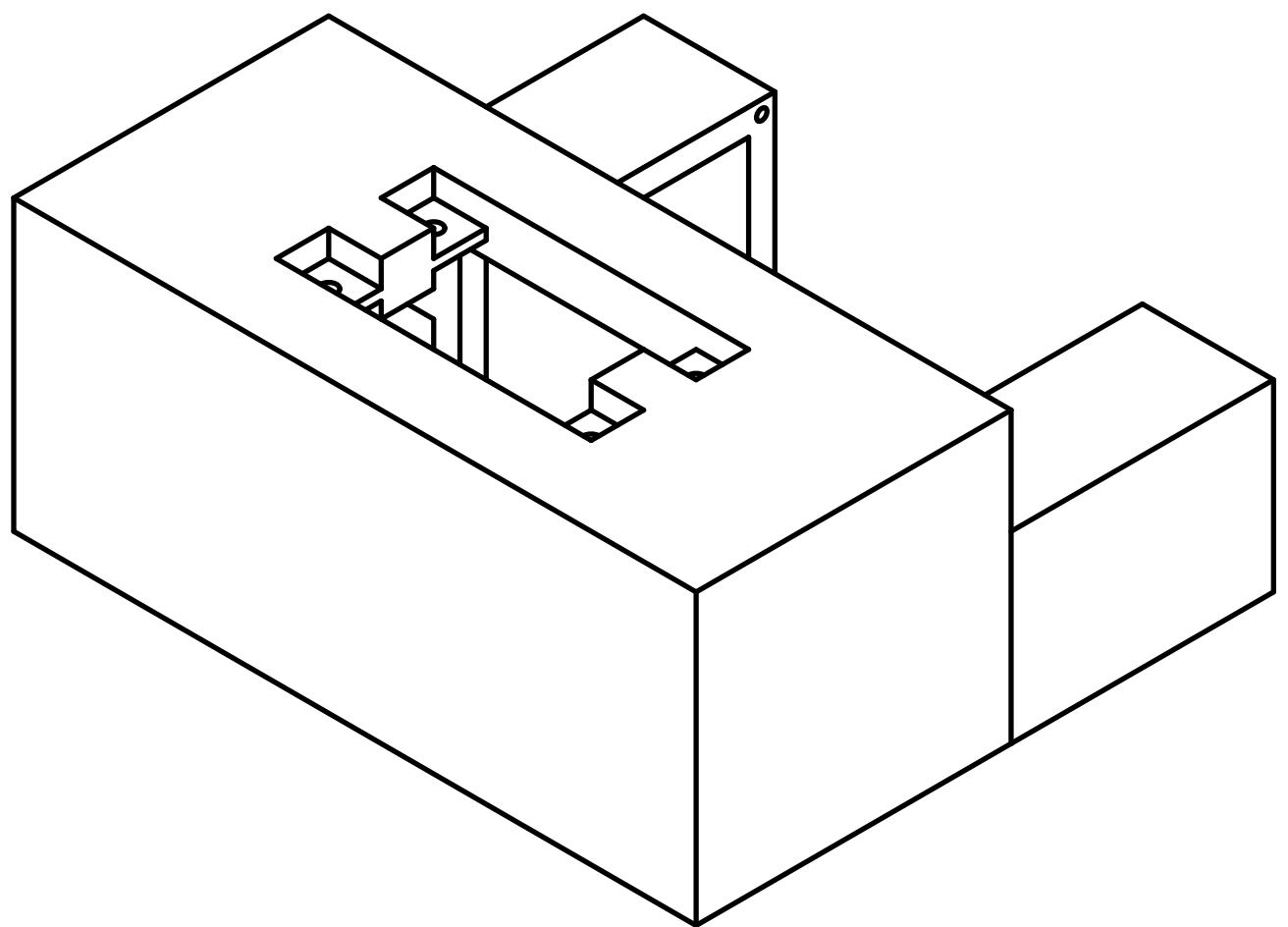
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

6 / 2

Pieza:

Sensor



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Carcasa Principal

Escala:

1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / -

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado

Escala:

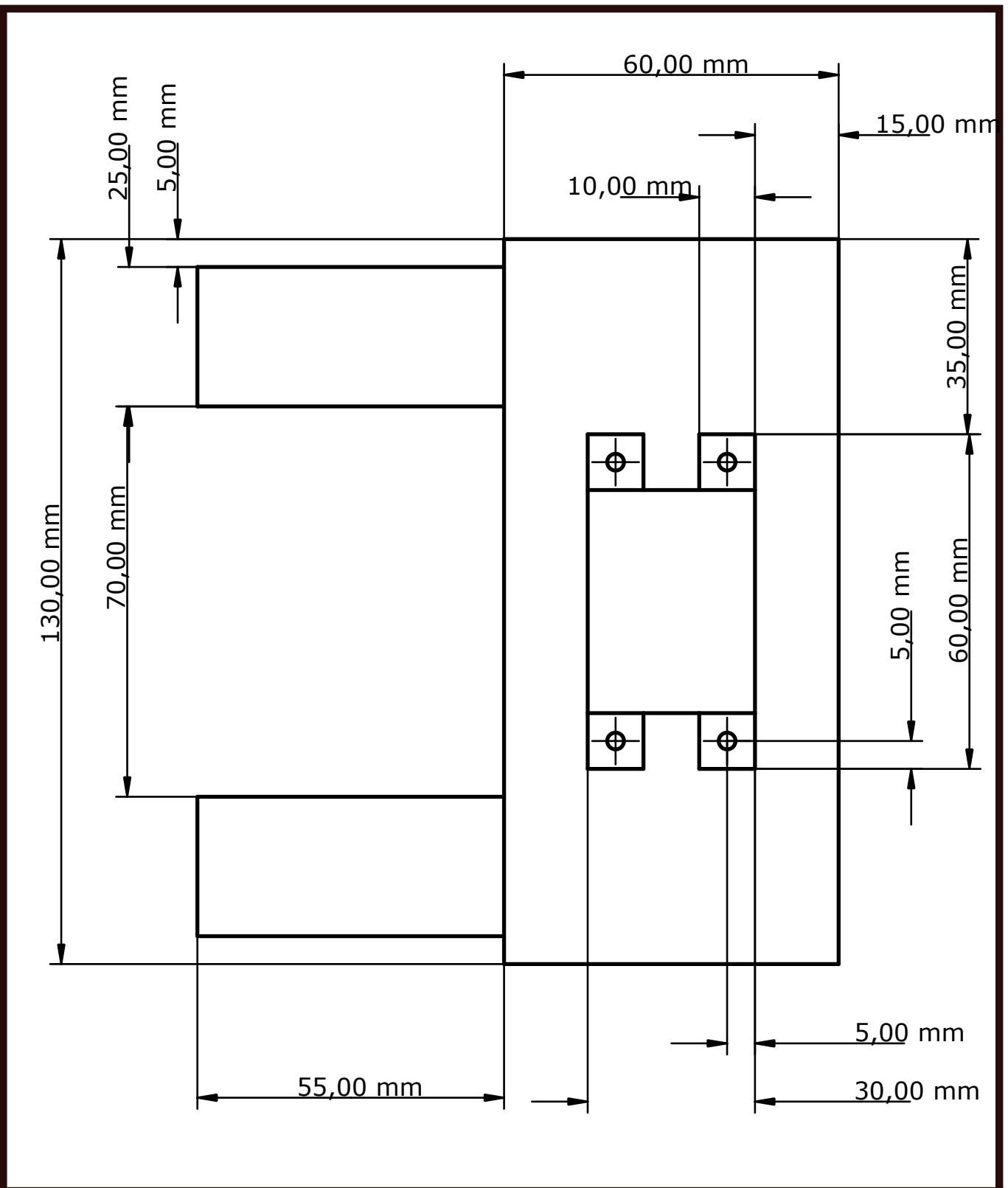
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 1

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta

Escala:

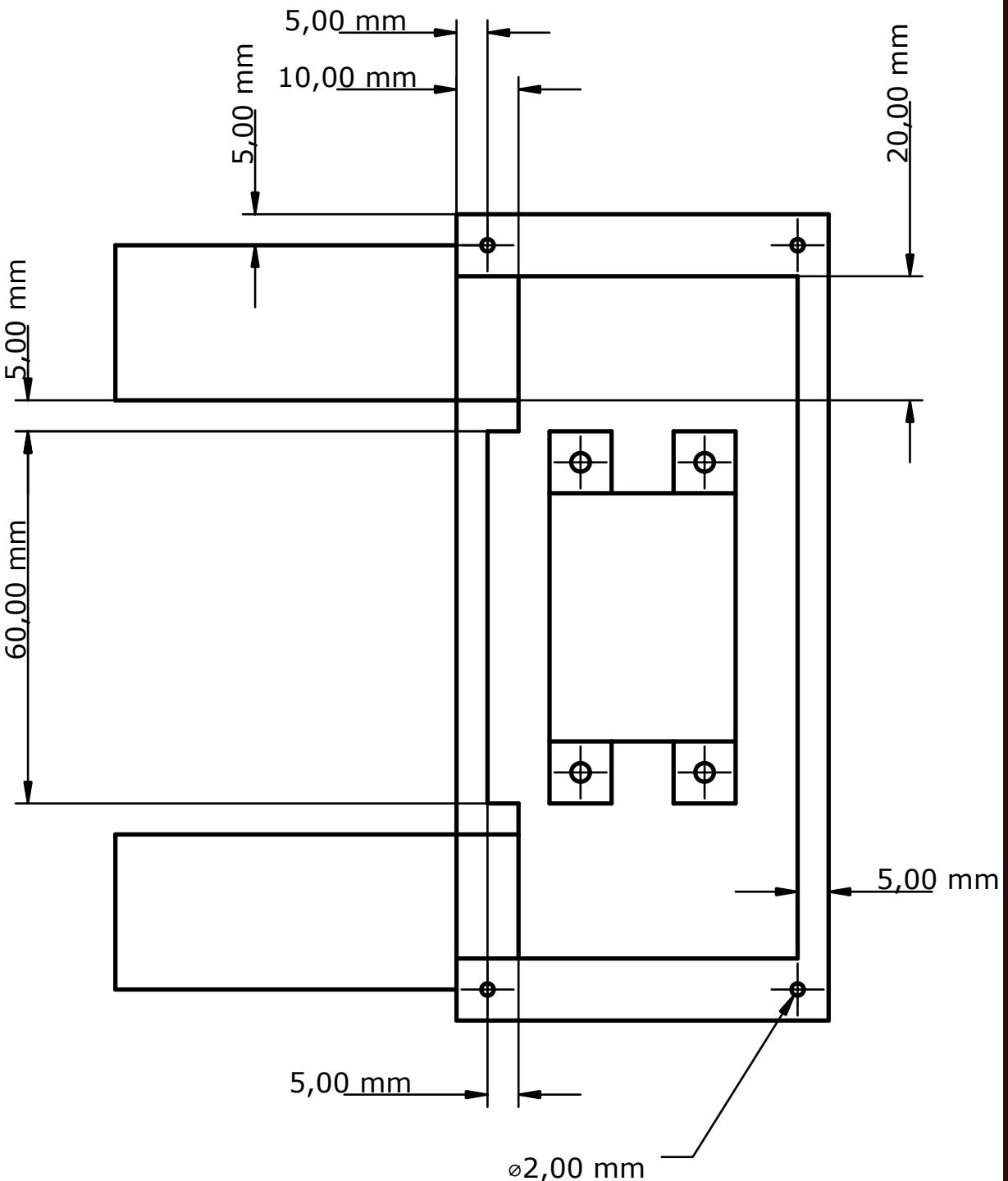
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 2

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta Posterior

Escala:

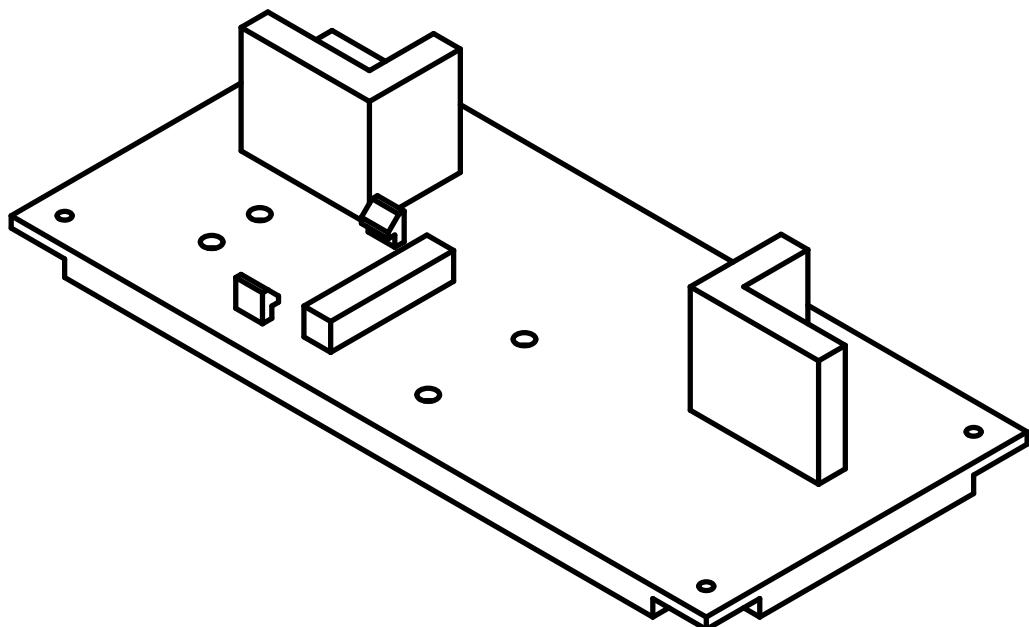
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 3

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Tapa

Escala:

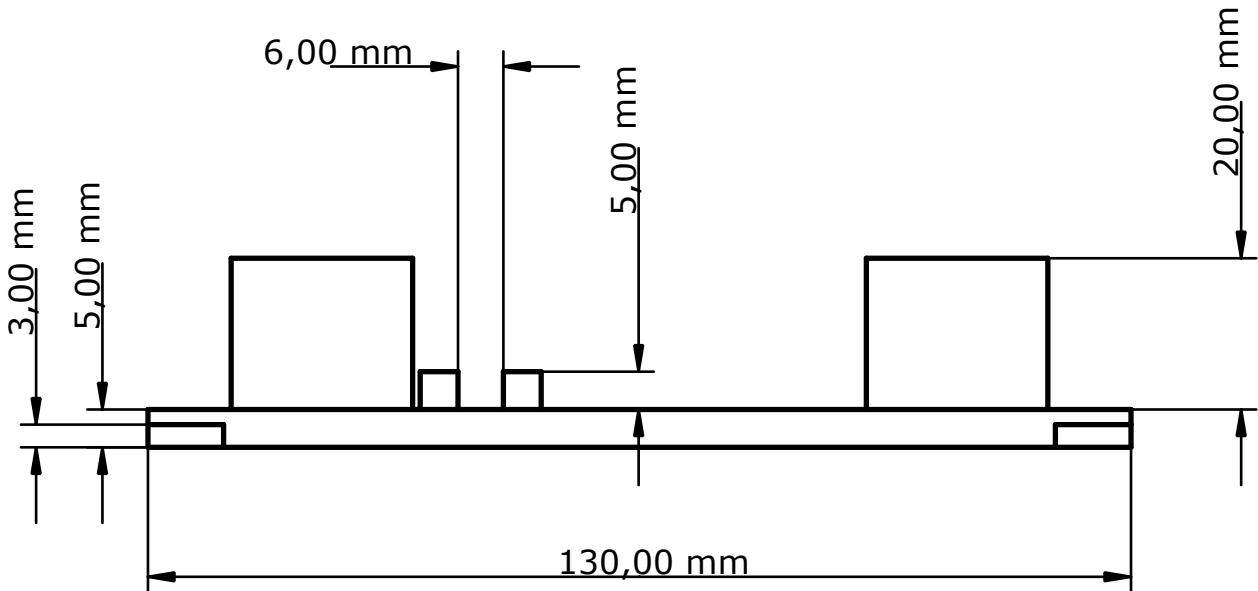
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / -

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado_Tapa

Escala:

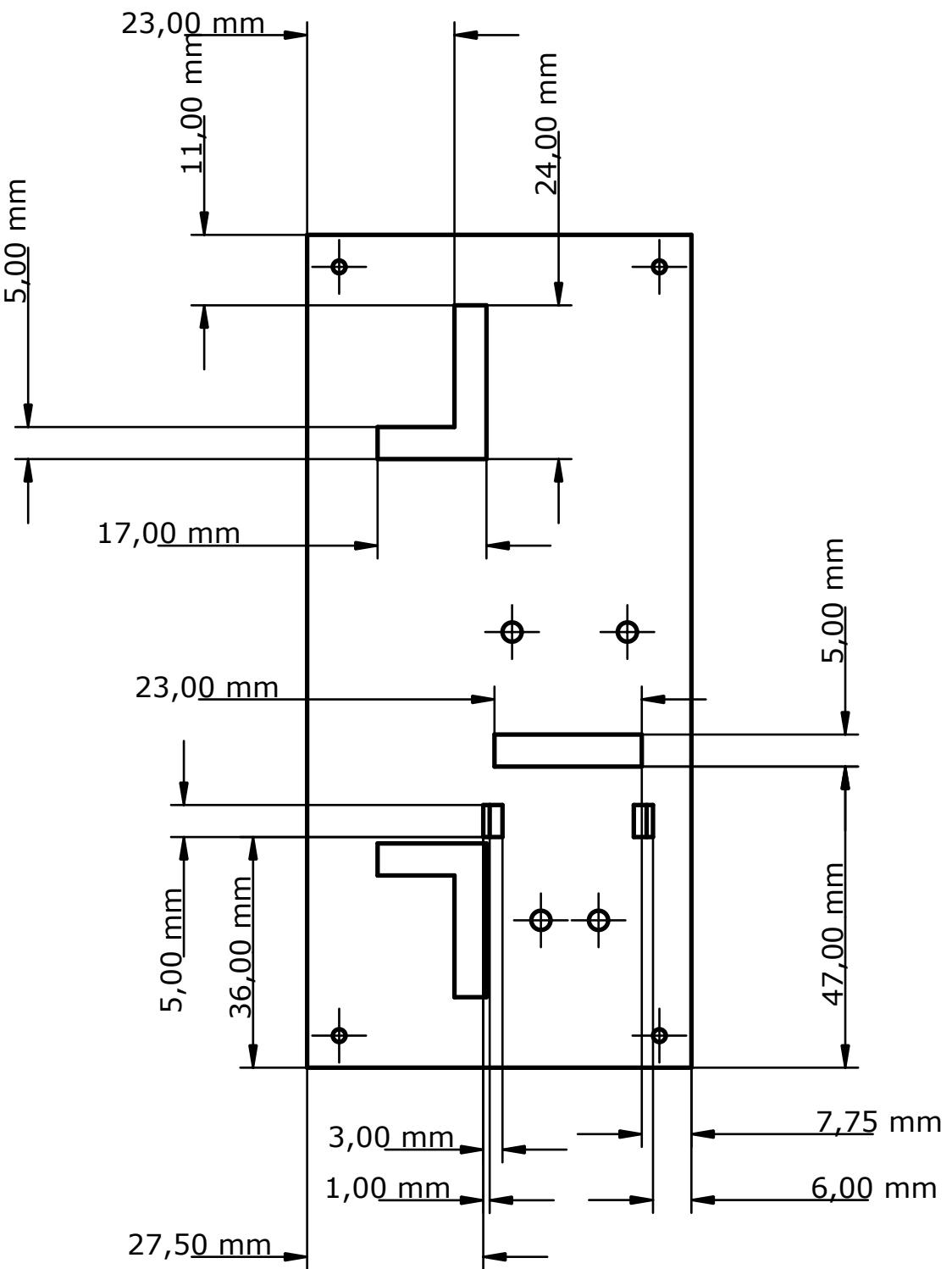
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 4

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta_Tapa

Escala:

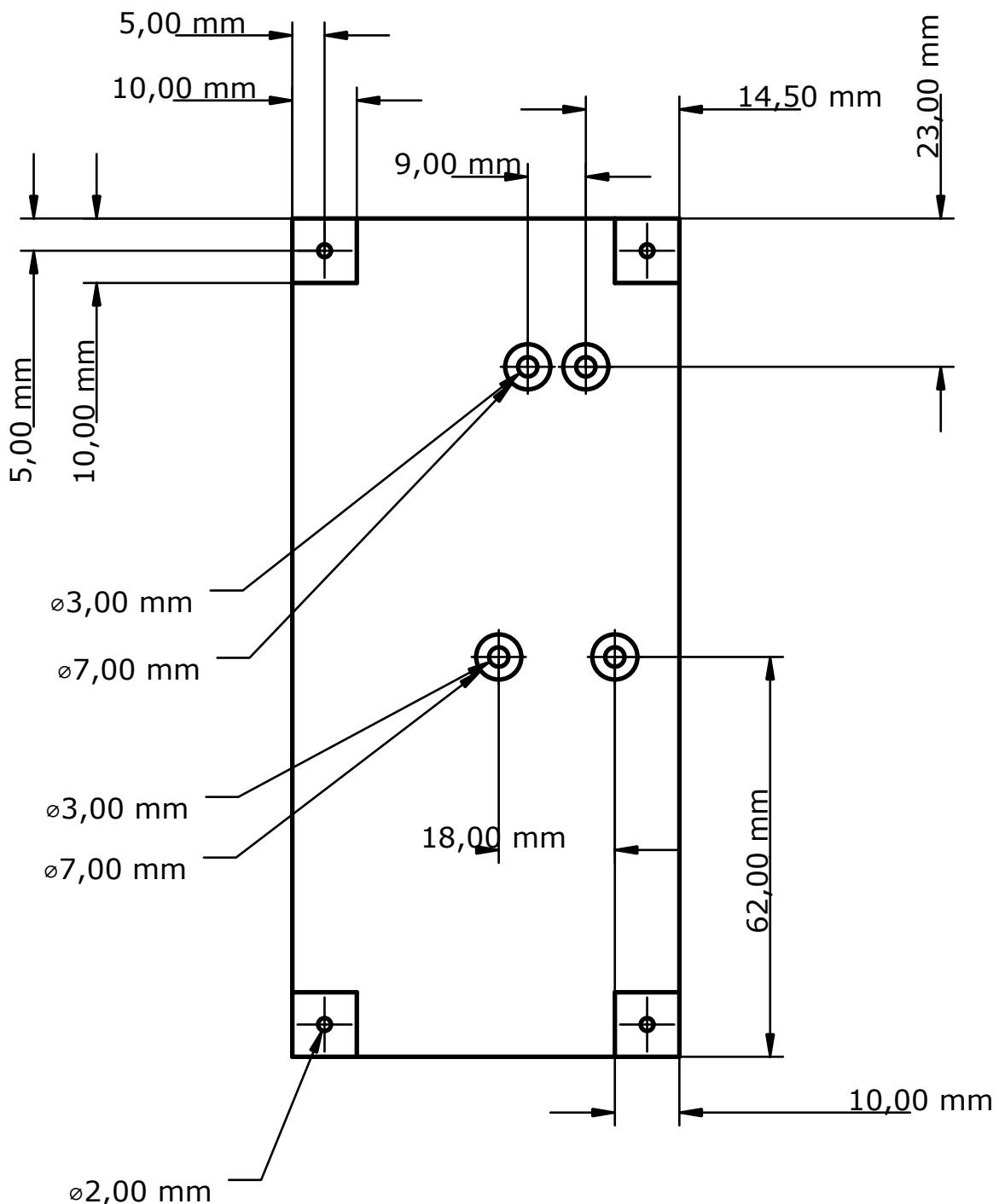
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 5

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta Post_Tapa

Escala:

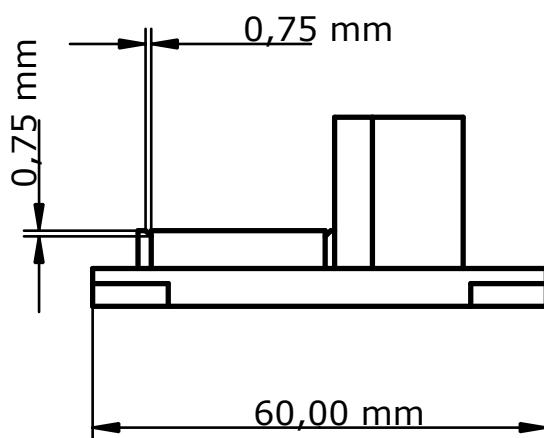
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 6

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Perfil Izq_Tapa

Escala:

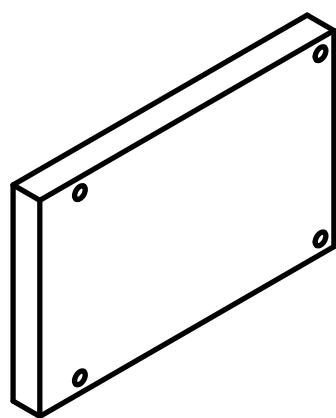
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 7

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Tapa Motor

Escala:

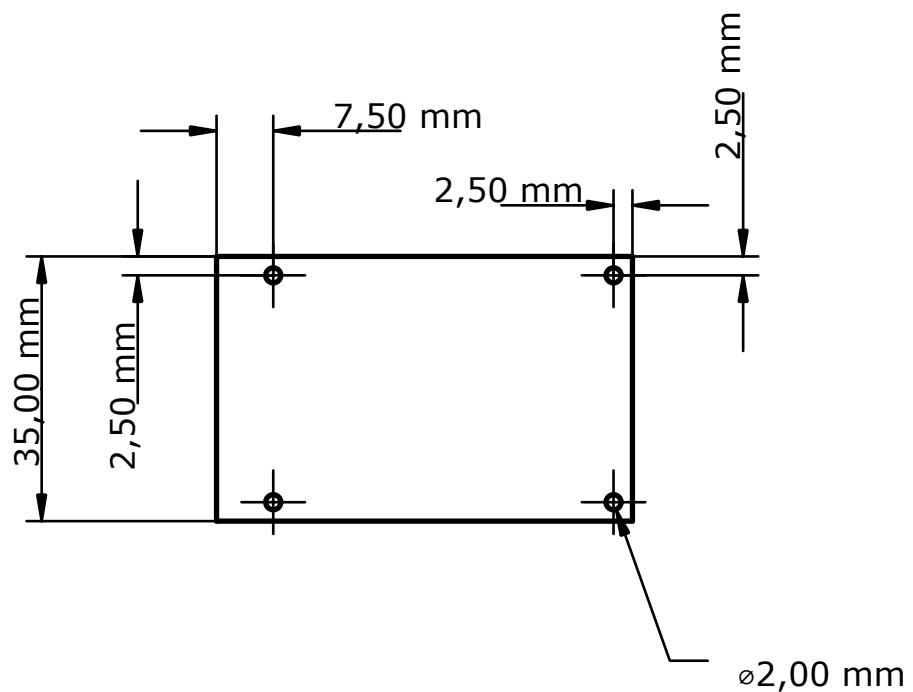
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / -

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Alzado_Tapa M

Escala:

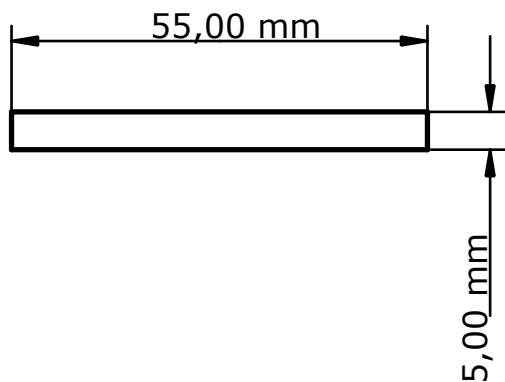
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 8

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Planta_Tapa M

Escala:

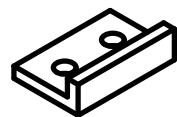
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 9

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Soporte Tapa

Escala:

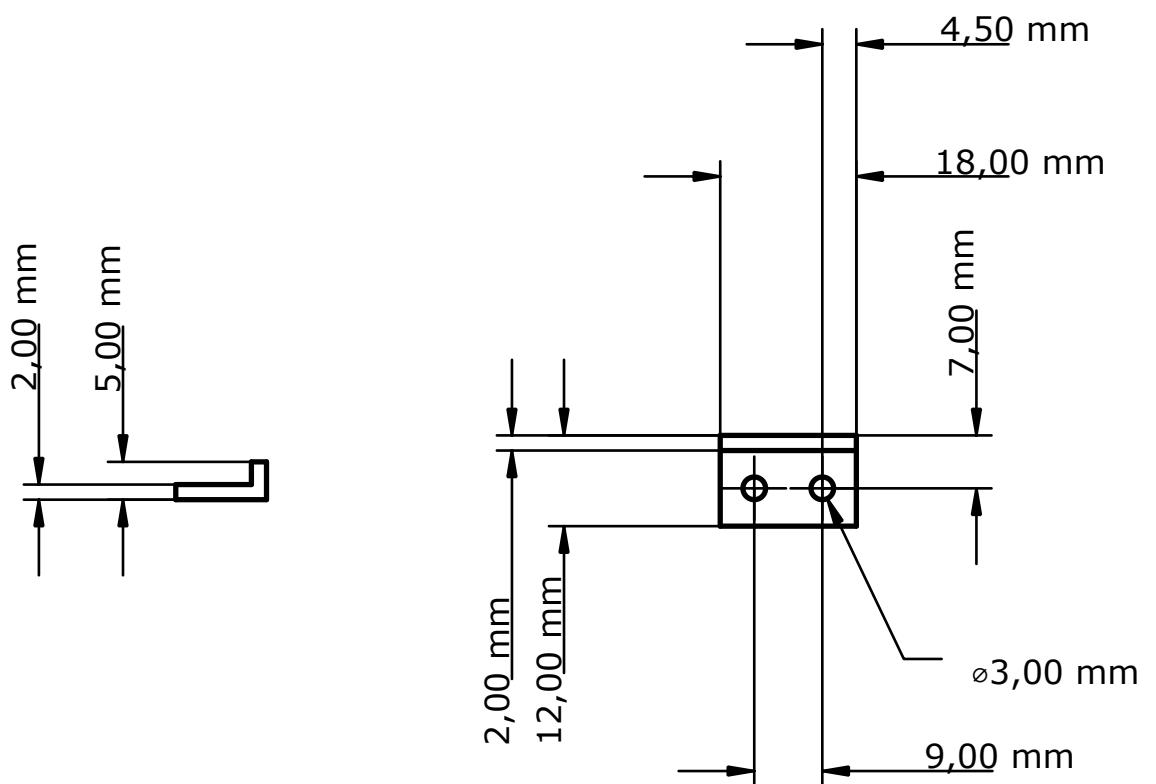
1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / -

Pieza:

Locomoción



Proyecto:

Robot Modular ROMEO

Autor:

Saúl Ortega Vázquez

Plano:

Soporte Tapa

Escala:

1:1

Nº Pieza / Nº Plano:

7 / 10

Pieza:

Locomoción

Bibliografía

- [1] Juan González Gómez. Robótica modular y locomoción: Aplicación a robots ápodos, 2008.
- [2] Juan González Gómez. Diseño de robots ápodos, 2003.
- [3] Mark Yim, Paul White, Michael Park, Jimmy Sastra, School of Engineering and Applied Science University of Pennsylvania. Modular Self-Reconfigurable Robots.
- [4] Robo-wunderkind. The Story of Robo-Wunderkind. Disponible en línea en: <http://robowunderkind.com/>
- [5] MIT Media Lab y Stanford University. LineFORM: Actuated Curve Interfaces for Display, Interaction, and Constraint, 2015. Disponible en línea en: <http://tangible.media.mit.edu/papers/>
- [6] MIT Media Lab y Stanford University. ChainFORM: A Linear Integrated Modular Hardware System for Shape Changing Interfaces, 2015. Disponible en línea en: <http://tangible.media.mit.edu/papers/>
- [7] Ivan Grokhotkov. ESP8266 Arduino Core Documentation, 2017. Disponible en línea en: <https://arduino-esp8266.readthedocs.io/en/latest/index.html>
- [8] Espressif Systems. ESP8266EX datasheet, versión 5.8, 2018. Disponible en línea en: <https://www.espressif.com/en>
- [9] Espressif Systems. ESP8266 Technical Reference, versión 1.3, 2017. Disponible en línea en: <https://www.espressif.com/en>
- [10] Alberto Brunete, Avinash Ranganath, Sergio Segovia, Javier Perez de Frutos, Miguel Hernando and Ernesto Gamboa, International Journal of Advanced Robotic Sistems. Current trends in reconfigurable modular robots design, 2017.
- [11] Castano A, Shen WM and Will P. CONRO: towards deployable robots with inter-robots metamorphic capabilities. Auton Robot 2000; 8(3): 309–324.
- [12] Castano A, Behar A and Will P. The Conro modules for reconfigurable robots. IEEE/ASME Trans Mech 2002; 7(4): 403–409.
- [13] Yim M, Duff D and Roufas K. Polybot: a modular reconfigurable robot. In: Proceedings of the 2000 IEEE international conference on robotics and automation, 2000, pp. 514–520.
- [14] Salemi B, Moll M and Shen WM. Superbot: a deployable, multi-functional, and modular self-reconfigurable robotic system. In: 2006 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, 2006, pp. 3636–3641.
- [15] Murata S, Yoshida E, Kamimura A, et al. M-tran: selfreconfigurable modular robotic system. IEEE/ASME Trans Mech 2002; 7(4): 431–441.

- [16] Kurokawa H, Kamimura A, Yoshida E, et al. M-tran ii: metamorphosis from a four-legged walker to a caterpillar. In: Proceedings of the 2003 IEEE/RSJ international conference on intelligent robots and systems, Vol. 3, 2003, pp. 2454–2459.
- [17] M. Yim. Locomotion with a unit-modular reconfigurable robot. PhD thesis, Stanfod University, December 1995. Disponible en línea en:
<http://www-db.stanford.edu/TR/CS-TR-95-1536.html>
- [18] Jørgensen M, Østergaard E, Lund H. Modular ATRON: modules for a self-reconfigurable robot. In: Proceedings of the 2004 IEEE/RSJ International Conference on Intelligent Robots and Systems (IROS), October 2004, pp 2068–2073.