

## ANEXOS

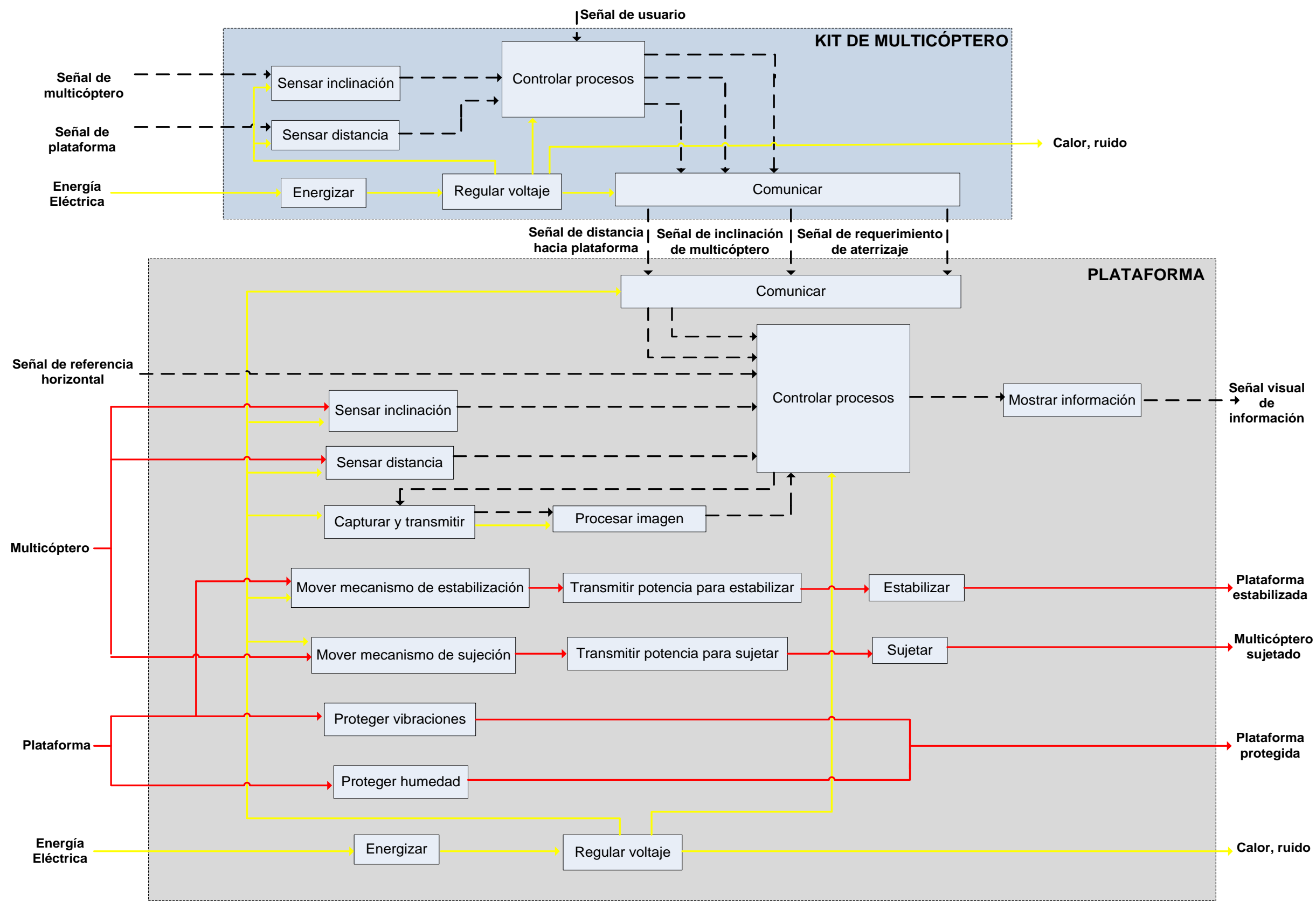
### A.1. Lista de exigencias

Tabla A.1. Lista de exigencias. Fuente: Elaboración propia.

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 1 / 2
			Edición:
<b>PROYECTO:</b>	PLATAFORMA AUTOMÁTICA DE ASISTENCIA AL ATERRIZAJE DE MULTICÓPTEROS EN EMBARCACIONES MARINAS		Fecha:30/06/18
			Revisado:
<b>CLIENTE:</b>	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Elaborado: 30/06/18
Fecha (cambios)	Deseo/ Exigencia	Descripción	Responsable
30/06/2018	E D	<b>Función Principal:</b> Proporcionar asistencia para un aterrizaje adecuado de multicópteros (drone, quadcopter, hexacopter) en embarcaciones marinas. Enviar información de aterrizaje, así como diversos parámetros del multicóptero (estado de batería, tipo de multicóptero).	ELB
30/06/2018	E	<b>Geometría:</b> Altura > 0.3 m. Ancho < 1.1 m. Largo < 1.1 m.	ELB
30/06/2018	E	<b>Cinemática:</b> Movimiento para estabilizar la plataforma Movimiento para la sujeción de los multicópteros Velocidad máxima de estabilización: 0.3m/s Velocidad máxima de sujeción: 0.5 m/s	ELB
30/06/2018	E	<b>Fuerzas:</b> El peso máximo que tendrá la plataforma es de aproximadamente 12kg, pues el peso de los multicópteros no sobrepasa los 4kg.	ELB
30/06/2018	E	<b>Energía:</b> La plataforma tendrá una autonomía de 3 horas.	ELB
30/06/2018	E D	<b>Control:</b> El sistema controlará los procesos de estabilización de la plataforma y de sujeción de los multicópteros. El sistema hará uso de la visión por computadora para determinar el tipo de multicóptero que va a aterrizar.	ELB
30/06/2018	E D	<b>Electrónica:</b> Contará con microcontrolador, sensores, cámara y actuadores para los procesos de sujeción y estabilización. Contará con aislamiento del circuito de control y de potencia. Tendrá la opción de parar el funcionamiento en caso de emergencia a través de una base remota.	ELB
30/06/2018	E E E	<b>Señales:</b> Entrada: Información de Usuario.  Salida: Envío de mensaje de aterrizaje finalizado. Envío de información de parámetros medidos (estado de batería, tipo del multicóptero).	ELB

LISTA DE EXIGENCIAS			Pág. 2 / 2
			Edición:
<b>PROYECTO:</b>	PLATAFORMA AUTOMÁTICA DE ASISTENCIA AL ATERRIZAJE DE MULTICÓPTEROS EN EMBARCACIONES MARINAS		Fecha: 30/06/18
			Revisado:
<b>CLIENTE:</b>	PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATÓLICA DEL PERÚ		Elaborado: 30/06/18
Fecha (cambios)	Deseo/ Exigencia	Descripción	Responsable
30/06/2018	E	<b>Comunicaciones:</b> Para la comunicación se empleará la comunicación inalámbrica entre el multicoptero y la plataforma automática y también con una estación remota.	ELB
30/06/2018	D E	<b>Seguridad:</b> Circuitos electrónicos y elementos mecánicos aislados del usuario con protección de Grado IP56. Apagado de emergencia.	ELB
30/06/2018	D	<b>Ergonomía:</b> Diseño estético.	ELB
30/06/2018	D	<b>Fabricación:</b> Se conseguirá piezas mecánicas y demás componentes electrónicos que estén en el mercado local.	ELB
30/06/2018	D	<b>Montaje:</b> El montaje y desmontaje será de la manera más sencilla posible con facilidad para acceder a componentes eléctricos y electrónicos.	ELB
19/04/2017	E	<b>Operación:</b> Sistema automático.	ELB
30/06/2018	D	<b>Mantenimiento:</b> Orientado a realizarse anualmente.	ELB
30/06/2018	E	<b>Transporte:</b> La plataforma podrá ser transportado en camiones o camionetas con facilidad.	ELB
30/06/2018	D	<b>Costos:</b> El costo del diseño y el de fabricación deberá oscilar entre los S/. 20,000 y 30,000.	ELB

A2. Estructura de Funciones General



### A.3 Dominios y su matriz morfológica

Tabla A.3.1 Matriz morfológica de dominio mecánico de la Plataforma.

Fuente: Elaboración propia.




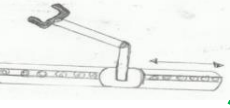


FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES		
MOVER MECANISMO DE ESTABILIZACIÓN	Motor a pasos 	Actuador lineal eléctrico 	Servomotor 
TRANSMITIR POTENCIA PARA ESTABILIZAR	Engranajes 	Faja con poleas 	Ninguno
ESTABILIZAR	Plataforma Stewart con Actuadores Lineal Eléctrico 5 gdl 	Plataforma robótica paralela 2 gdl 	Plataforma robótica paralela 6 gdl 
MOVER MECANISMO DE SUJECCIÓN	Motor DC con encoder 	Servomotor 	Motor a pasos 
TRANSMITIR POTENCIA PARA SUJETAR	Engranajes 	Faja con poleas 	Cadena de rodillos 
SUJETAR	Brazo robot sujetador de 3 gdl con corredera 	Brazo robot para soporte de patillas de 4 gdl 	Brazo robot sujetador de 5 gdl 
PROTEGER ANTE VIBRACIONES	Aluminio 	Plástico 	Acero 
PROTEGER ANTE HUMEDAD	Electric Shield 	H2off Electric 	Xanox Marine 

Tabla A.3.2 Matriz morfológica de dominio electrónico de la Plataforma.

Fuente: Elaboración propia.





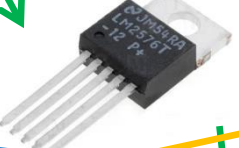
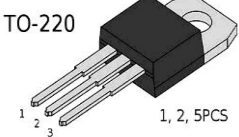









FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES		
ENERGIZAR	<p>Batería para embarcación marina</p> 	<p>Paneles solares</p> 	<p>Generador eléctrico</p> 
REGULAR VOLTAJE	<p>Acondicionador de voltaje DC</p> 	<p>Regulador conmutado</p> 	<p>Regulador lineal</p> <p>TO-220</p> 
COMUNICAR	<p>Módulo Xbee</p> 	<p>Módulo Wi-fi</p> 	<p>Modulo Bluetooth</p> 
CAPTURAR Y TRANSMITIR IMAGEN	<p>Cámara lineal con transmisor</p> 	<p>Cámara VGA con transmisor</p> 	<p>Webcam con transmisor</p> 
PROCESAR IMAGEN	<p>Módulo Arduino</p> 	<p>BeagleBone</p> 	<p>RaspBerry Pi</p> 

Tabla A.3.3 Matriz morfológica de dominio de control de la Plataforma.

Fuente: Elaboración propia.
















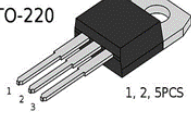













FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES		
CONTROLAR PROCESOS	Arduino 	PIC 	Tiva C 
SENSAR INCLINACIÓN	Sensor IMU 	Acelerómetro 	Giroscopio 
SENSAR DISTANCIA	Sensor ultrasónico 	Sensor infrarrojo 	Sensor capacitivo 
MOSTRAR INFORMACIÓN	Aplicación para teléfono 	Computador 	Pantalla LCD 

Tabla A.3.4 Matriz morfológica del Kit de multicoptero. Fuente: Elaboración propia.

FUNCIONES PARCIALES	PORTADORES DE FUNCIONES		
ENERGIZAR	Bateria LiPo 	Bateria NiCd 	Bateria NiMh 
REGULAR VOLTAJE	Regulador Lineal TO-220 	Regulador Conmutado 	Ninguno
COMUNICAR	Módulo Xbee 	Módulo WIFI 	Módulo Bluetooth 
SENSAR DISTANCIA	Sensor ultrasonido 	Sensor infrarrojo 	Sensor capacitivo 
SENSAR INCLINACIÓN	Sensor IMU 	Acelerómetro 	Giroscópio 
CONTROLAR PROCESOS	Arduino Nano 	PIC 	FPGA 



## A.4 Conceptos de solución

- Solución 1

Esta solución consiste, en la parte mecánica, en el uso de servomotores para los movimientos tanto de la estabilización de la plataforma como para el mecanismo de sujeción. En cuanto a la transmisión de potencia de los mecanismos de sujeción y estabilización se realizará por engranajes.

Para la estabilización se usará una plataforma robótica paralela de 2 grados de libertad [13]. Por otro lado, para la sujeción se usará dos brazos robot sujetador de 3 grados de libertad junto a una corredera para sujetar al multicoptero. El material a emplear en la plataforma para proteger ante las vibraciones será el plástico y finalmente para su protección contra la humedad se usará el producto Electric Shield. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.1 con la secuencia de flechas verdes.

En cuanto a la parte electrónica, se alimentará a los componentes electrónicos y mecánicos con energía eléctrica DC de la batería de una embarcación marina. Para regular el voltaje para cada uno de los componentes como sensores, actuadores, cámaras, microcontroladores se usará reguladores de voltaje conmutado. Para la comunicación se empleará el módulo WIFI, para capturar y transmitir la imagen que va a ser procesada por visión se empleará cámaras web con transmisor. En cuanto al procesamiento de imágenes se empleará una mini computadora RaspBerryPi. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.2 con la secuencia de flechas verdes.

Respecto a la parte de control, para poder controlar los procesos se empleará la plataforma Arduino, en cuanto a la visión por computadora para poder procesar las imágenes en la programación se empleará la librería Open CV. Para el sensado de la inclinación de la plataforma se empleará un sensor IMU, se usará lo mismo para sensar la inclinación en el kit del multicoptero. En el caso del sensado de la distancia del multicoptero se usará sensores de ultrasonido situados tanto en la plataforma como en el kit del multicoptero. Finalmente, para el envío de la información del estado del multicoptero se realizará hacia un computador. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.3 con la secuencia de flechas verdes.

Este primer concepto de solución se aprecia en un bosquejo en la Figura A.4.1.



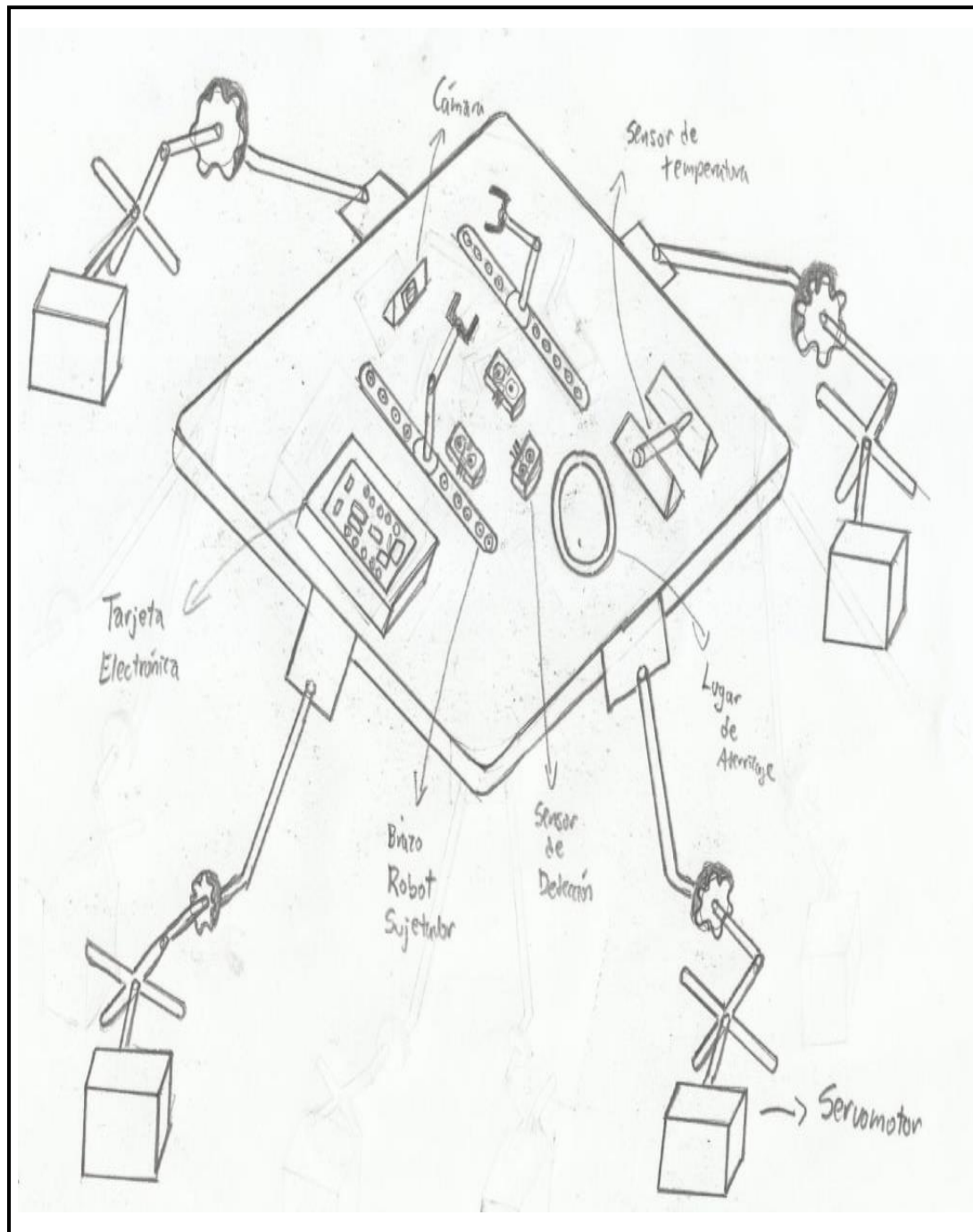


Figura A.4.1 Bosquejo del concepto de solución 1. Fuente: Elaboración propia.

- Solución 2

La mencionada solución consiste, en la parte mecánica, en el uso de actuadores lineales eléctricos para el movimiento de los actuadores de estabilización en la plataforma y de sujeción del drone. Se empleará una plataforma Stewart de 5 grados de libertad [14], para el caso de la sujeción se empleará servomotores para los desplazamientos. Para la transmisión de potencia se empleará engranajes y para sujetar se usará un brazo robot con soporte para patillas del multicoptero de 4 grados de libertad. En cuanto a la protección frente a vibraciones se utilizará como material de la plataforma el acero, por último, para la protección contra la humedad se empleará el producto H2Off Electric. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.1 con la secuencia de flechas naranjas.

En cuanto a la parte electrónica, se usará paneles solares para aprovechar la energía solar y convertirla en energía eléctrica DC. Para poder regular el voltaje de alimentación para los componentes electrónicos se usará reguladores de voltaje lineales. Para la comunicación entre los componentes y el multicoptero se empleará el módulo Xbee, para la captura y transmisión de las imágenes que serán procesadas por visión se utilizarán cámaras VGA con transmisor. En cuanto al procesamiento de imágenes se opta por usar el Arduino. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.2 con la secuencia de flechas naranjas.

Con respecto a la parte de control, para controlar los procesos se usará un PIC, para el sensado de la inclinación tanto de la plataforma como del kit del multicoptero se empleará un giroscopio. En el caso del sensado de la distancia del multicoptero se usará sensores capacitivos situados tanto en la plataforma como en el kit del multicoptero. Finalmente, para el envío de la información del estado del multicoptero se realizará hacia un dispositivo móvil mediante una aplicación. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.3 con la secuencia de flechas naranjas.

El presente concepto de solución se aprecia en un bosquejo en la Figura A.4.2.

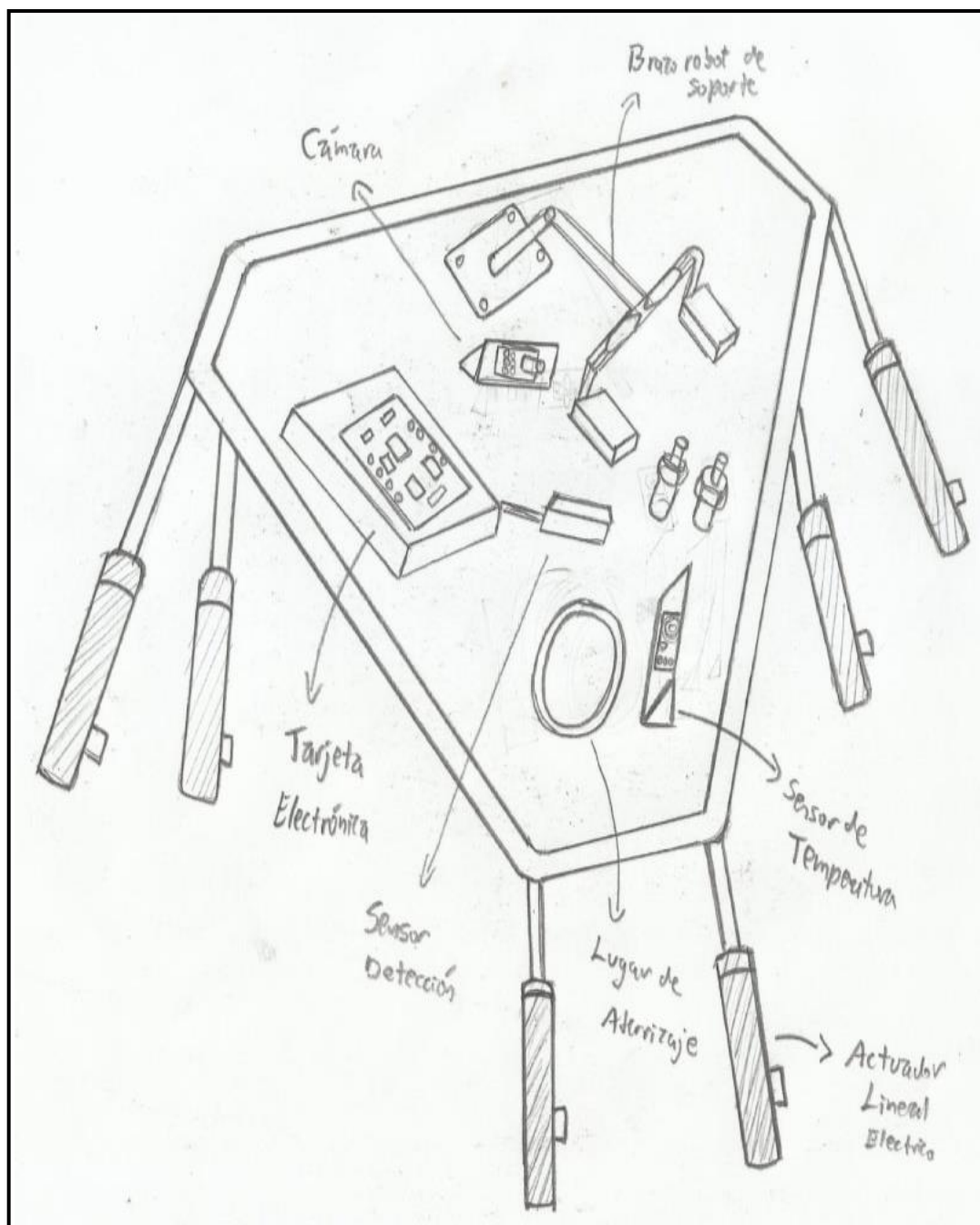


Figura A.4.2 Bosquejo del concepto de solución 2. Fuente: Elaboración propia

- Solución 3

La presente solución consiste, en la parte mecánica, en el movimiento de los actuadores para los mecanismos de estabilización y sujeción se empleará motores a paso. Para la transmisión de potencia de la estabilización se usará engranajes, Respecto a la estabilización se usará una plataforma robótica paralela de 6 grados de libertad. En cuanto a la transmisión de potencia de la sujeción se empleará la transmisión por faja síncrona. Para el caso de la sujeción se utilizará dos brazos robot sujetador de 5 grados de libertad. Para la protección frente a vibraciones, el material de la plataforma a usar sería el aluminio y para la protección contra la humedad se empleará el producto Xanox Marine. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.1 con la secuencia de flechas azules.

En cuanto a la parte electrónica, para la alimentación se utilizará la batería que cuente la embarcación marina. Para regular el voltaje de alimentación hacia los demás componentes se empleará acondicionadores de voltaje DC. En cuanto a la comunicación se empleará el módulo WIFI, para la transmisión de las imágenes a procesar se realizará por medio de una cámara lineal con transmisor. Para realizar el procesamiento de imágenes se empleará el sistema embebido BeagleBone. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.2 con la secuencia de flechas azules.

Con respecto a la parte de control, para poder controlar los procesos se usará un microcontrolador Tiva C. Para el sensado de la inclinación tanto de la plataforma como del kit del multicoptero se usará un acelerómetro. En cuanto al sensado de la distancia del multicoptero se usará sensores infrarrojos situados tanto en la plataforma como en el kit del multicoptero. Finalmente, para el envío de la información del estado del multicoptero se realizará hacia una pantalla LCD. La representación gráfica se muestra en la Tabla A.3.3 con la secuencia de flechas azules.

Este concepto de solución se aprecia en un bosquejo en la Figura A.4.3

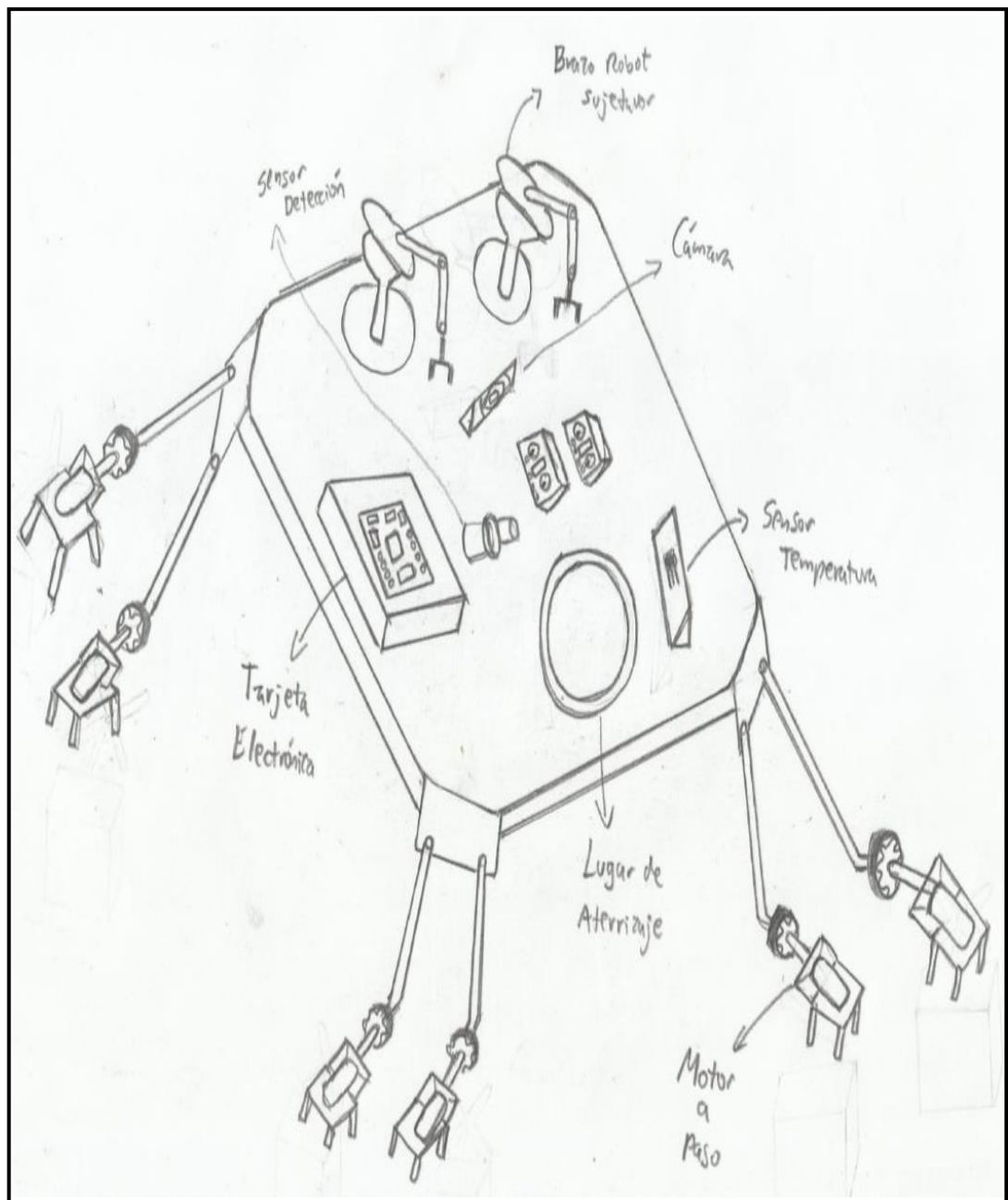


Figura A.4.3 Bosquejo del concepto de solución 3. Fuente: Elaboración propia.

## A.5. Evaluación técnico-económica

Tabla A.5.1 Evaluación técnica del proyecto. Fuente: Elaboración propia.





Criterios técnicos					
Escala de Valores (puntaje entre 0-3)					
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Excelente					
N°	Criterios Técnicos	Soluciones			
		1 	2 	3 	IDEAL
1	Función	3	2	2	4
2	Requerimientos	3	3	2	4
3	Rapidez de trabajo	2	2	2	4
4	Forma	3	2	3	4
5	Diseño	3	2	3	4
6	Seguridad	3	2	2	4
7	Ergonomía	2	3	2	4
8	Complejidad de fabricación	2	1	2	4
9	Facilidad de montaje	3	1	2	4
10	Buen uso de energía	3	3	3	4
11	Estabilidad	3	2	3	4
12	Transporte	2	2	2	4
	Suma Total	<b>32</b>	<b>25</b>	<b>28</b>	48
	Porcentaje	<b>66.67%</b>	<b>52.08%</b>	<b>58.33%</b>	100%

Tabla A.5.2 Evaluación económica del proyecto. Fuente: Elaboración propia

Criterios económicos					
Escala de Valores (puntaje entre 0-3)					
0 = No satisface, 1 = Aceptable, 2 = Suficiente, 3 = Excelente					
N°	Criterios Económicos	Soluciones			
		1 	2 	3 	IDEAL
1	Coste de material	3	2	2	4
2	Costo de tecnología	3	2	2	4
3	Costo de fabricación	2	1	1	4
4	Fácil adquisición de materiales de fabricación	2	2	2	4
5	Cantidad de piezas	3	1	3	4
	Suma Total	<b>13</b>	<b>8</b>	<b>10</b>	20
	Porcentaje	<b>65%</b>	<b>40%</b>	<b>50%</b>	100%

## A.6. Cálculos electrónicos

Tabla A.6.1 Cálculo de nº de pines analógicos, digitales y PWM del controlador de la plataforma. Fuente: Elaboración propia

Componente	Cantidad	Nº pines analógicos	Nº pines digitales	Nº pines PWM
Sensor IMU LSM9DS0	1	1	3	0
Sensor Ultrasónico HC-SR04	2	1	2	0
Módulo de Comunicación Wifi	1	1	2	0
Raspberry Pi3	1	0	2	0
Servomotor MCDBS	8	0	0	1
Batería FL121500	1	2	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>6</b>	<b>11</b>	<b>8</b>

### Cálculo de consumo de corriente

- Control en Plataforma

Tabla A.6.2 Consumo de componentes en el control de la plataforma. Fuente: Elaboración propia

Control en Plataforma		
Componente	Cantidad	Consumo / unidad (A)
Sensor IMU LSM9DS0	1	0.0061
Sensor HC-SR04	2	0.015
<b>Total</b>		<b>0.0361</b>

Como se observa en la Tabla A.6.2 no se coloca la cámara web C170, el RaspBerry Pi3 y el módulo de comunicación WIFI Esp8266 (pues son alimentados por los reguladores que se detallan en la siguiente tabla). Por lo tanto:

Corriente Total en Control = 0.0361 A.

- Potencia en Plataforma

Tabla A.6.3 Consumo de componentes de la potencia de la plataforma.

Fuente: Elaboración propia

Potencia en Plataforma		
Componente	Cantidad	Consumo / unidad (A)
Regulador 5V LM2576-HV	1	3
Regulador 3.3V LM2576-HV	1	3
Convertidor DC-DC Boost MCDBS	1	35
<b>Total</b>		<b>41</b>

Como se observa en la Tabla A.6.3 no se coloca el consumo de los servomotores pues estos son alimentados por el convertidor DC-DC Boost MCDBS.



Por lo tanto:

Corriente Total en Potencia = 41 A, luego

Corriente Total en Plataforma = 41.0361 A

En el caso de la plataforma se requiere de una batería de 12 V y de 150 Ah por lo que se obtiene una autonomía de 3.65 horas cumpliendo con los requerimientos de la lista de exigencias.

Tabla A.6.4 Cálculo de n° de pines analógicos, digitales y PWM del controlador del Kit de multicoptero. Fuente: Elaboración propia.

Componente	Cantidad	N° pines analógicos	N° pines digitales	N° pines PWM
Sensor IMU LSM9DS0	1	1	3	0
Sensor Ultrasónico HC-SR04	2	1	2	0
Módulo de Comunicación Wifi	1	1	2	0
Batería	1	2	0	0
<b>TOTAL</b>		<b>6</b>	<b>9</b>	<b>0</b>

- Control en Kit del multicoptero

Tabla A.6.5 Consumo de componentes en Control del Kit del multicoptero. Fuente: Elaboración propia

Control en Kit		
Componente	Cantidad	Consumo / unidad (A)
Sensor IMU LSM9DS0	1	0.0061
Sensor HC-SR04	2	0.015
<b>Total</b>		<b>0.0361</b>

Como se observa en la Tabla A.6.5 no se considera el módulo de comunicación Wifi Esp8266 pues se alimenta del regulador asociado a este que se detalla en la siguiente tabla. Por lo tanto:

Corriente Total en Control = 0.0361 A

- Potencia en kit de multicoptero

Tabla A 4.6 Consumo de componentes de potencia del Kit,

Potencia en Kit		
Componente	Cantidad	Consumo / unidad (A)
Regulador 3.3v LM2576-HV	1	3
<b>Total</b>		<b>3</b>

Según la tabla A.6.6

Corriente Total en Potencia = 3 A, luego

Corriente Total en Kit = 3.0361 A.

En el caso del Kit se escoge una batería LiPo de 12v y de 10 Ah para llegar a tener una autonomía de 3.29 horas.

#### Cálculo del Regulador de voltaje a 3.3 V (Módulo Comunicación Wi-fi)

En la figura A.6.1 se muestra el circuito electrónico del regulador de voltaje de 3.3V.

Corriente: 80 mA.

Voltaje de salida: 3.3 V.

Inductor:

Del datasheet del integrado LM2576HV-12, se obtiene el valor recomendado del inductor.

$L (L1) = 680 \mu\text{H} @ 1\text{A}$ .

Condensador:

$C_{in} (C2) = 100 \mu\text{F}$  (por recomendación del fabricante).

$C_{out} (C3) \geq 7.785 \times \frac{V_{in}}{V_{out} \times L} = 7.785 \times \frac{12}{3.3 \times 680} = 0.042 \mu\text{F}$

$C_{out} = 47 \text{ nF}$ .

Diodo (D1):

$I_{\text{diodo}} = 1.25 \times I_{\text{load-max}} = 1.25 \times 0.08 = 0.1 \text{ A}$ .

Se escoge el Diodo Shottky 1 A.

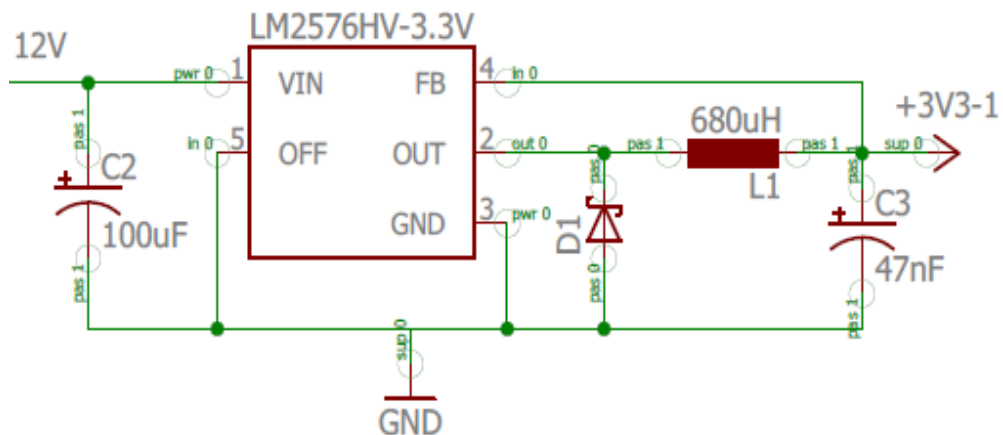


Figura A.6.1 Circuito del regulador de 3.3V. Fuente: Elaboración propia.

#### Cálculo del Regulador de voltaje a 5V (Sistema Embebido RaspBerryPi3)

En la figura A.6.2 se muestra el circuito electrónico del regulador de voltaje de 5V.

Corriente: 1 A.

Voltaje de salida: 5 V.

Inductor:

Del datasheet del integrado LM2576HV-12, se obtiene el valor recomendado del inductor.

$L (L2) = 150 \mu\text{H} @ 2\text{A}$ .

Condensador:

$C_{in} (C4) = 100 \mu\text{F}$  (por recomendación del fabricante).

$$C_{out} (C5) \geq 7.785 \times \frac{V_{in}}{V_{out} \times L} = 7.785 \times \frac{12}{5 \times 150} = 0.124 \mu F$$

$C_{out} = 0.15 \mu F$

Diodo (D2):

$$I_{diodo} = 1.25 \times I_{load-max} = 1.25 \times 1 = 1.25 A.$$

Se escoge el Diodo Shottky 2 A.

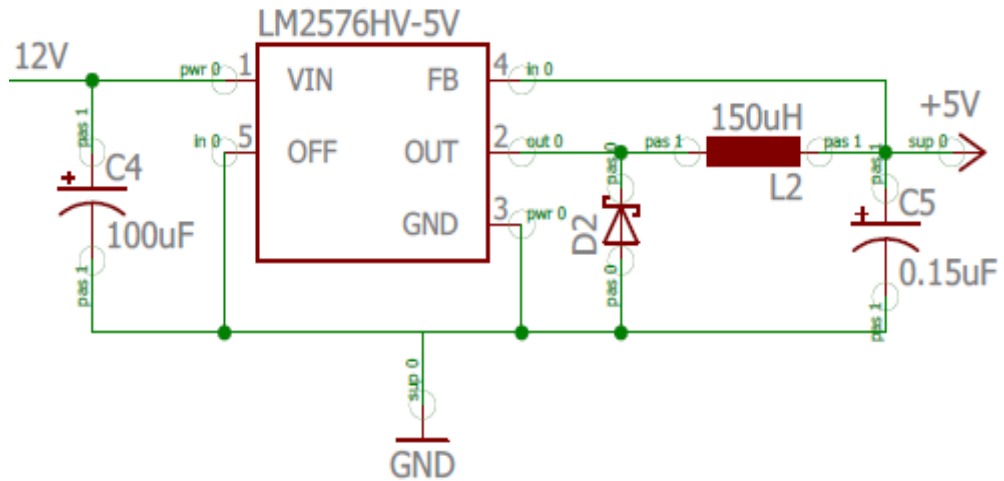


Figura A.6.2 Circuito del regulador de 5V. Fuente: Elaboración propia.

## A.7. Cálculos mecánicos adicionales

### Cálculo de radio del pin de unión de eslabones

En la figura A.7.1 se muestra el DCL del pin que une al par de eslabones.

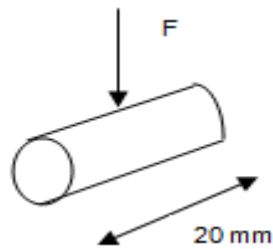


Figura A.7.1 DCL del pin de unión de eslabones. Fuente: Elaboración propia

Se realiza los diagramas de fuerza cortante y de momento flector en las figuras A.7.2 y A.7.3

DFC

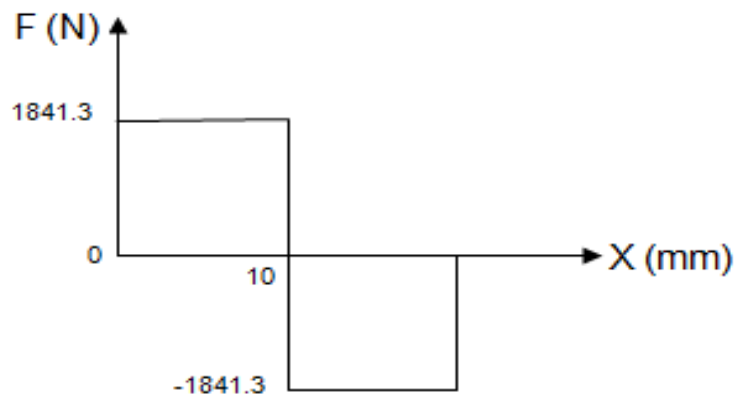


Figura A.7.2 Diagrama de Fuerza Cortante a lo largo del pin. Fuente: Elaboración propia

DMF

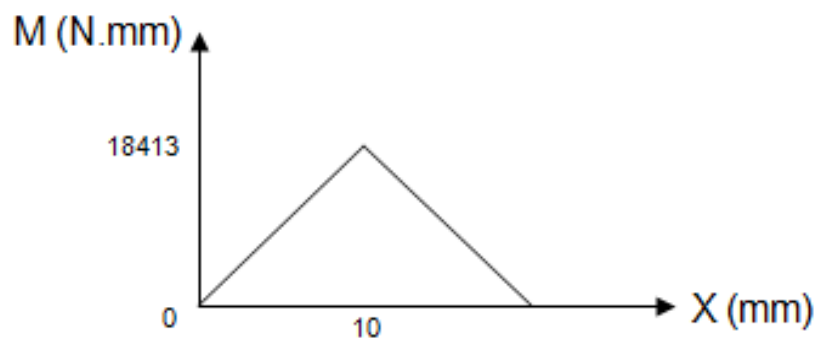


Figura A.7.3 Diagrama de Momento Flector a lo largo del pin. Fuente: Elaboración propia

Donde el momento flector  $M_y = 18413 \text{ Nmm}$  y  $F = 1841.3 \text{ N}$

$$\sigma_{\text{Flex}} = \frac{M_y \cdot z}{I_y}$$

$$\sigma_{\text{Flex}} = \frac{M_y}{\frac{\pi}{4} \cdot r^3}$$

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot r^2}$$

Luego aplicando la Teoría de máxima energía de distorsión de Von Mises:

$$\sigma_{eq} = \sqrt{(\sigma_{Flex})^2 + 3(\tau)^2}$$

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{eq} \leq \frac{\sigma_B}{FS}$$

Considerando  $\sigma_B = 310 \text{ MPa}$  y tomando un  $FS = 2$ , hallamos el radio mínimo.

$$\sqrt{\left(\frac{M_y}{\frac{\pi}{4} \cdot r^3}\right)^2 + 3\left(\frac{F}{\pi \cdot r^2}\right)^2} \leq \frac{\sigma_B}{FS}$$

$r_{min} = 5.37 \text{ mm}$ , entonces usamos  $r = 6 \text{ mm}$

#### Cálculo de Resistencia de la Base Superior (Base móvil)

Realizando el DCL de la base superior en la posición crítica con las fuerzas halladas anteriormente que se muestra en la figura A.7.4

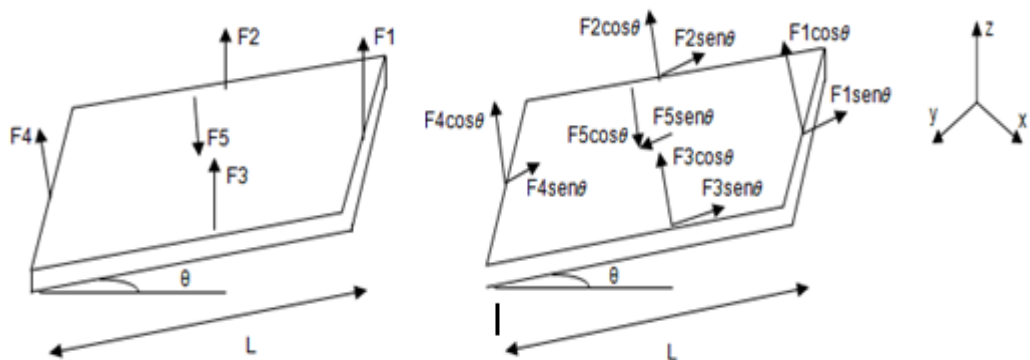


Figura A.7.4 DCL de la base superior en la posición crítica. Fuente: Elaboración propia

Con los datos hallados:

$$L = 700 \text{ mm}, \theta = 33^\circ, F_1 = F_4 = 1841.3 \text{ N}, F_2 = F_3 = 3682.6 \text{ N}, F_5 = 11047.8 \text{ N}$$

Realizando los diagramas de Fuerza cortante y Momento Flector de la base superior mostrados en la figuras A.7.5 y A.7.6

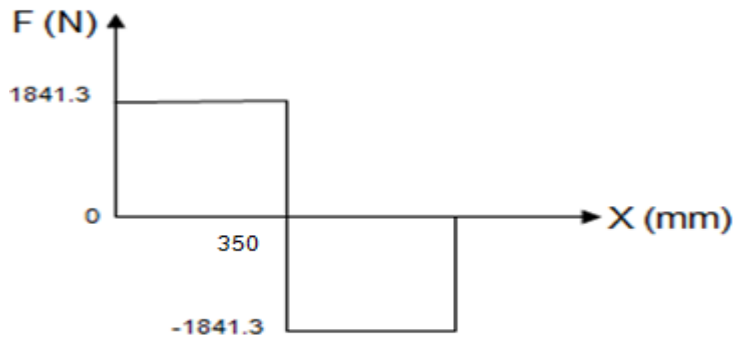


Figura A.7.5 Diagrama de Fuerza cortante de la base superior. Fuente Elaboración propia.

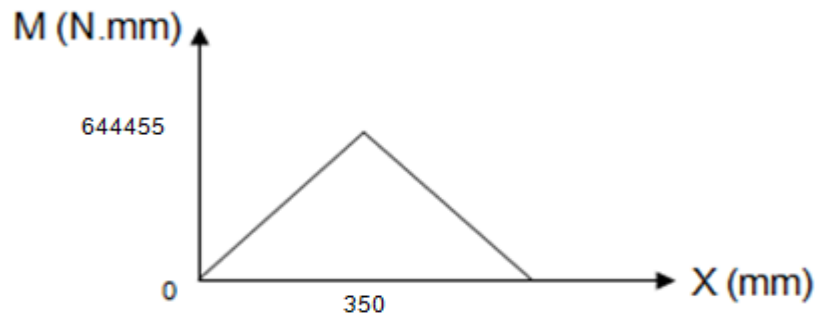


Figura A.7.6 Diagrama de Momento Flector de la base superior. Fuente: Elaboración propia

Donde el momento flector  $M_y = 644455 \text{ Nmm}$ ,  $I_y = 58333.3 \text{ mm}^4$ ,  $z = 5 \text{ mm}$

$$\sigma_{\text{Flex}} = \frac{M_y \cdot z}{I_y}$$

$$\sigma_{\text{Flex}} = 55.24 \text{ MPa}$$

Para el esfuerzo cortante  $F = 1841.3 \text{ N}$ ,  $A = 700 \text{ mm}^2$

$$\tau = \frac{F}{A}$$

Luego aplicando la Teoría de máxima energía de distorsión de Von Mises:

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{(\sigma_{\text{Flex}})^2 + 3(\tau)^2}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = 55.42 \text{ MPa}$$

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{\text{eq}} \leq \frac{\sigma_B}{\text{FS}}$$

Considerando  $\sigma_B = 310 \text{ MPa}$  y el esfuerzo equivalente  $\sigma_{\text{eq}}$ , hallamos el factor de seguridad FS.

$$\text{F.S} = 5.59$$

Lo cual satisface a las dimensiones y cargas sometidas.

#### Cálculo de Resistencia del mecanismo de sujeción

Realizando el DCL del mecanismo de sujeción en el plano YZ en la posición crítica mostrado en la figura A.7.7

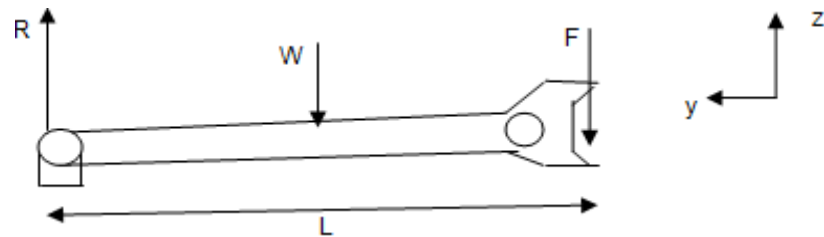


Figura A.7.7 DCL del mecanismo de sujeción. Fuente: Elaboración propia

Con los datos:  $R = 41.65 \text{ N}$ ,  $W = 2.45 \text{ N}$ ,  $F = 39.2 \text{ N}$ ,  $L = 270 \text{ mm}$

Realizamos el Diagrama de Fuerza Cortante y de momento flector que se aprecia en la figuras A.7.8 y A.7.9

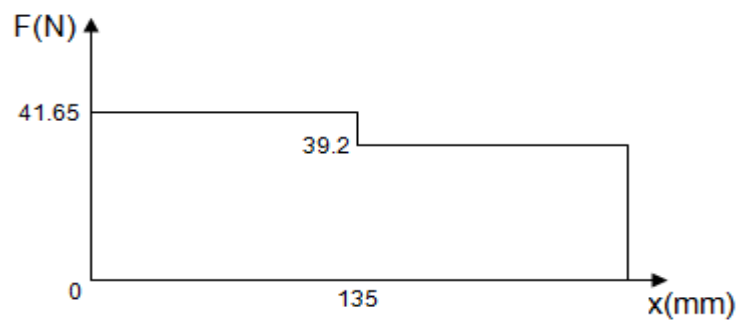


Figura A.7.8 Diagrama de Fuerza Cortante del mecanismo de sujeción.

Fuente: Elaboración propia

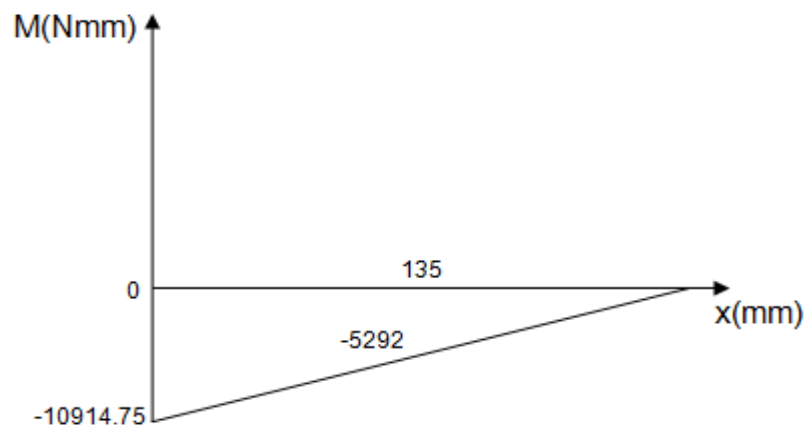


Figura A.7.9 Diagrama de Momento Flector del mecanismo de sujeción.

Fuente: Elaboración propia



De los diagramas nos damos cuenta que la sección crítica en cuanto a la flexión y al esfuerzo cortante es al inicio.

Por lo tanto

$$M_x = 10914.75 \text{ Nmm}, r = 6.25 \text{ mm}$$

$$\sigma_{\text{Flex}} = \frac{M_x}{\frac{\pi}{4} r^3}$$

$$\sigma_{\text{Flex}} = 56.92 \text{ MPa}$$

Para el esfuerzo cortante  $F = 41.65 \text{ N}$ ,  $r = 6.25 \text{ mm}$

$$\tau = \frac{F}{\pi \cdot r^2}$$

Luego aplicando la Teoría de máxima energía de distorsión de Von Mises:

$$\sigma_{\text{eq}} = \sqrt{(\sigma_{\text{Flex}})^2 + 3(\tau)^2}$$

$$\sigma_{\text{eq}} = 56.923 \text{ MPa}$$

Se debe cumplir que:

$$\sigma_{\text{eq}} \leq \frac{\sigma_B}{FS}$$

Considerando  $\sigma_B = 310 \text{ MPa}$  y el esfuerzo equivalente  $\sigma_{\text{eq}}$ , hallamos el factor de seguridad FS.

$$F.S = 5.44$$

Lo cual satisface a las dimensiones y cargas sometidas.

#### Cálculo de Ajuste Eje-Agujero

a) Ajuste Acople-Eslabón de estabilización(1)

El ajuste es 4.5 G7/h7

Se calcula las cotas máximas y mínimas del eje y agujero según la norma DIN ISO 286.

$$C_{MA} = 4.516 \text{ mm}, C_{mA} = 4.504 \text{ mm}, C_{Me} = 4.490 \text{ mm}, C_{me} = 4.478 \text{ mm}$$

Puesto que las cotas de los agujeros son mayores que las del eje existe un ajuste de Juego.

Se calcula el Juego máximo y mínimo:

$$J_M = 38 \mu\text{m}, J_m = 14 \mu\text{m}$$

b) Ajuste Eslabón de estabilización (1)-Eje unión (1), Eslabón de estabilización (2)-Eje unión (1), Eslabón de estabilización (2)-Eje unión (2)

El ajuste es 13.5 F8/e7

Se calcula las cotas máximas y mínimas del eje y agujero según la norma DIN ISO 286.

$$C_{MA} = 13.543 \text{ mm}, C_{mA} = 13.516 \text{ mm}, C_{Me} = 13.468 \text{ mm}, C_{me} = 13.456 \text{ mm}$$

Puesto que las cotas de los agujeros son mayores que las del eje existe un ajuste de Juego.

Se calcula el Juego máximo y mínimo:

$$J_M = 87\mu\text{m}, J_m = 48\mu\text{m}$$

c) Ajuste Eslabón de estabilización (3)-Eje unión (2)

El ajuste es 13.5 G6/e7

Se calcula las cotas máximas y mínimas del eje y agujero según la norma DIN ISO 286.

$$C_{MA} = 13.517 \text{ mm}, C_{mA} = 13.506 \text{ mm}, C_{Me} = 13.468 \text{ mm}, C_{me} = 13.456 \text{ mm}$$

Puesto que las cotas de los agujeros son mayores que las del eje existe un ajuste de Juego.

Se calcula el Juego máximo y mínimo:

$$J_M = 61\mu\text{m}, J_m = 38\mu\text{m}.$$

## A.8 Cotización de Materiales

### 1. RaspBerry Pi3



Raspberry Pi 3 Model B+,  
Ethernet Max 300mbps,  
Case Y Fuente

S/ 215

12 cuotas de S/ 17<sup>92</sup>



Más información sobre Mercado Pago

Entrega a acordar con el vendedor

Arequipa

Consultar costos

¡Último disponible!

Comprar

Compra Protegida, recibe el producto que esperas o te devolvemos tu dinero.

### 2. Arduino Mega 2560



Arduino Mega 2560 Rev3  
Original

S/ 187

12 cuotas de S/ 15<sup>88</sup>



Más información sobre Mercado Pago

Entrega a acordar con el vendedor

Lima

Ver costos de envío

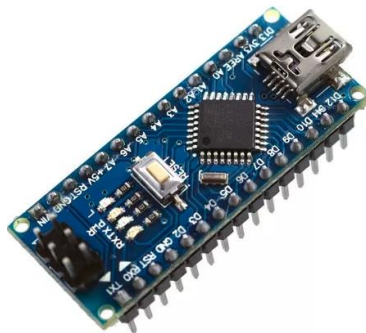
Cantidad:

1

Comprar

Compra Protegida, recibe el producto que esperas o te devolvemos tu dinero.

### 3. Arduino Nano



Arduino Nano V3.0 Con  
Atmega328.

S/ 20

12 cuotas de S/ 1<sup>67</sup>



Más información sobre Mercado Pago

Entrega a acordar con el vendedor

Piura

Ver costos de envío

Cantidad:

1

Comprar

Compra Protegida, recibe el producto que esperas o te devolvemos tu dinero.

### 4. Sensor IMU LSM9DS0



Adafruit LSM9DS0 9DOF  $\pm 2000^\circ/\text{sec}$   $\pm 16\text{g}$  IMU

Product Code : RB-Ada-175 by Adafruit Industries

★★★★★ (1) [Add my review](#)

✓ In stock

- All-in-one 9-DOF sensor breakout board
- Add motion, direction and orientation sensing
- Interfaces: I2C, SPI
- Comes fully assembled and tested

Regular Price:  
USD \$24.95  
**Special Price:**  
USD \$17.47

## 5. Sensor Ultrasonido HC-SR04



Sensor Ultrasonico Hc-sr04, Arduino, Pic, Avr, Stm32, Robot

S/ 20

12 cuotas de S/ 1<sup>67</sup>



Más información sobre Mercado Pago

Entrega a acordar con el vendedor

Lima

Ver costos de envío

Cantidad:

1

Comprar

## 6. Módulo Wifi Esp8266



Esp8266 Uart Wifi Arduino

S/ 35

12 cuotas de S/ 2<sup>92</sup>



Más información sobre Mercado Pago

Entrega a acordar con el vendedor

Lima

Ver costos de envío

¡Único disponible!

Comprar

Compra Protegida, recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

## 7. Batería LF 121500

FL-121500 BATERIA 12V 150AH DIMENSIONES L.484 AN.170 AL.240



\$ 306.47

Fabricante: **NETION**

Código de Producto: FL-121500

Disponibilidad: En Stock

## 8. Batería LiPo DBT

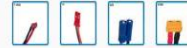


Dbt 25C 11.1 V 10000 mah de la batería Lipo RC Lipo Li poly batería para RC helicóptero Octocopter del barco del coche

[Ver nombre original del producto en inglés](#)

Precio: **US \$72.99** / unidad

Color:



Este artículo ya no está disponible :(

[Click to view more Piezas y accesorios products](#)

You can: [Añadir a mi Lista de Deseos](#)

Política de devoluciones [Se aceptan devoluciones si el producto es muy distinto de su descripción. El comprador puede devolver el producto \(haciéndose cargo de los gastos de envío de vuelta\) o quedarse con el producto y acordar con el vendedor la devolución del dinero. Ver detalles](#)

## 9. Convertidor DC DC RC122430

**RCNUN<sup>®</sup>** DC-DC Converters



12 V a 24 V 30A 720 W Step-up convertidor DC 12 V-24 V 25A boost DC-DC voltaje para los coches camiones

[Ver nombre original del producto en inglés](#)

★★★★★ 4.8 (4 votos) 13 vendidos

Precio: **US \$30.03**

[Precio al por mayor;](#)

Color:



## 10. Cámara Web C170



**Camara Web Logitech  
Webcam C170 De 5  
Megapixeles**

**S/ 68<sup>99</sup>**

[12 cuotas de S/ 57<sup>5</sup>](#)



[Más información sobre Mercado Pago](#)

[Entrega a acordar con el vendedor](#)

Lima

[Consultar costos](#)

Cantidad:

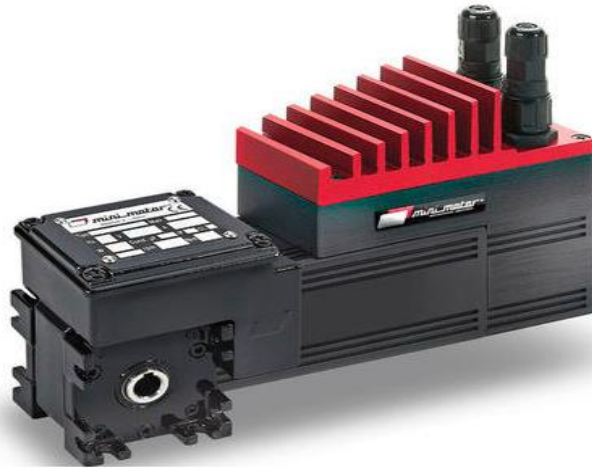
1

**Comprar**

[Compra Protegida](#), recibe el producto que esperabas o te devolvemos tu dinero.

## 11. Servomotor MCDBS

SERVOMOTOR DC / SIN ESCOBILLAS / 24 V  
MCDBS



Precio: **US \$336.96** / unidad

## 12. Piezas fabricadas de plástico



Maple Plain, Minnessota D.C, 25 de junio del 2018.

Señor: Erick Lara

**COTIZACIÓN No. 1589**

En atención a su solicitud le presentamos nuestra cotización:

Item	Cantidad	Descripción	Valor Unitario (USD)	Valor Total
1	4	Canal Deslizante.	35.23	140.92
2	8	Canal Guía.	31.42	251.36
3	4	Eslabón de Estabilización-1.	32.22	128.88
4	8	Eslabón de Estabilización-2.	27.14	217.12
5	8	Eslabón de Estabilización-3.	27.58	220.64
6	1	Kit de Multicóptero.	22.88	22.88
7	2	Soporte-1.	25.75	51.5
8	2	Soporte-2.	25.77	51.54
9	1	Soporte Cámara Web.	50.13	50.13
10	2	Sujetador.	30.88	61.76
11	1	Base Superior.	110.64	110.64
12	1	Base Inferior.	144.22	144.22
13	2	Eslabón de Sujeción.	28.75	57.5
14	4	Eslabón de Unión-1.	31.55	126.2
15	4	Eslabón de Unión-2.	28.35	113.4
16	4	Placa de Unión.	18.79	75.16
17	1	Estructura de Tarjeta Electrónica.	17.61	17.61
TOTAL				<b>1,841.46</b>

**VIGENCIA:** 30 días.

En espera que nuestra cotización sea de su satisfacción y poder realizar sus pedidos.

Cordialmente,

Mark Rodríguez | Departamento de Ventas



## A.9. Lista de Planos

Tabla.A.9. Lista de Planos. Fuente: Elaboración propia

Planos Mecánicos		
Número	Sobre	Nombre
A0-L1	1	Sistema Plataforma Automática
A2-L2	2	Subensamble de estabilización
A3-L3	3	Subensamble de sujeción
A4-L4	4	Tarjeta electrónica
A4-L5	5	Soporte Webcam
A4-L6	6	Kit de multicoptero
A3-L2.1	7	Base superior
A3-L2.2	8	Base inferior
A4-L2.3	9	Placa de unión
A4-L2.4	10	Canal guía
A4-L2.5	11	Eslabón de estabilización-1
A4-L2.6	12	Eslabón de unión-1
A4-L2.7	13	Eslabón de estabilización-2
A4-L2.8	14	Eslabón de unión-2
A4-L2.9	15	Eslabón de estabilización-3
A4-L2.10	16	Canal deslizante
A4-L3.1	17	Ensamble Servomotor
A4-L3.2	18	Base Servomotor
A4-L3.3	19	Eje Servomotor
A4-L3.4	20	Chaveta Paralela 5 x 4
A4-L3.5	21	Soporte-1
A4-L3.6	22	Soporte-2
A4-L3.7	23	Eslabón de Sujeción
A4-L3.8	24	Sujetador
Planos Electrónicos		
EE1-A3	25	Diagrama esquemático-Plataforma Automática
EE2-A4	26	Diagrama esquemático-Kit de multicoptero