

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE PLATAFORMA ROBÓTICA ZOOMÓRFICA TELEOPERADA DE SEIS EXTREMIDADES CON DIECIOCHO GRADOS DE LIBERTAD PARA LA EXPLORACIÓN O INSPECCIÓN DE TERRENOS NO ESTRUCTURADOS

- GARCÉS MONTAÑO ALEX GUSTAVO
- VALLEJO ARÁUZ DANIEL ANDRÉS

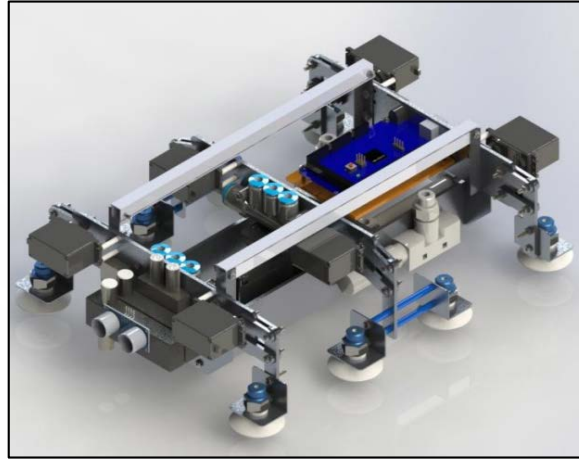
TUTOR: ING. DAVID LOZA MATOVELLE, MSC.

Antecedentes:



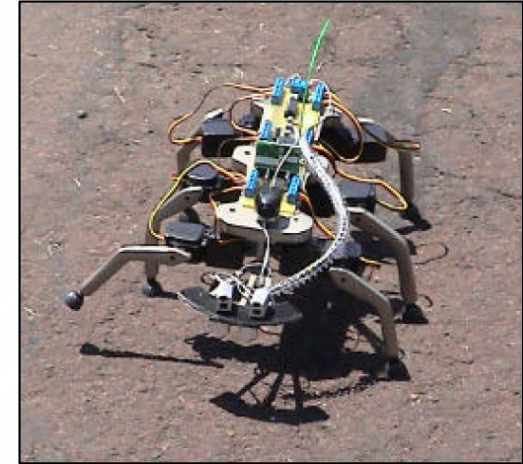
Diseño y Construcción de una plataforma robótica zoomórfica de cuatro extremidades con doce grados de libertad.

Realizado por:
Benalcázar Redrobán & Noboa Encalada
(2017)



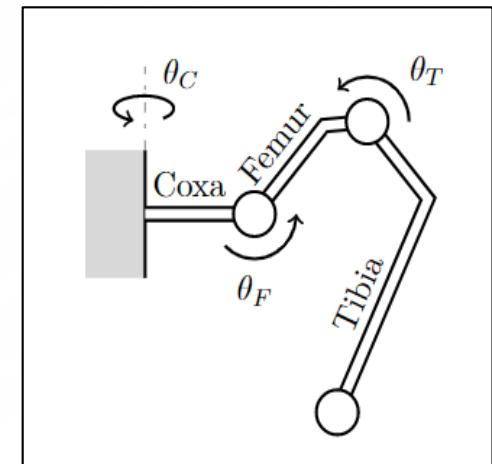
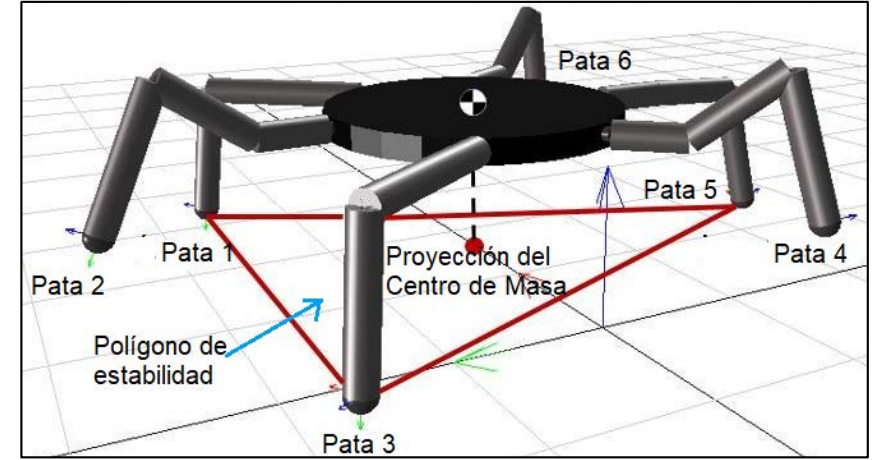
Diseño y construcción de un prototipo de robot electro-neumático escalador para exploración de superficies verticales lisas.

Realizado por:
Salazar Guilcamaigua & Viteri Gaibor
(2015)



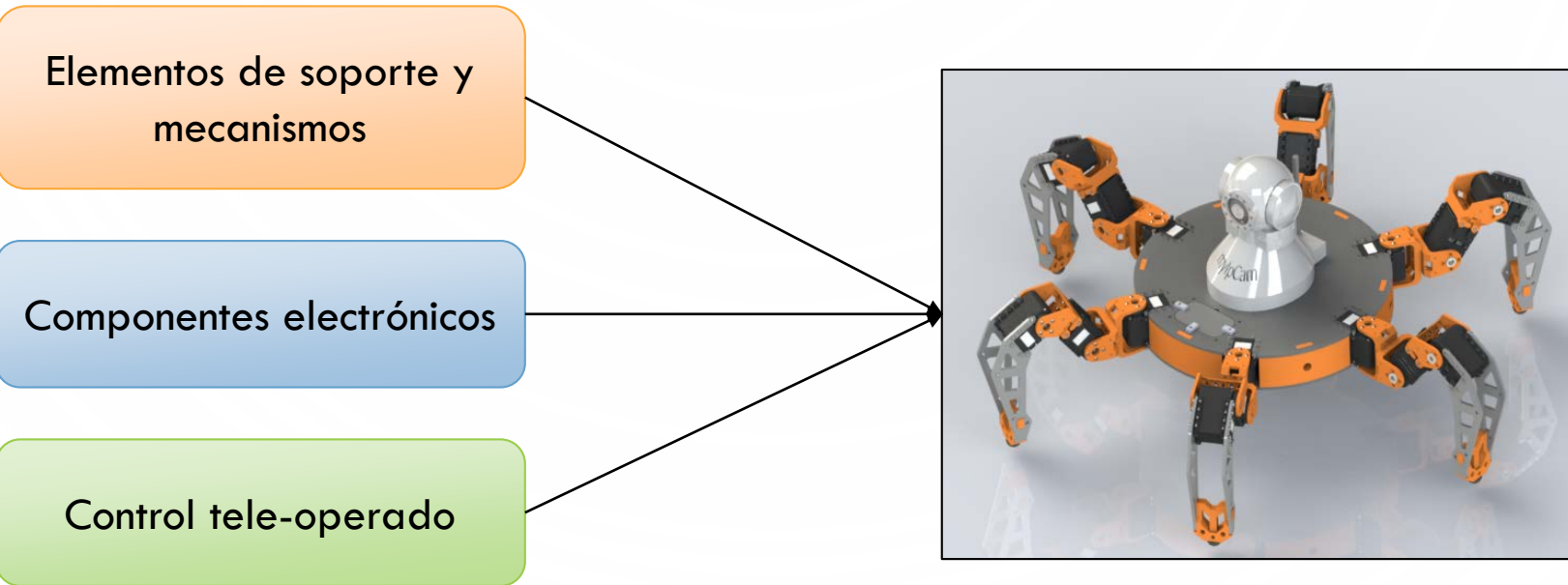
Diseño e implementación e un Robot Tipo Hexápodo Teledirigido
Realizado por:
Fuertes Rosero & Llumiquinga Llumiquinga
(2005)

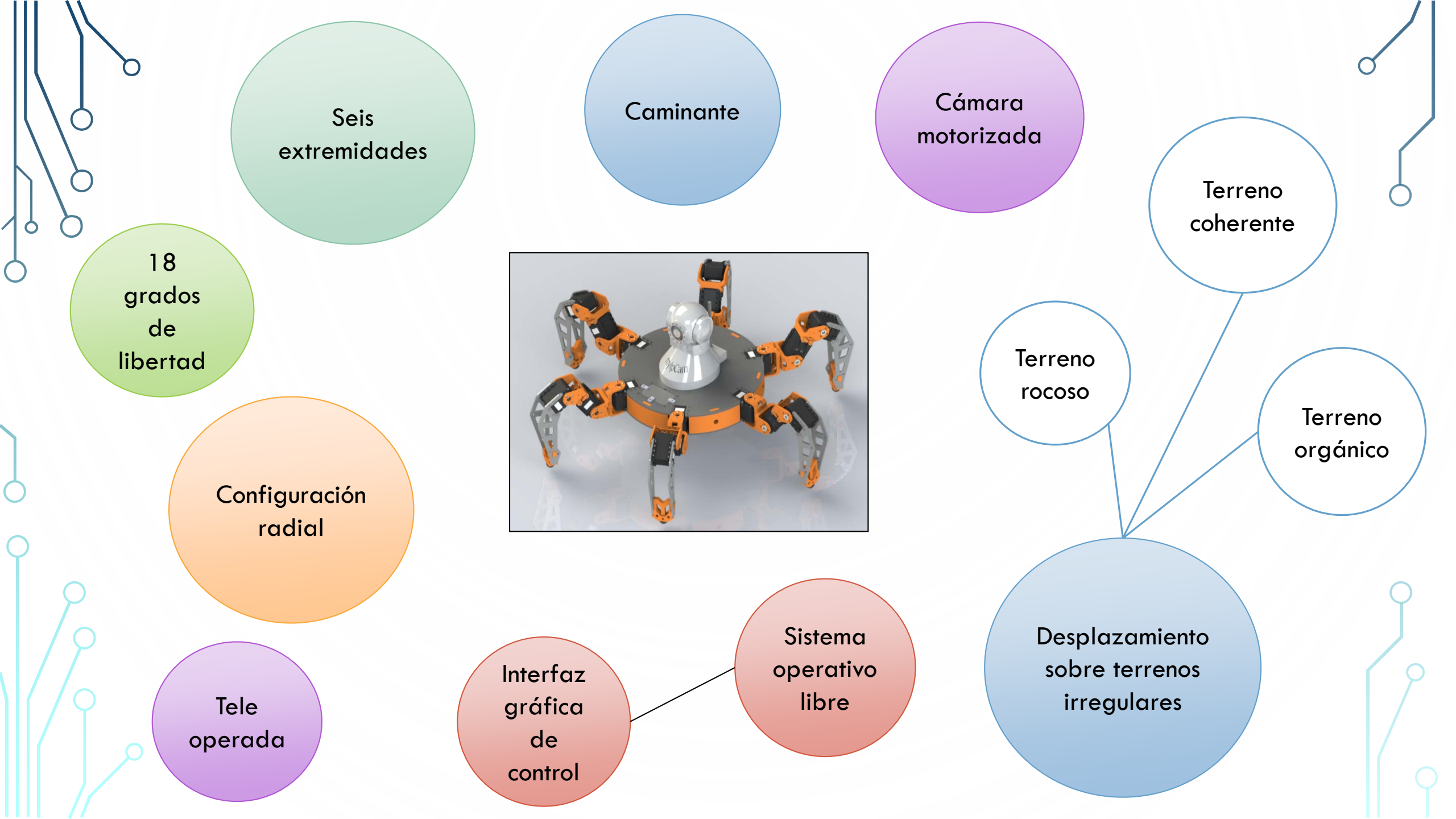
Justificación e importancia:



Objetivos:

Diseñar y construir un prototipo de plataforma robótica zoomórfica tele-operada de seis extremidades con dieciocho grados de libertad para la exploración o inspección en terrenos no estructurados.





Seis extremidades

Caminante

Cámara motorizada

18 grados de libertad

Configuración radial

Terreno coherente

Terreno rocoso

Terreno orgánico

Tele operada

Sistema operativo libre

Interfaz gráfica de control

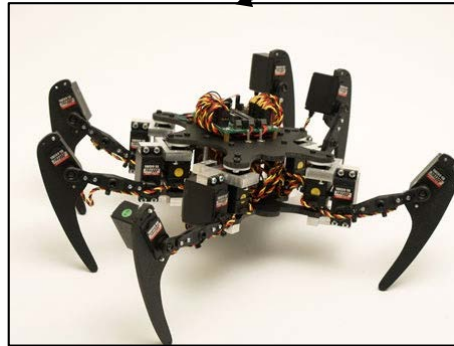
Desplazamiento sobre terrenos irregulares



The image features a light blue background with a subtle grid pattern. In the four corners, there are decorative elements consisting of thin blue lines that branch out and end in small circles, resembling a circuit board or a network diagram. The central text is the main focus.

ESTADO DEL ARTE

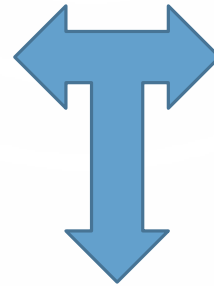
Robots Zoomórficos



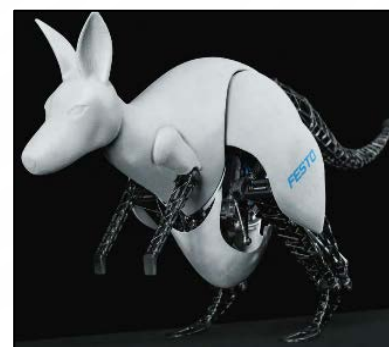
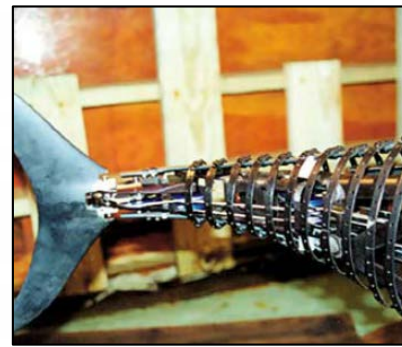
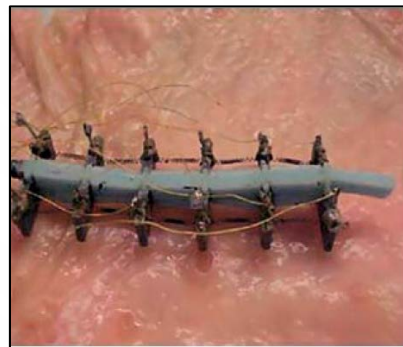
Caminantes



No Caminantes

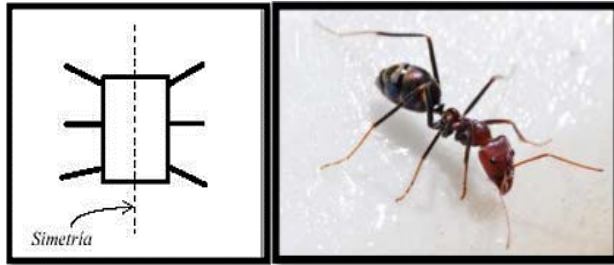


**DE ACUERDO AL SISTEMA
DE LOCOMOCIÓN**

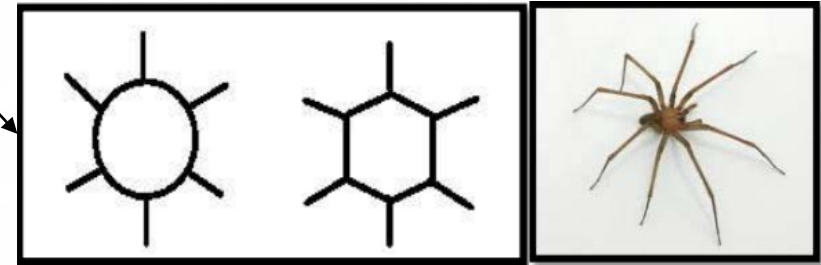


Robots Hexápodos

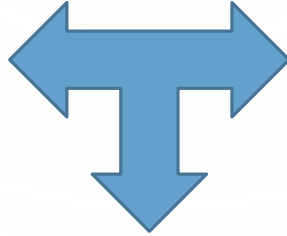
Configuración física



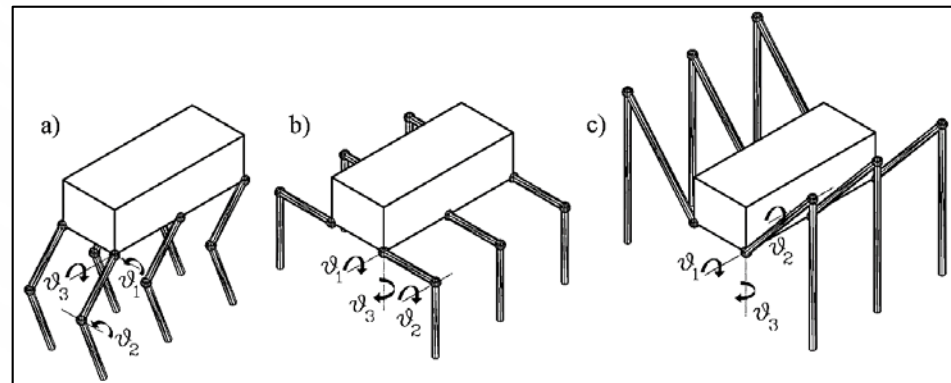
Configuración bilateral



Configuración radial

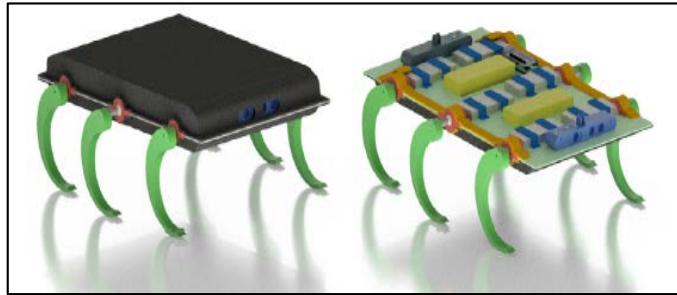


Configuración de las extremidades

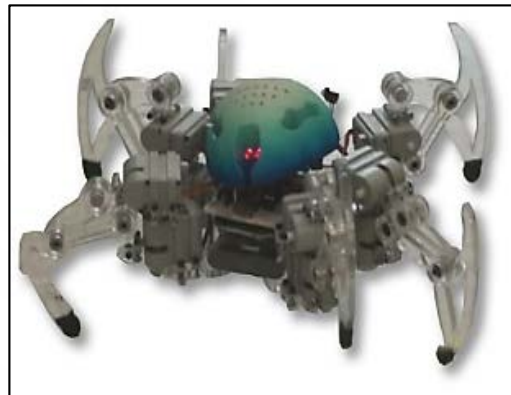


Grados de libertad por extremidad

Un grado de libertad



Dos grados de libertad

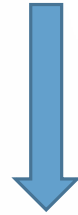


Tres o más grados de libertad



**Entre más grados de libertad
mayor complejidad del diseño**

DISEÑO



Hexápodo Radial

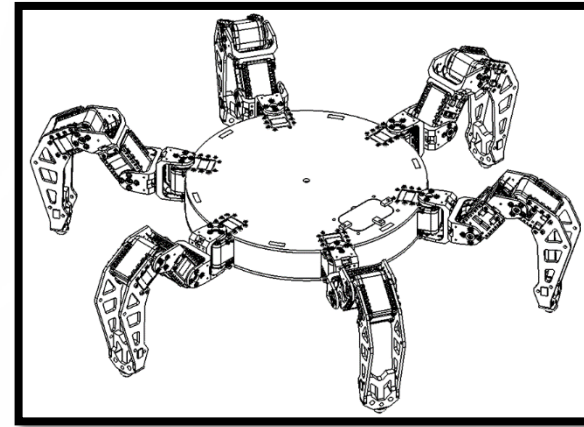


Morfología

Arácnidos



Diseño Final



Loxosceles Laeta



Matriz QFD



Características técnicas	P R I O R I D A D	Características técnicas											
		Configuración física y número de extremidades	Grados de libertad por extremidad	Geometría del elemento final de la extremidad	Metodología del movimiento	Material de estructura	Comunicación inalámbrica	Torque de servomotores	Transmisor de video robusto	Sistema de operación robusto	Estructura sellada e impermeable	Software de programación libre	
Requerimientos													
Dimensiones	2	3	1	1	1	0	0	0	0	0	1	0	
Duración de batería	4	9	9	0	9	0	3	9	9	0	0	0	
Peso	3	9	3	3	0	9	0	1	3	0	1	0	
Movimiento natural	3	3	9	9	9	0	0	3	0	1	0	0	
Maniobrabilidad intuitiva	4	0	0	0	0	0	3	0	3	9	0	3	
Costo	3	9	9	9	1	9	9	9	9	3	3	9	
Capacidades todoterreno	5	9	9	9	3	9	1	9	1	3	3	0	
Debe subir al menos una pendiente de 30°	2	3	9	3	9	3	0	9	0	1	0	0	
Velocidad de movimiento	3	3	3	3	9	1	3	9	0	3	0	0	
Control remoto	5	0	1	0	3	0	9	3	3	9	0	9	
Vídeo en tiempo real	4	0	0	0	0	0	9	1	9	1	0	9	
No debe ingresar agua al robot	3	1	0	0	0	9	0	0	0	0	9	0	
Utilización de software con licencia gratuita	4	0	1	0	0	0	9	0	9	9	0	9	
Diseño estético	1	3	3	3	0	9	1	0	0	0	3	0	
Ponderación total de cada característica técnica		171	185	128	143	144	183	184	176	159	59	156	
Orden de importancia		5	1	10	9	8	3	2	4	6	11	7	

HITOS	CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS	PORCENTAJE DE PONDERACIÓN
1	Grados de libertad por extremidad	11
2	Torque de servomotores	10,9
3	Comunicación inalámbrica	10,8
4	Transmisor de video robusto	10,4
5	Configuración física y número de extremidades	10,1
6	Sistema de operación robusto	9,42
7	Software de programación libre	9,24
8	Material de estructura	8,53
9	Metodología del movimiento	8,47
10	Geometría del elemento final de la extremidad	7,58
11	Estructura sellada e impermeable	3,5

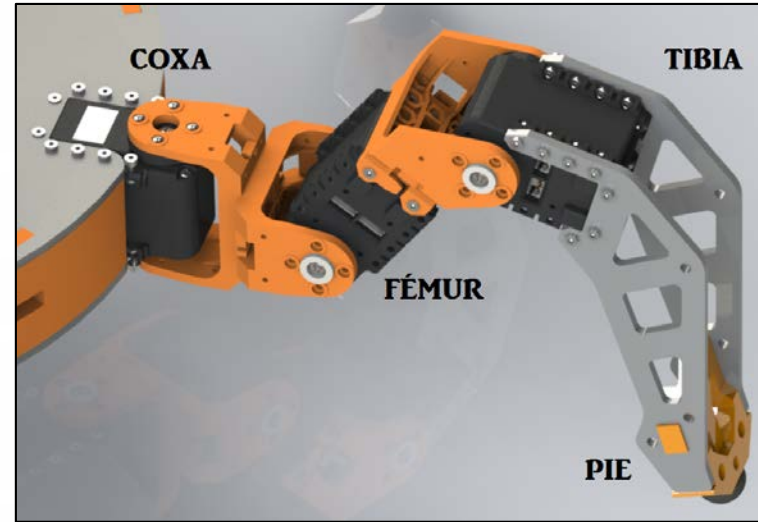
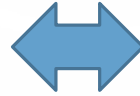
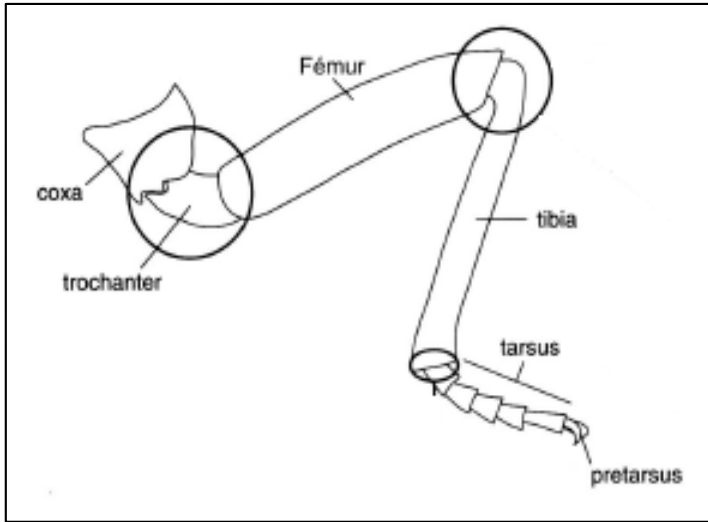
Estructura Funcional Para el Diseño

Nº	MÓDULO	SUBSISTEMAS	FUNCIONES	HITOS A CUMPLIR
1	Estructura	Extremidades	Grados de libertad para el movimiento y capacidades todo terreno	1,2,5,8,9,10
		Cubierta	Protección contra elementos externos al robot	8,11
2	Locomoción	Locomoción	Programación de movimiento del robot	1,2,9
3	Monitoreo	Cámara Interfaz	Video en tiempo real Comunicación humano-máquina	4,7
4	Tele- operación	Comunicación	Envío y recepción de señales	3,5,6,7
		Mando	Control teleoperado del robot	

The image features a light blue background with a subtle grid pattern. In the four corners, there are decorative elements consisting of thin blue lines that resemble circuit traces or data paths, ending in small circles. The central text is the main focus.

MÓDULO 1. ESTRUCTURA

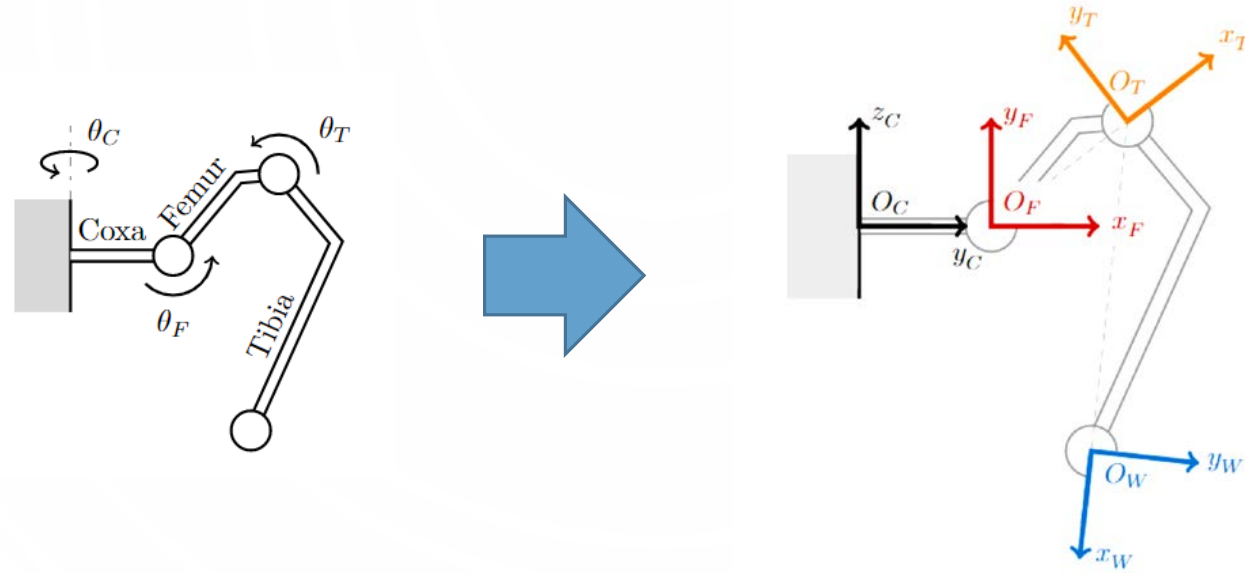
Extremidades



CONFIGURACIÓN INSECTOIDE

- El fémur es el eslabón más robusto.
- La tibia es el eslabón más largo.
- 3 grados de libertad por extremidad.

Cinemática Directa



Articulación	θ	θ^{desf}	d	a	α
<i>Coxa – I</i>	q_1	$\pi/2$	0	l_c	$-\pi/2$
<i>Femur – II</i>	q_2	-0.22	0	l_f	0
<i>Tibia – III</i>	q_3	-0.59	0	l_t	0

Cinemática Directa

$${}^0A_1 = \begin{bmatrix} \cos(q'_1) & 0 & -\sin(q'_1) & l_c \cos(q'_1) \\ \sin(q'_1) & 0 & -\cos(q'_1) & l_c \sin(q'_1) \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^1A_2 = \begin{bmatrix} \cos(q'_2) & -\sin(q'_2) & 0 & l_f \cos(q'_2) \\ \sin(q'_2) & \cos(q'_2) & 0 & l_f \sin(q'_2) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \quad {}^2A_3 = \begin{bmatrix} \cos(q'_3) & -\sin(q'_3) & 0 & l_t \sin(q'_3) \\ \sin(q'_3) & \cos(q'_3) & 0 & l_t \cos(q'_3) \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

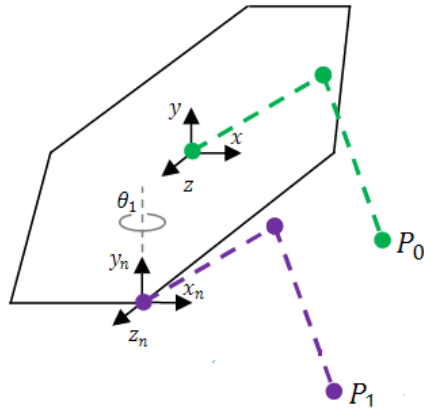
$$T = \begin{bmatrix} \cos(q'_1) \cos(q'_2 + q'_3) & -\cos(q'_1) \sin(q'_2 + q'_3) & -\sin(q'_1) & p_x \\ \sin(q'_1) \cos(q'_2 + q'_3) & -\sin(q'_1) \sin(q'_2 + q'_3) & -\cos(q'_1) & p_y \\ -\sin(q'_2 + q'_3) & -\cos(q'_2 + q'_3) & 0 & p_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$p_x = \cos(q'_1) [l_c + l_t \cos(q'_2 + q'_3) + l_f \cos(q'_2)]$$

$$p_y = \sin(q'_1) [l_c + l_t \cos(q'_2 + q'_3) + l_f \cos(q'_2)]$$

$$p_z = -l_t \sin(q'_2 + q'_3) - l_f \sin(q'_2)$$

Cinemática Directa



$${}^{0'}A_0 = \begin{bmatrix} 1 & 0 & 0 & d_x \\ 0 & 1 & 0 & d_y \\ 0 & 0 & 1 & d_z \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T' = {}^{0'}A_0 \times T = {}^{0'}A_3$$

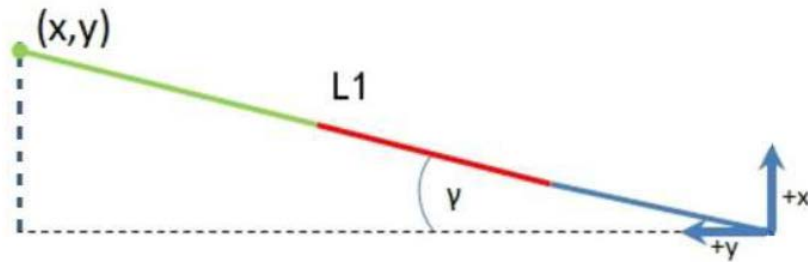
$$p_x = d_x + \cos(q'_1) [l_c + l_t \cos(q'_2 + q'_3) + l_f \cos(q'_2)]$$

$$p_y = d_y + \sin(q'_1) [l_c + l_t \cos(q'_2 + q'_3) + l_f \cos(q'_2)]$$

$$p_z = d_z - l_t \sin(q'_2 + q'_3) - l_f \sin(q'_2)$$

Cinemática Inversa

Vista superior de la extremidad

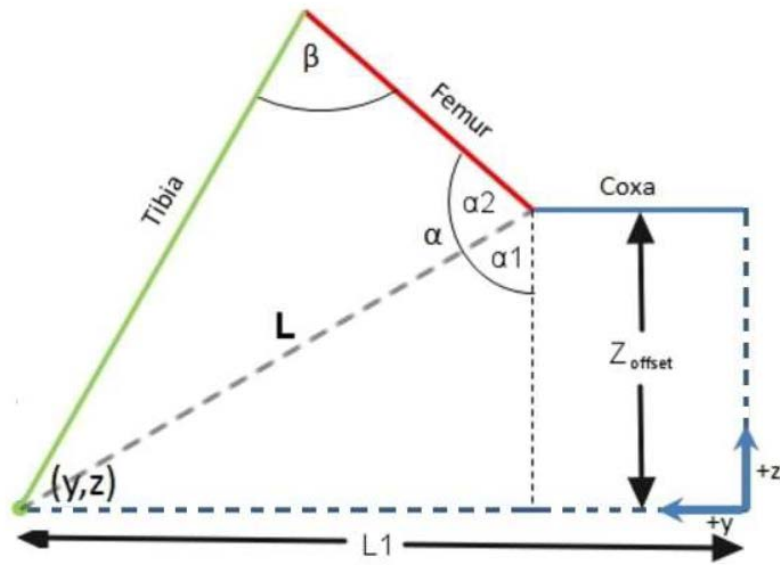


$$\tan(\gamma) = \frac{x}{y}$$

$$\gamma = \tan^{-1}\left(\frac{x}{y}\right)$$

$$L_1 = \sqrt{x^2 + y^2}$$

Vista lateral de la extremidad



$$L = \sqrt{z^2 + (L_1 - L_{Coxa})^2}$$

$$\tan(\alpha_1) = \frac{L_1 - L_{Coxa}}{z}$$

$$\alpha_1 = \arctan\left(\frac{L_1 - L_{Coxa}}{z}\right)$$

$$L_{Tibia}^2 = L_{Femur}^2 + L^2 - 2(L_{Femur})(L) \cos(\alpha_2)$$

$$\alpha_2 = \arccos\left(\frac{L_{Femur}^2 + L^2 - L_{Tibia}^2}{2(L_{Femur})(L)}\right)$$

$$L^2 = L_{Tibia}^2 + L_{Femur}^2 - 2(L_{Tibia})(L_{Femur}) \cos^{-1}(\beta)$$

Cinemática Inversa

$$\alpha = \alpha_1 + \alpha_2$$

$$\alpha = \arctan\left(\frac{L_1 - L_{Coxa}}{z}\right) + \arccos\left(\frac{L_{Femur}^2 + L^2 - L_{Tibia}^2}{2(L_{Femur})(L)}\right)$$

$$\beta = \cos^{-1}\left(\frac{L_{Tibia}^2 + L_{Femur}^2 - L^2}{2(L_{Tibia})(L_{Femur})}\right)$$

$$\text{Ángulo coxa} = \gamma$$

$$\text{Ángulo Fémur} = \pi - 0.22 - \alpha$$

$$\text{Ángulo Tibia} = \pi - 0.59 - \beta$$

Análisis Dinámico

Formulación Lagrangiana:

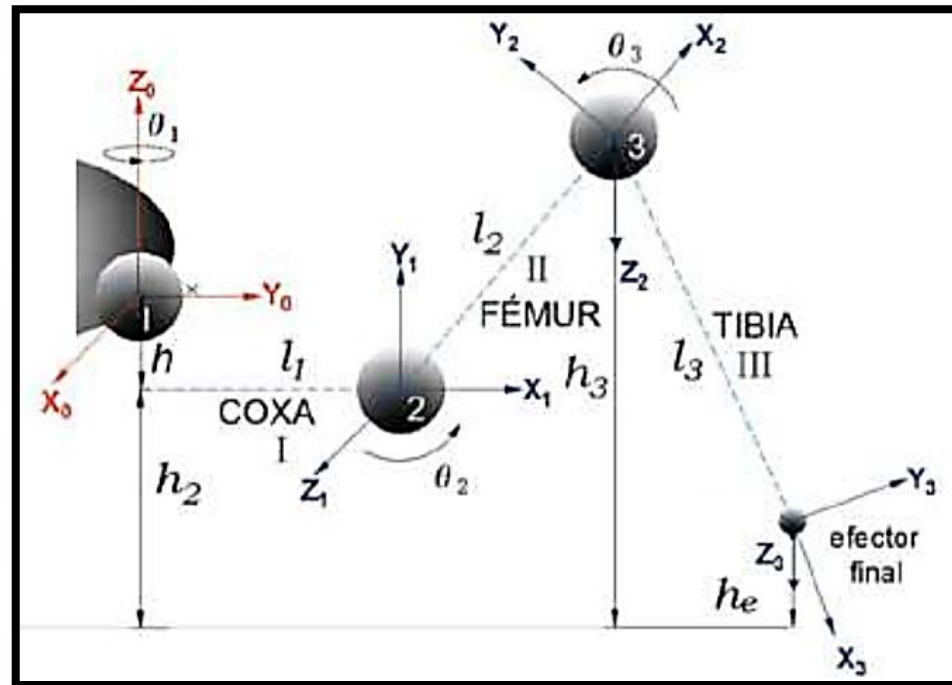
$$L(\theta, \dot{\theta}) = K(\theta, \dot{\theta}) - U(\theta)$$



Formulación de Euler-Lagrange para el torque:

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L(\theta, \dot{\theta})}{\partial \dot{\theta}_i} \right) - \frac{\partial L(\theta, \dot{\theta})}{\partial \theta_i}$$

Esquema de la extremidad para el análisis de energías



ANÁLISIS DE ENERGÍA TOTAL

Energía cinética del sistema

$$\begin{aligned} K_T = & \frac{1}{2} I_1 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \left[\left(l_1^2 + \frac{1}{4} l_2^2 C^2 \theta_2 + l_1 l_2 C \theta_2 \right) \dot{\theta}_1^2 + \left(\frac{1}{4} l_2^2 \right) \dot{\theta}_2^2 \right] \\ & + \frac{1}{2} I_2 \left(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2 \right) \\ & + \frac{1}{2} m_3 \left\{ \left[l_1 + l_2 C \theta_2 + \frac{1}{2} l_3 C(\theta_3 - \theta_2) \right]^2 \dot{\theta}_1^2 \right. \\ & + \left[l_2^2 + \frac{1}{4} l_3^2 - l_2 l_3 S \theta_2 S(\theta_3 - \theta_2) \right. \\ & \left. \left. + l_2 l_3 C \theta_2 C(\theta_3 - \theta_2) \right] \dot{\theta}_2^2 \right. \\ & \left. + \left[-\frac{1}{2} l_3^2 + l_2 l_3 S \theta_2 S(\theta_3 - \theta_2) \right. \right. \\ & \left. \left. - l_2 l_3 C \theta_2 C(\theta_3 - \theta_2) \right] \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 + \left(\frac{1}{4} l_3^2 \right) \dot{\theta}_3^2 \right\} \\ & + \frac{1}{2} I_3 \left(\dot{\theta}_1^2 + (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_2)^2 \right) \\ & + \frac{1}{2} m_4 \left\{ \left[l_1 + l_2 C \theta_2 + l_3 C(\theta_3 - \theta_2) \right]^2 \dot{\theta}_1^2 \right. \\ & + \left[l_2^2 + l_3^2 - 2 l_2 l_3 S \theta_2 S(\theta_3 - \theta_2) \right. \\ & + 2 l_2 l_3 C \theta_2 C(\theta_3 - \theta_2) \left. \right] \dot{\theta}_2^2 \\ & + \left[-2 l_3^2 + 2 l_2 l_3 S \theta_2 S(\theta_3 - \theta_2) \right. \\ & \left. \left. - 2 l_2 l_3 C \theta_2 C(\theta_3 - \theta_2) \right] \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 + \left(l_3^2 \right) \dot{\theta}_3^2 \right\} \end{aligned}$$

Energía potencial del sistema

$$\begin{aligned} U_T = & m_1 g h_{CG1} + m_2 g \left(h_2 + \frac{1}{2} l_2 S(\theta_2) \right) \\ & + m_3 g \left(h_2 + l_2 S(\theta_2) - \frac{1}{2} l_3 S(\theta_3 - \theta_2) \right) \\ & + m_4 g \left(h_2 + l_2 S(\theta_2) - l_3 S(\theta_3 - \theta_2) \right) \end{aligned}$$

LAGRANGIANO

$$\begin{aligned} L = & \frac{1}{2} I_1 \dot{\theta}_1^2 + \frac{1}{2} m_2 \left[\left(l_1^2 + \frac{1}{4} l_2^2 C^2 \theta_2 + l_1 l_2 C \theta_2 \right) \dot{\theta}_1^2 + \left(\frac{1}{4} l_2^2 \right) \dot{\theta}_2^2 \right] \\ & + \frac{1}{2} I_2 \left(\dot{\theta}_1^2 + \dot{\theta}_2^2 \right) \\ & + \frac{1}{2} m_3 \left\{ \left[l_1 + l_2 C \theta_2 + \frac{1}{2} l_3 C(\theta_3 - \theta_2) \right]^2 \dot{\theta}_1^2 \right. \\ & + \left[l_2^2 + \frac{1}{4} l_3^2 + l_2 l_3 C \theta_3 \right] \dot{\theta}_2^2 + \left[-\frac{1}{2} l_3^2 - l_2 l_3 C \theta_3 \right] \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \\ & \left. + \left(\frac{1}{4} l_3^2 \right) \dot{\theta}_3^2 \right\} + \frac{1}{2} I_3 \left(\dot{\theta}_1^2 + (\dot{\theta}_3 - \dot{\theta}_2)^2 \right) \\ & + \frac{1}{2} m_4 \left\{ \left[l_1 + l_2 C \theta_2 + l_3 C(\theta_3 - \theta_2) \right]^2 \dot{\theta}_1^2 \right. \\ & + \left[l_2^2 + l_3^2 + 2 l_2 l_3 C \theta_3 \right] \dot{\theta}_2^2 + \left[-2 l_3^2 - 2 l_2 l_3 C \theta_3 \right] \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \\ & \left. + \left(l_3^2 \right) \dot{\theta}_3^2 \right\} \\ & - \left\{ m_1 g h_{CG1} + m_2 g \left(h_2 + \frac{1}{2} l_2 S(\theta_2) \right) \right. \\ & + m_3 g \left(h_2 + l_2 S(\theta_2) - \frac{1}{2} l_3 S(\theta_3 - \theta_2) \right) \\ & \left. + m_4 g \left(h_2 + l_2 S(\theta_2) - l_3 S(\theta_3 - \theta_2) \right) \right\} \end{aligned}$$

Modelo del torque para el servomotor de la coxa

$$\begin{aligned}\tau_1 = & \left[I_1 + I_2 + I_3 + l_1^2(m_2 + m_3 + m_4) + l_2^2 C^2(\theta_2) \left(\frac{1}{4}m_2 + m_3 + m_4 \right) \right. \\ & + l_3^2 C^2(\theta_3 - \theta_2) \left(\frac{1}{4}m_3 + m_4 \right) \\ & + l_1 l_2 C(\theta_2)(m_2 + 2m_3 + 2m_4) \\ & \left. + l_3 C(\theta_3 - \theta_2)(l_1 + l_2 C(\theta_2))(m_3 + 2m_4) \right] \ddot{\theta}_1 \\ & + \left[l_2^2 S(\theta_2) C(\theta_2) \left(-\frac{1}{2}m_2 - 2m_3 - 2m_4 \right) \right. \\ & + l_3^2 S(\theta_3 - \theta_2) C(\theta_3 - \theta_2) \left(\frac{1}{2}m_3 + 2m_4 \right) \\ & + l_1 l_2 S(\theta_2)(-m_2 - 2m_3 - 2m_4) \\ & \left. + l_3(l_1 S(\theta_3 - \theta_2) + l_2 S(\theta_3 - 2\theta_2))(m_3 + 2m_4) \right] \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_2 \\ & + \left[l_3^2 S(\theta_3 - \theta_2) C(\theta_3 - \theta_2) \left(-\frac{1}{2}m_3 - 2m_4 \right) \right. \\ & \left. + l_3 S(\theta_3 - \theta_2)(l_1 + l_2 C(\theta_2))(-m_3 - 2m_4) \right] \dot{\theta}_1 \dot{\theta}_3\end{aligned}$$

Modelo del torque para el servomotor del fémur

$$\begin{aligned}\tau_2 = & \left[I_2 + I_3 + l_2^2 \left(\frac{1}{4} m_2 + m_3 + m_4 \right) + l_3^2 \left(\frac{1}{4} m_3 + m_4 \right) \right. \\ & \left. + l_2 l_3 C(\theta_3)(m_3 + 2m_4) \right] \ddot{\theta}_2 \\ & + [l_2 l_3 S(\theta_3)(-m_3 - 2m_4)] \dot{\theta}_2 \dot{\theta}_3 \\ & + \left[l_3^2 \left(-\frac{1}{4} m_3 - m_4 \right) + l_2 l_3 C(\theta_3) \left(-\frac{1}{2} m_3 - m_4 \right) - I_3 \right] \ddot{\theta}_3 \\ & + \left[l_2 l_3 S(\theta_3) \left(\frac{1}{2} m_3 + m_4 \right) \right] \dot{\theta}_3^2 \\ & + \left[l_2^2 S(\theta_2) C(\theta_2) \left(\frac{1}{4} m_2 + m_3 + m_4 \right) \right. \\ & \left. + l_1 l_2 S(\theta_2) \left(\frac{1}{2} m_2 + m_3 + m_4 \right) \right. \\ & \left. + l_3 (l_1 S(\theta_3 - \theta_2) + l_2 S(\theta_3 - 2\theta_2)) \left(-\frac{1}{2} m_3 - m_4 \right) \right. \\ & \left. + l_3^2 S(\theta_3 - \theta_2) C(\theta_3 - \theta_2) \left(-\frac{1}{4} m_3 - m_4 \right) \right] \dot{\theta}_1^2 \\ & + \left[g l_2 C(\theta_2) \left(\frac{1}{2} m_2 + m_3 + m_4 \right) \right. \\ & \left. + g l_3 C(\theta_3 - \theta_2) \left(\frac{1}{2} m_3 + m_4 \right) \right]\end{aligned}$$

Modelo del torque para el servomotor de la tibia

$$\begin{aligned}\tau_3 = & \left[l_3^2 \left(-\frac{1}{4} m_3 - m_4 \right) + l_2 l_3 C(\theta_3) \left(-\frac{1}{2} m_3 - m_4 \right) - I_3 \right] \ddot{\theta}_2 \\ & + \left[l_3^2 \left(\frac{1}{4} m_3 + m_4 \right) + I_3 \right] \ddot{\theta}_3 \\ & + \left[l_3^2 S(\theta_3 - \theta_2) C(\theta_3 - \theta_2) \left(\frac{1}{4} m_3 + m_4 \right) \right. \\ & \left. + l_3 S(\theta_3 - \theta_2) (l_1 + l_2 C(\theta_2)) \left(\frac{1}{2} m_3 + m_4 \right) \right] \dot{\theta}_1^2 \\ & + \left[l_2 l_3 S(\theta_3) \left(\frac{1}{2} m_3 + m_4 \right) \right] \dot{\theta}_2^2 \\ & + \left[g l_3 C(\theta_3 - \theta_2) \left(-\frac{1}{2} m_3 - m_4 \right) \right]\end{aligned}$$

Alternativas para el material de la estructura

N°	SOLUCIÓN	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES
A	Aluminio	COSTO MUY ALTO Densidad 2699 Kg/m ³ Resistencia a la tracción 230-570 MPa Conductividad térmica 80-230 W/m ^{°K} Resistente a los rayos ultravioletas.
B	Polimetilmetacrilato (PMMA)	COSTO ALTO Densidad 1190 Kg/m ³ Resistencia a la tracción 47-79 MPa Conductividad térmica 0,17-0,19 W/m ^{°K} Resistente a los rayos ultravioletas.
C	Acrilonitrilo butadieno estireno (ABS)	COSTO MEDIO Densidad 1050 Kg/m ³ . Resistencia a la tracción 54-86 MPa Conductividad térmica 0,17-0,19 W/m ^{°K} Baja resistencia a los ultravioletas.

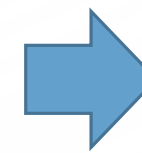
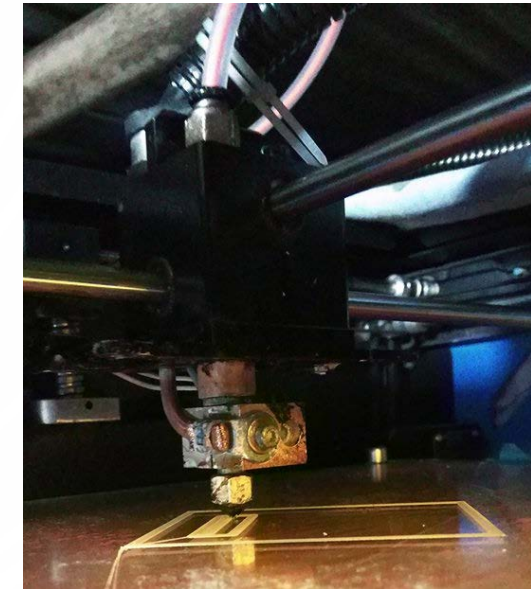
Material para las extremidades

Ponderación de los criterios:

Criterio	a	b	c	d	e	$\Sigma+1$	Ponderación
Costos (a)	-	2,5	2,5	2,5	5	13,5	0,2455
Propiedades mecánicas (b)	2,5	-	5	0	2,5	11	0,2901
Resistencia intemperie (c)	2,5	0	-	0	2,5	6	0,1091
Disponibilidad (d)	2,5	5	5	-	5	18,5	0,2909
Fácil manufactura (e)	0	2,5	2,5	0	-	6	0,0636
Total						55	1,0000

Resultados de prioridad entre alternativas:

	-a- (24,5%)	-b- (29,1%)	-c- (10,9%)	-d- (29,1%)	-e- (6,4%)	Σ	Prioridad
Solución A	0,0136	0,1778	0,0515	0,0162	0,0035	0,26	26,26
Solución B	0,1159	0,0162	0,0515	0,1374	0,1374	0,35	35,98
Solución C	0,1159	0,0970	0,0061	0,1374	0,1374	0,37	37,75
Total						1	100



IMPRESIÓN EN ABS
Soportes de motores y pies.

Selección de servomotores.

Parámetros físicos	Valores
l_c	52 mm
d_c	20.66 mm
l_f	64.15 mm
l_t	121.76 mm
$l_{efector\ final}$	14 mm
m_1	73.98 g
m_2	69.2 g
m_3	83.22 g
m_4	0.23 g
I_1	35273.14 g mm ²
I_2	939836.03 g mm ²
I_3	145314.43 g mm ²
θ_1	0 rad
$\dot{\theta}_1$	10.1578 rad/s
$\ddot{\theta}_1$	0 rad/s ²
θ_2	$\pi/4$ rad
$\dot{\theta}_2$	10.1578 rad/s
$\ddot{\theta}_2$	0 rad/s ²
θ_3	$\pi/6$ rad
$\dot{\theta}_3$	10.1578 rad/s
$\ddot{\theta}_3$	0 rad/s ²

$$\tau_1 = 6.54 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\tau_2 = 9.84 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\tau_3 = 2.71 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$



60%



$$\tau_1 = 10.46 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

$$\tau_2 = 15.75 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

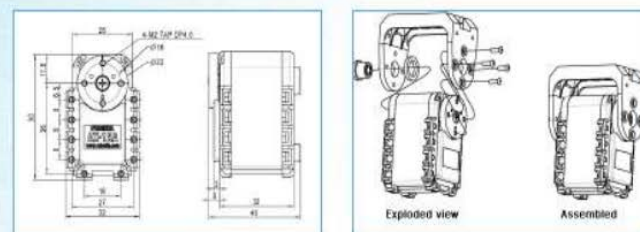
$$\tau_3 = 4.34 \text{ Kgf} \cdot \text{cm}$$

Ponderación de criterios para la selección:

Criterio	a	b	c	d	e	f	$\Sigma+1$	Ponderación
Costos (a)	-	2,5	2,5	5	2,5	2,5	16	0,1975
Torque (b)	2,5	-	2,5	2,5	5	5	18,5	0,2284
Velocidad (c)	2,5	2,5	-	0	5	5	16	0,1975
Peso (d)	0	2,5	5	-	5	2,5	16	0,1975
Fácil sujeción (e)	2,5	0	0	0	-	5	8,5	0,1049
Tamaño (f)	2,5	0	0	2,5	0	-	6	0,0741
Total							81	1,0000

Dynamixel AX Series



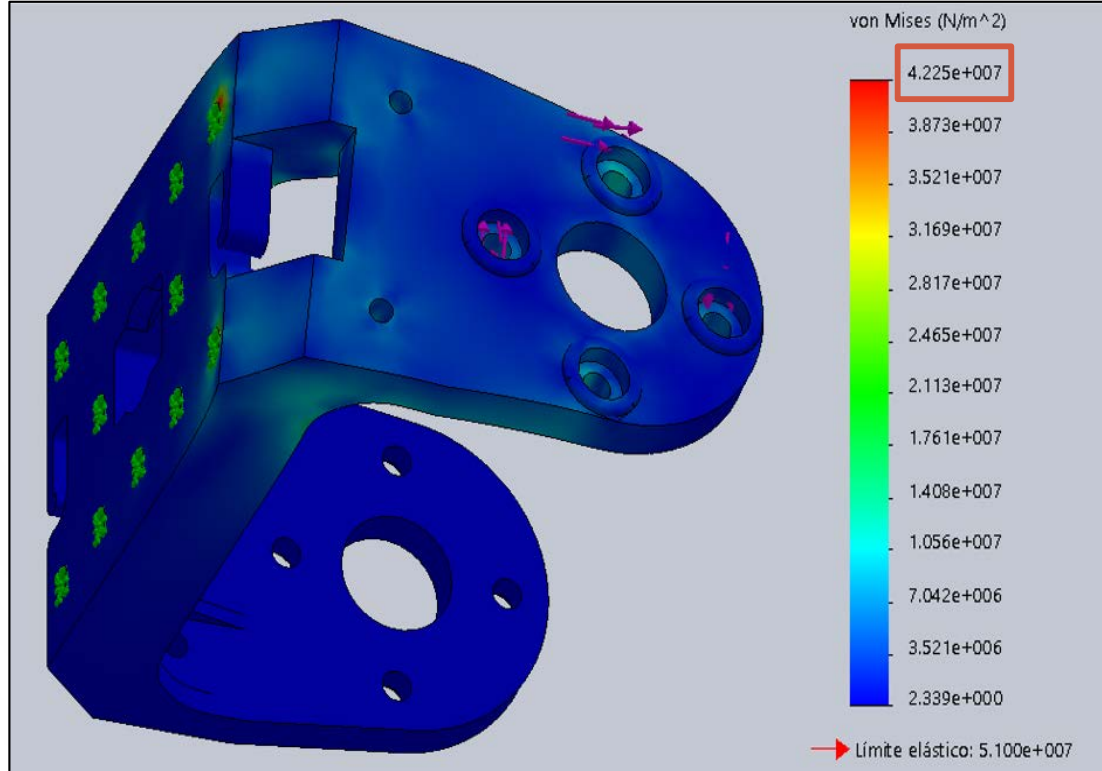


[AX Series Dyanmixels & Brackets](#)
(Click to View Full Line)

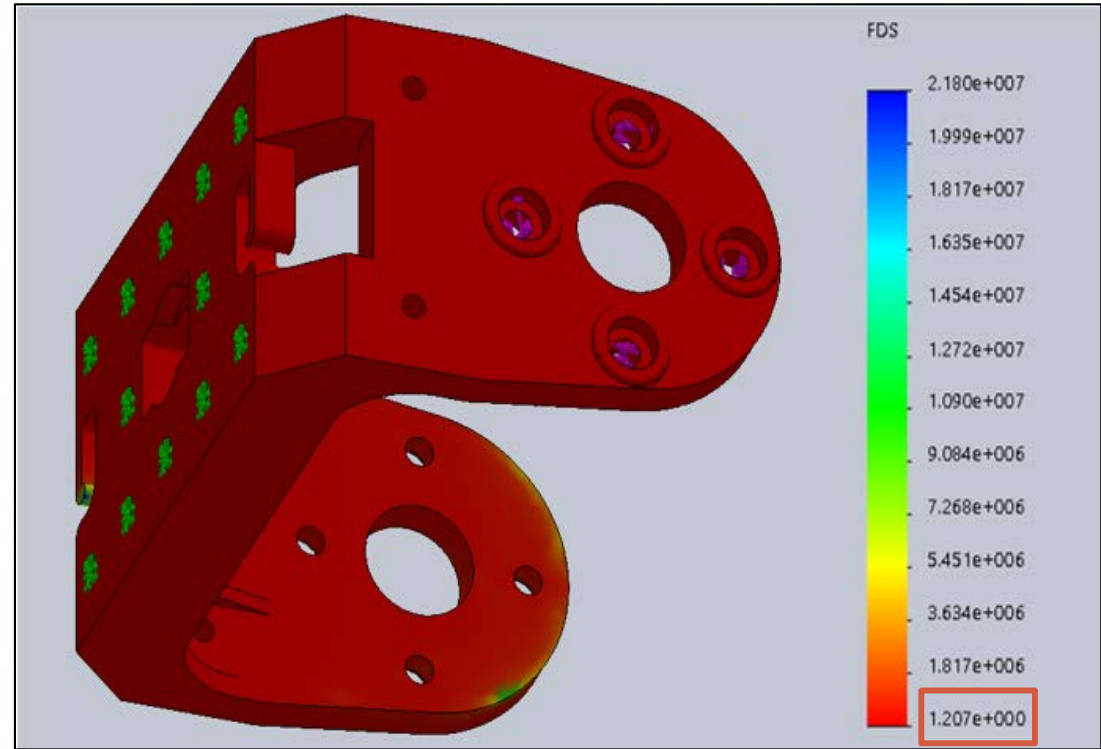
Model	AX-12A <small>(Visit Product Page)</small>	AX-12W <small>(Visit Product Page)</small>	AX-18A <small>(Visit Product Page)</small>
Stall Torque @ Max Voltage	1.5N.m (16.5 kg-cm)	0.2N.m (2.0 kg-cm)	1.8N.m (18 kg-cm)
Speed (RPM)	59	470	97
Nominal Operating Voltage	12v	12v	12v
Stall Current Draw	1.5A	1.4A	2.2A
Dimensions	32x50x40 mm	32x50x40 mm	32x50x40 mm
Weight	54.6g	52.9g	54.5g
Resolution	0.29°	0.29°	0.29°
Operating Angle	300	300	300
Gear Reduction	254 : 1	32 : 1	254 : 1
Geartrain Material	Eng. Plastic	Eng. Plastic	Eng. Plastic
Onboard CPU	ATMega8 (ATMEGA8-16AU@16MHZ, 8 Bit)	ATMega8 (ATMEGA8-16AU@16MHZ, 8 Bit)	ATMega8 (ATMEGA8-16AU@16MHZ, 8 Bit)
Position Sensor	Potentiometer	Potentiometer	Potentiometer
Com Protocol	TTL	TTL	TTL
Com Speed	1mbps	1mbps	1mbps
Compliance/PID	Compliance	Compliance	Compliance

Análisis mecánico de piezas

SOPORTE DE LA COXA

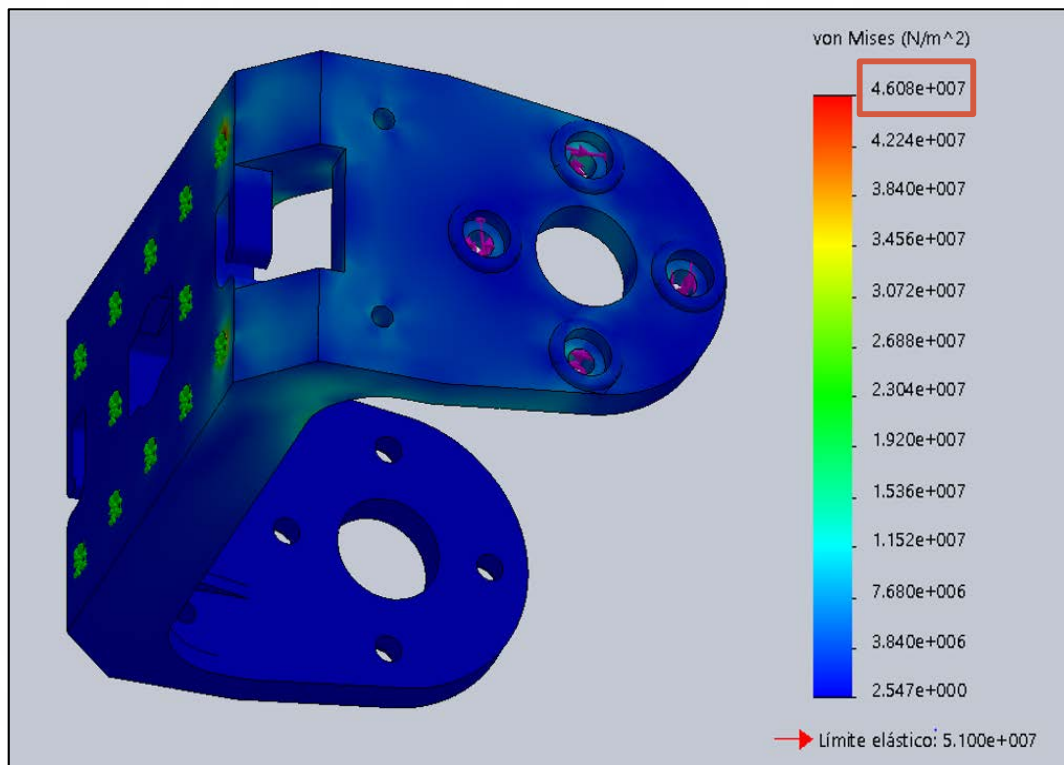


TORQUE APLICADO: 16.5 Kgf cm
LÍMITE ELÁSTICO: 51 MPa

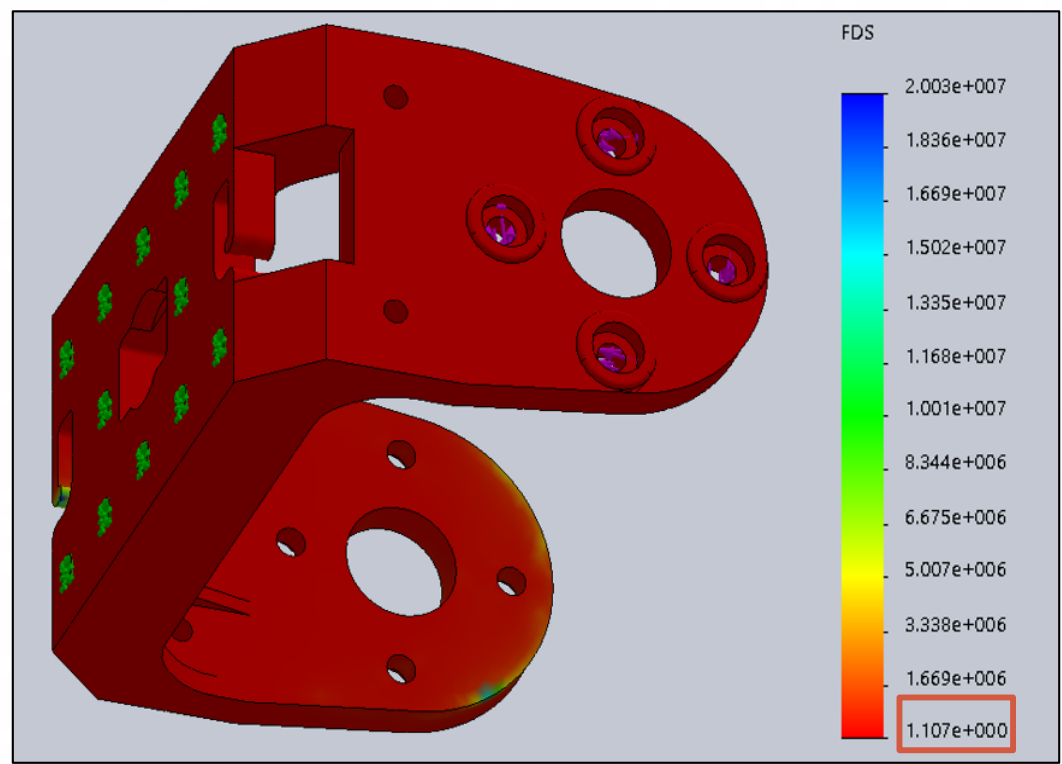


Análisis mecánico de piezas

SOPORTE DEL FÉMUR

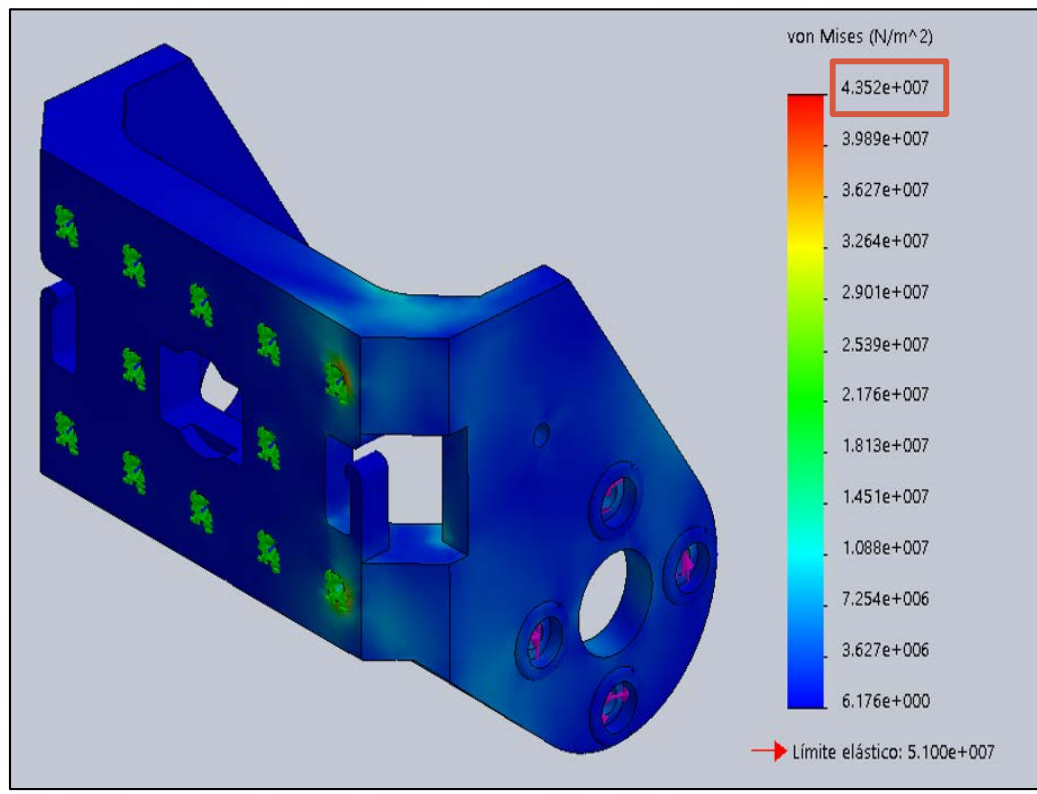


TORQUE APLICADO: 18 Kgf cm
LÍMITE ELÁSTICO: 51 MPa

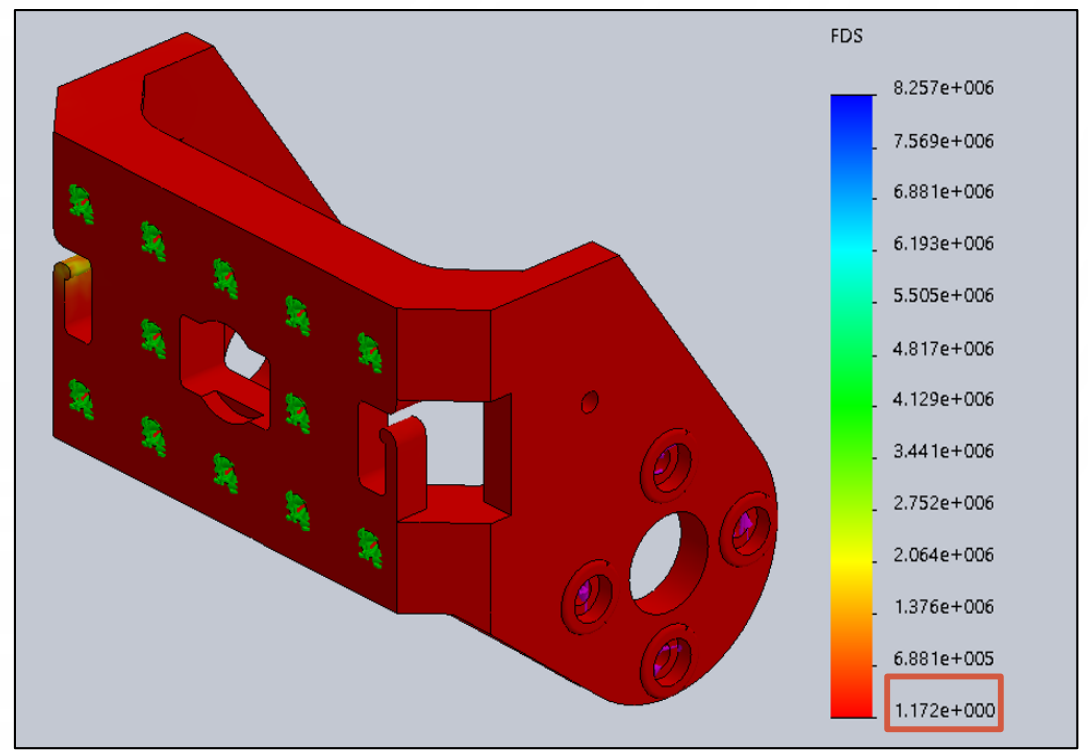


Análisis mecánico de piezas

SOPORTE DE LA TIBIA

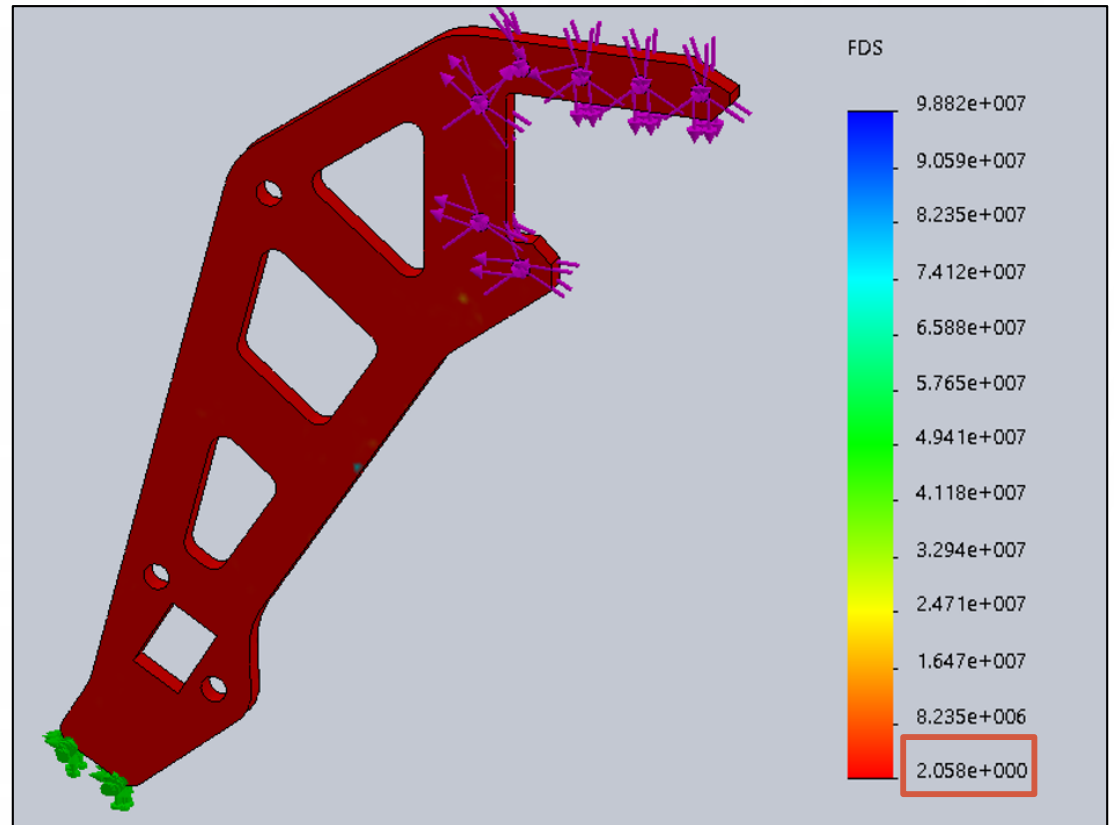
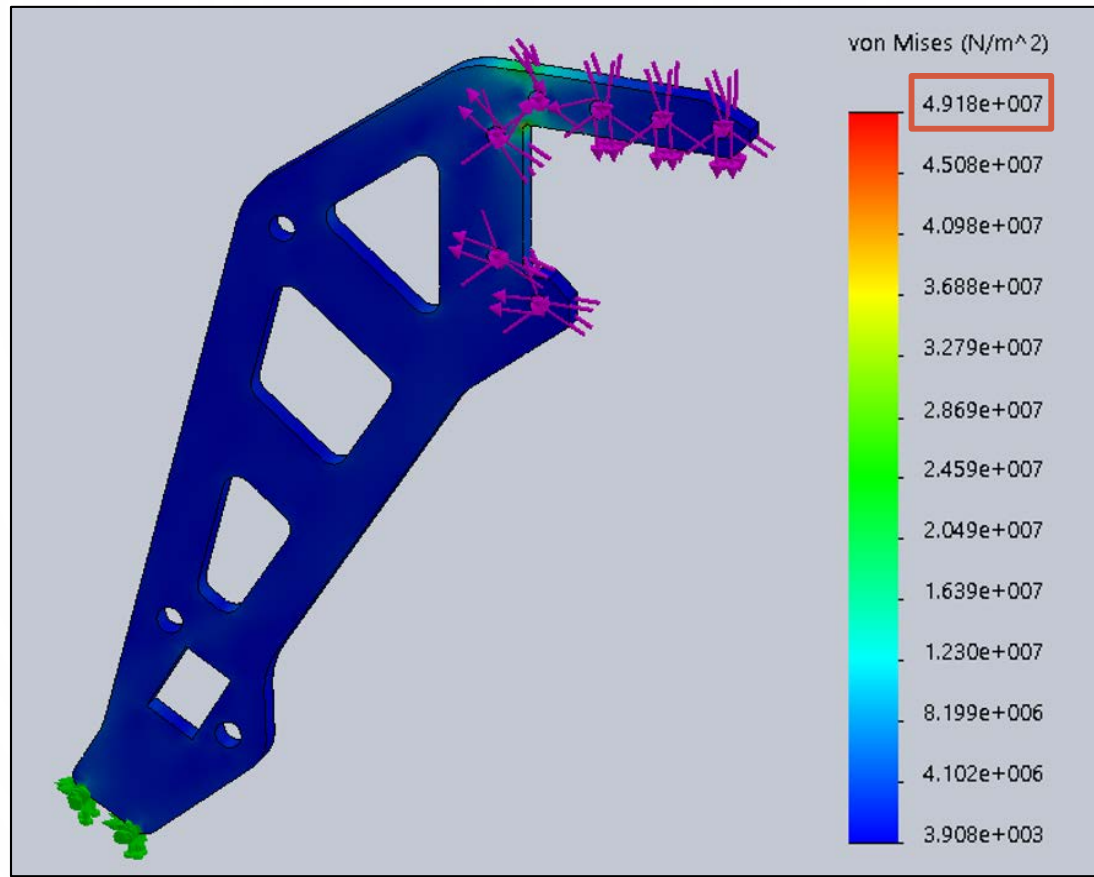


TORQUE APLICADO: 16,5 Kgf cm
LÍMITE ELÁSTICO: 51 MPa



Análisis mecánico de piezas

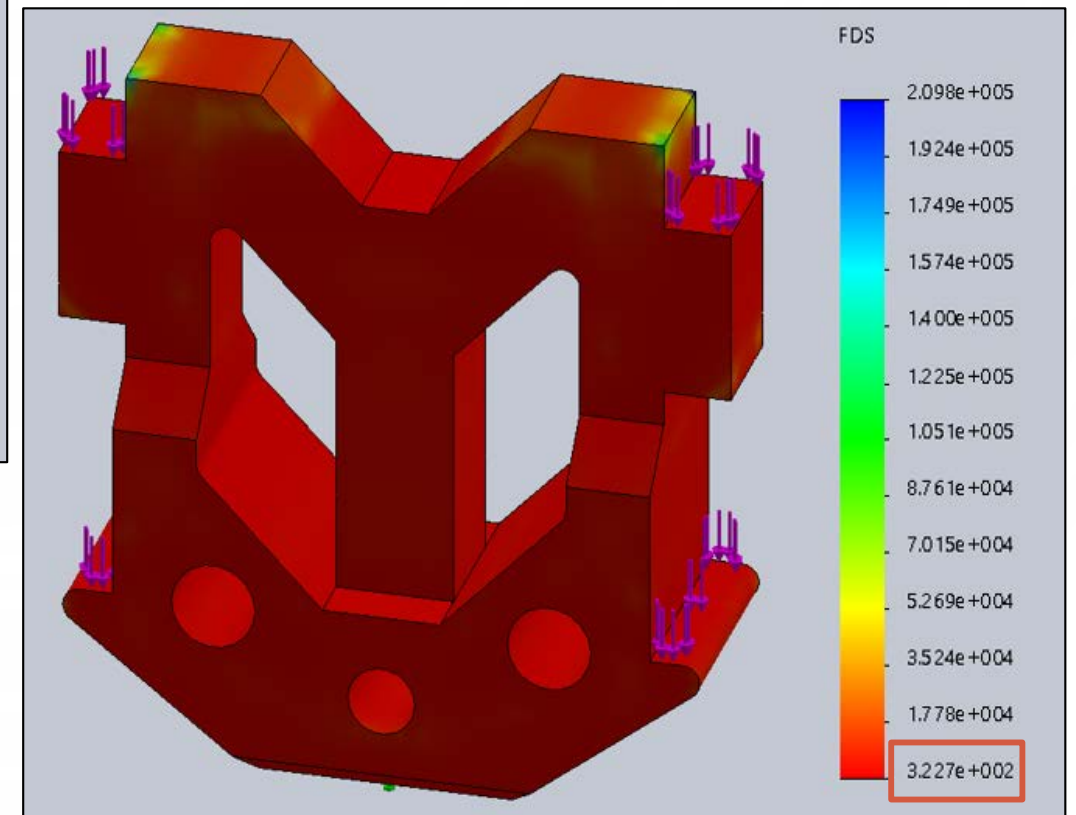
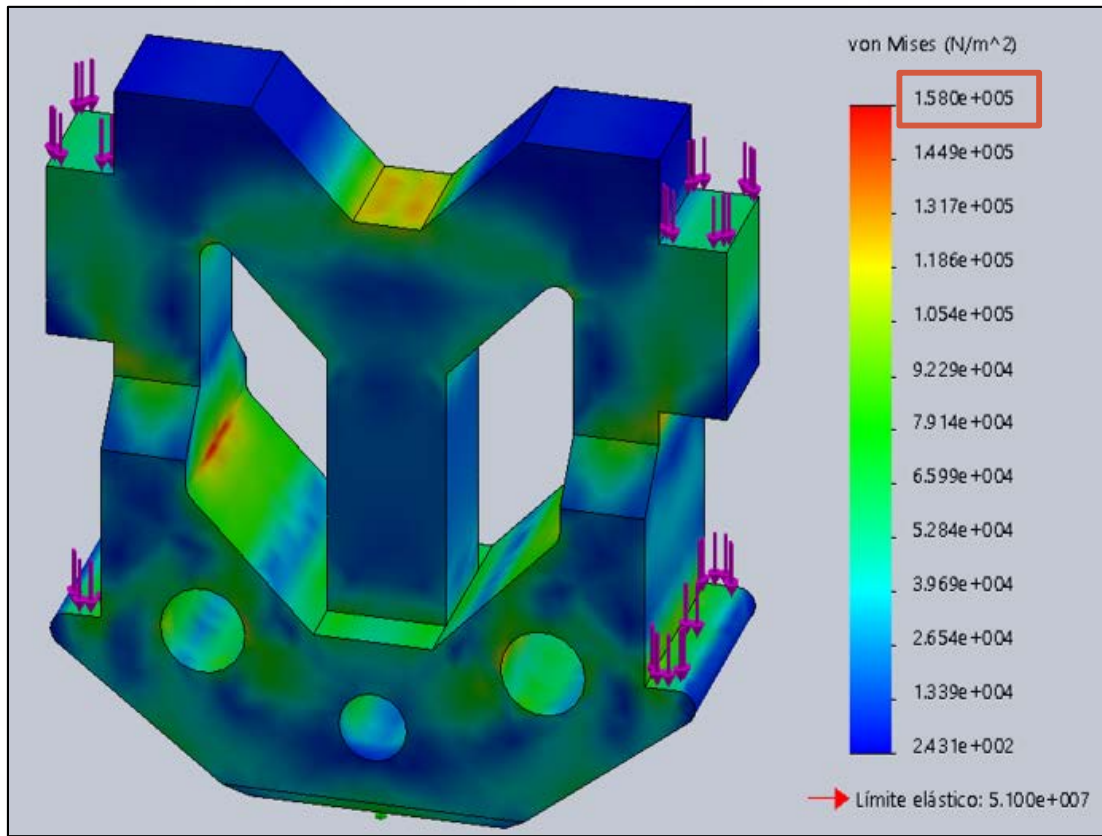
TIBIA



TORQUE APLICADO: 16,5 Kgf cm
LÍMITE ELÁSTICO: 73,77 MPa

Análisis mecánico de piezas

PIE



PESO ESTIMADO: 4 Kg
LÍMITE ELÁSTICO: 51 MPa

Alternativas para la batería

	SOLUCIÓN	CARACTERÍSTICAS Y PROPIEDADES
A	Batería Polímero de Litio	COSTO: Alto
		Densidad de almacenamiento: Alta
		Auto-descarga: 0.2% diario.
		Vida útil: 500 ciclos
		Contaminante: no
B	Batería Níquel-Cadmio	COSTO: Bajo
		Densidad de almacenamiento: Baja
		Auto-descarga: 1% diario.
		Vida útil: 1000 ciclos
		Contaminante: si
C	Batería Níquel-Hidruro metálico	COSTO: Bajo
		Densidad de almacenamiento: Medio
		Auto-descarga: 1.5% diario.
		Vida útil: 1000 ciclos
		Contaminante: no

Selección de batería

Ponderación de criterios:

Criterio	a	b	c	d	$\Sigma+1$	Ponderación
Costos (a)	-	0	2,5	2,5	6	0,1905
Densidad almacenamiento (b)	5	-	2,5	5	13,5	0,4286
Auto-descarga (c)	2,5	0	-	2,5	6	0,1905
Vida útil (d)	2,5	0	2,5	-	6	0,1905
Total					31,5	1,0000

	-a- (19,05%)	-b- (42,85%)	-c- (19,05%)	-d- (19,05%)	Σ	Prioridad
Solución A	0,011	0,262	0,116	0,011	0,399	39,95
Solución B	0,090	0,024	0,063	0,090	0,267	26,72
Solución C	0,090	0,143	0,011	0,090	0,333	33,33
Total					1,000	100



BATERÍA DE POLÍMERO DE LITIO



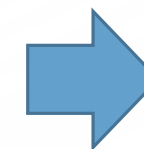
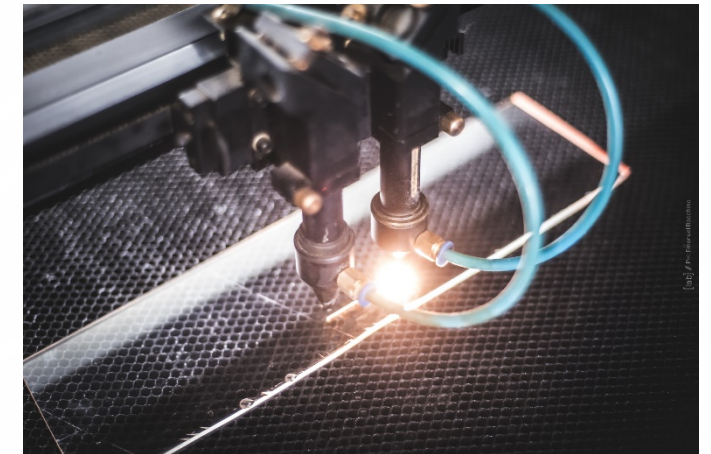
Material para la cubierta

Ponderación de los criterios:

Criterio	a	b	c	d	e	$\Sigma+1$	Ponderación
Costos (a)	-	2,5	2,5	2,5	5	13,5	0,2455
Propiedades mecánicas (b)	2,5	-	0	2,5	2,5	8,5	0,1545
Resistencia intemperie (c)	2,5	5	-	5	2,5	16	0,2909
Disponibilidad (d)	2,5	2,5	0	-	2,5	8,5	0,1545
Fácil manufactura (e)	0	2,5	2,5	2,5	-	8,5	0,1545
Total						55	1,0000

Resultados de prioridad entre alternativas:

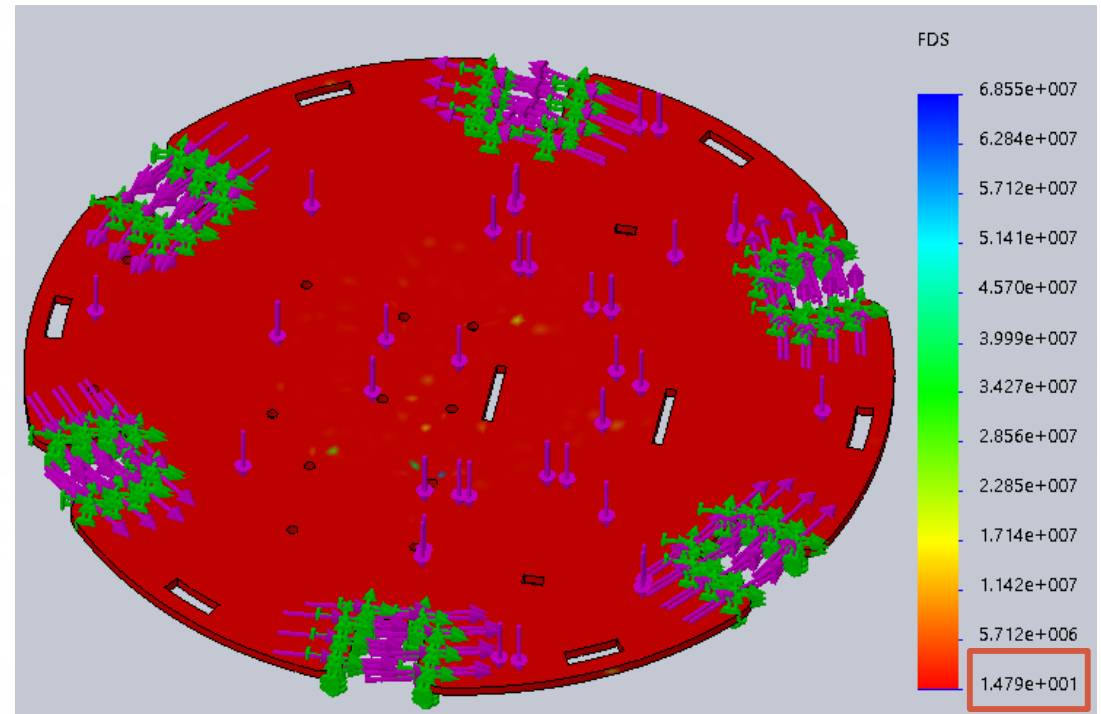
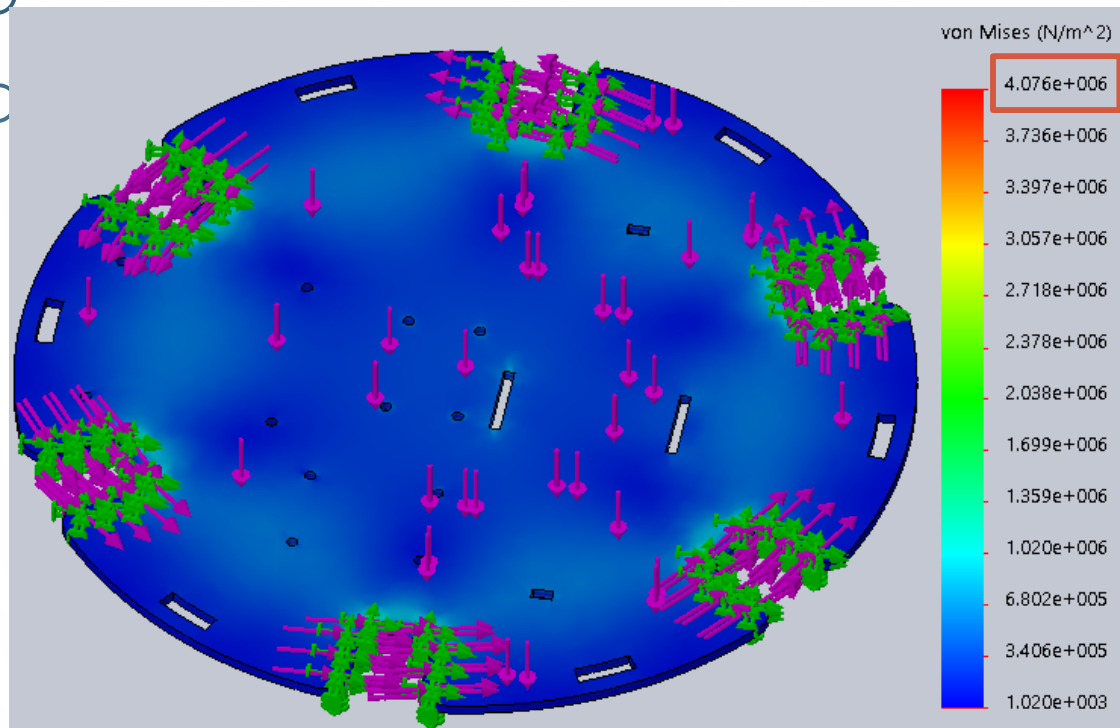
Solución	-a- (24,5%)	-b- (15,5%)	-c- (29%)	-d- (15,5%)	-e- (15,5%)	Σ	Prioridad
Solución A	0,0136	0,0944	0,1374	0,0086	0,0086	0,263	26,26
Solución B	0,1159	0,0086	0,1374	0,0730	0,0944	0,429	42,93
Solución C	0,1159	0,0515	0,0162	0,0730	0,0515	0,308	30,81
Total						1	100



CORTE LÁSER EN
PMMA
 Tibias, base y cubierta

Análisis mecánico de piezas

CUERPO

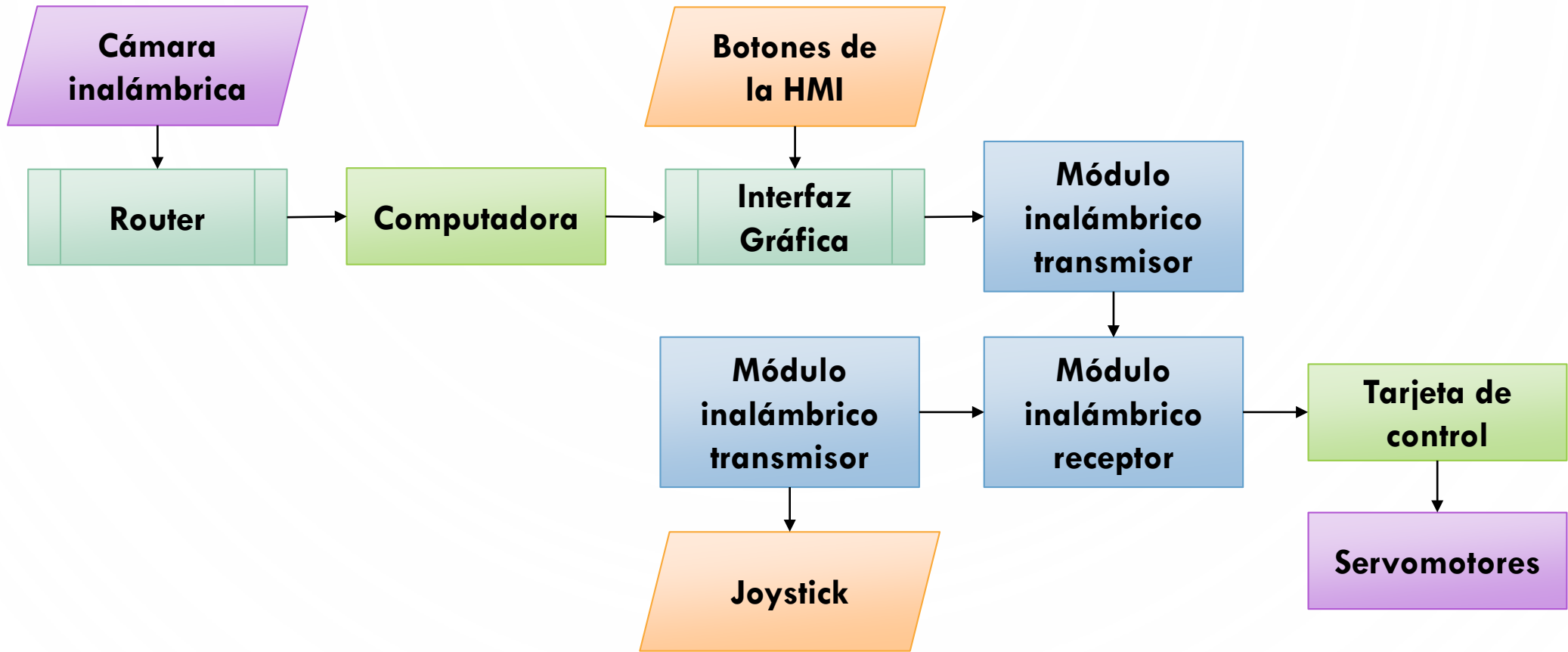


TORQUE APLICADO: 16,5 Kg cm
PESO ESTIMADO: 4 Kg
LÍMITE ELÁSTICO: 73,77 MPa

The image features a light blue background with a subtle grid pattern. In the four corners, there are decorative elements consisting of thin blue lines that branch out and terminate in small circles, resembling a circuit board or a neural network diagram. The central text is the main focus.

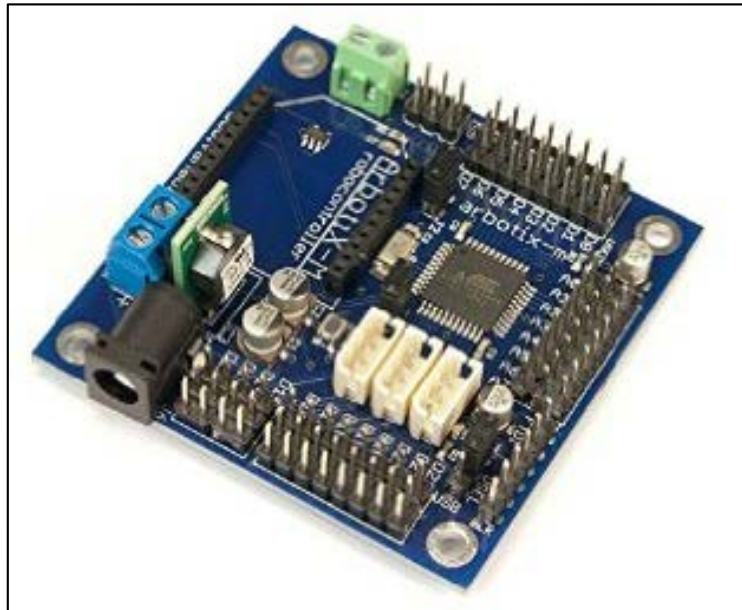
MÓDULO 2. LOCOMOCIÓN

Arquitectura del sistema



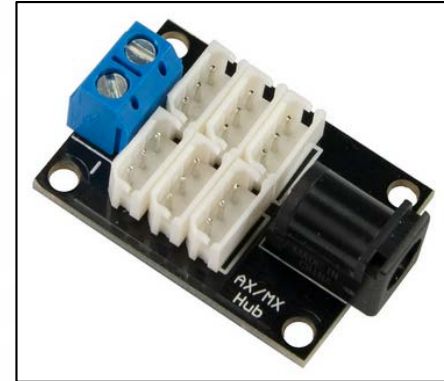
Componentes electrónicos

Tarjeta de control ArbotiX-M



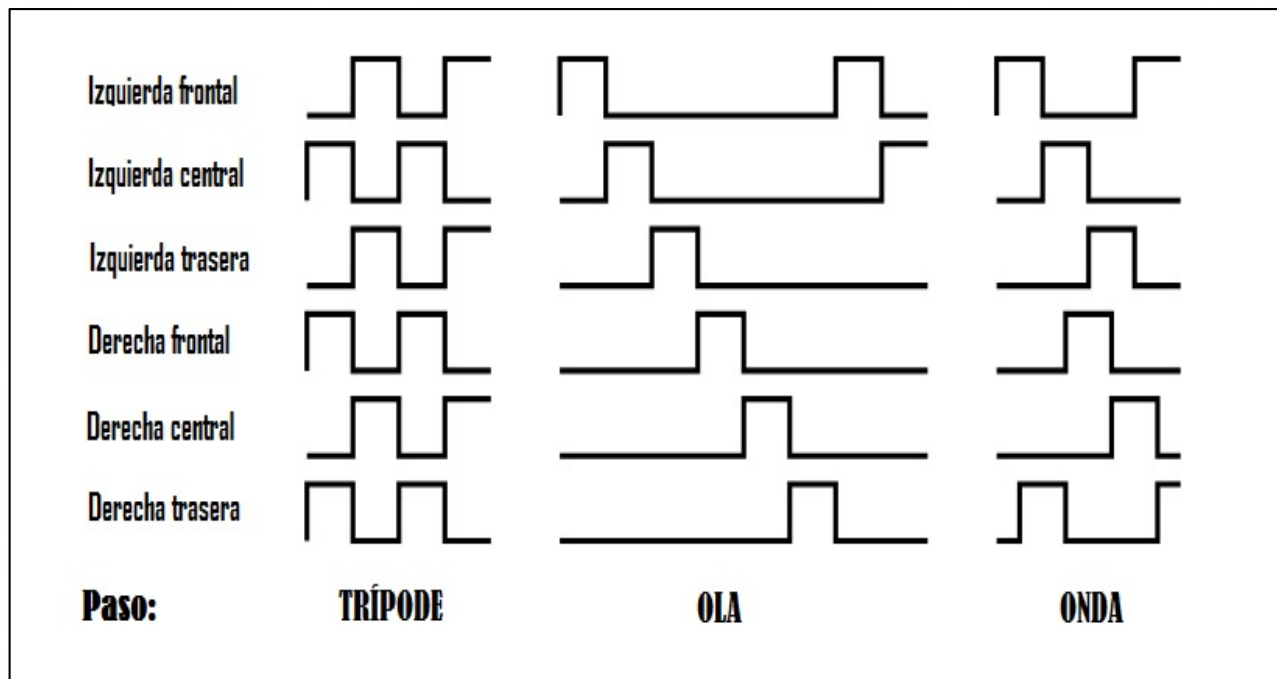
- Control de servomotores Dynamixel
- Entorno de programación arduino IDE
- Regulación de voltaje integrada para una conexión directa de la batería.

Dispositivo concentrador



Suministro de energía para 6
motores Dynamixel AX-MX

Secuencias de locomoción



- Paso de onda
- Paso de trípole
- Paso de trípole de media velocidad
- Paso de trípole de baja velocidad
- Paso de ola
- Paso de trípole de alta velocidad

The image features a light blue background with a subtle grid pattern. In the four corners, there are decorative elements consisting of thin blue lines that resemble circuit traces or data paths, ending in small circles. The central text is the main focus.

MÓDULO 3. MONITOREO

Cámara inalámbrica

Motorizada
Horizontal/vertical

Angulo de visión
75.7 grados

Velocidad de Imagen
30 fps

Peso
280 gramos

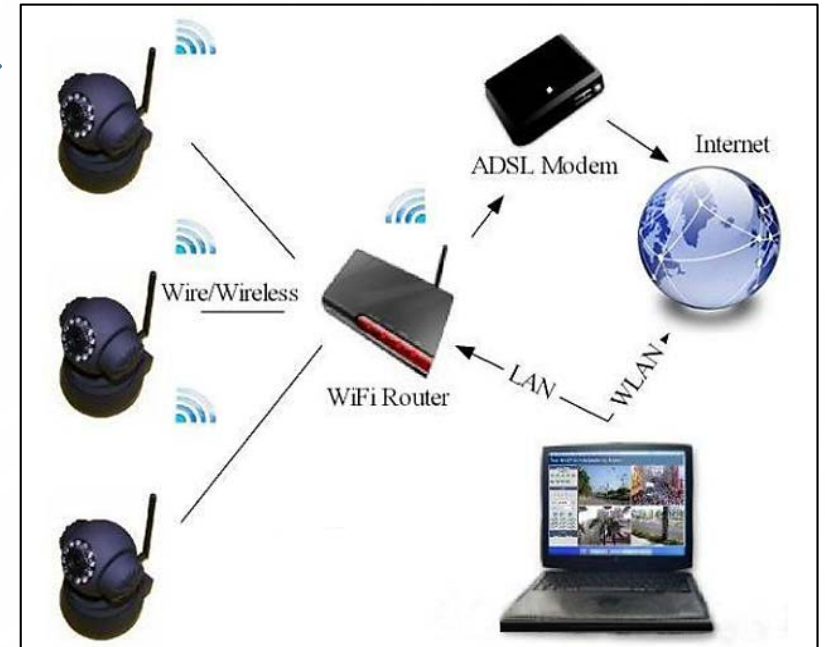
Visión Infrarroja



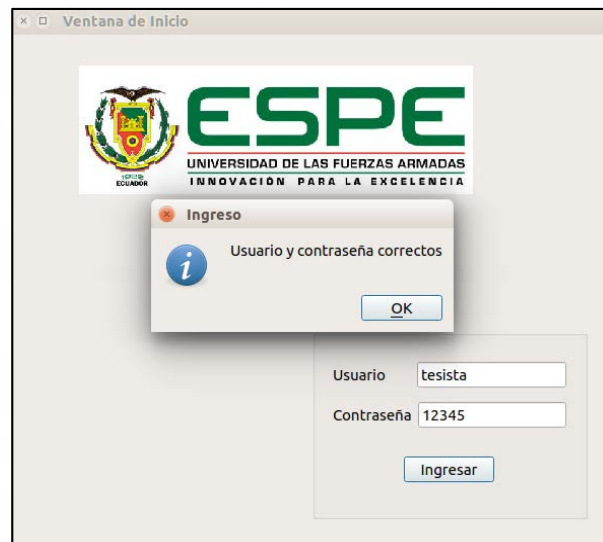
Alimentación
DC5V 2A



Regulador de voltaje
para 5V a 2A




Interfaz Gráfica



Interfaz Gráfica

Ventana de Control

Visualización del Entorno



Control de Cámara

Mando

Local
 Remoto

Control

Traslación:

Rotación:

Altura:

Modo caminata

Modo local activado

Ventana de Ayuda

Instrucciones de Control

Visualización del Entorno

<input type="button" value="Iniciar"/>	Habilita la visualización del entorno del robot.
<input type="button" value="Derecha"/>	Movimiento hacia la derecha de la cámara.
<input type="button" value="Izquierda"/>	Movimiento hacia la izquierda de la cámara.
<input type="button" value="Arriba"/>	Movimiento hacia la arriba de la cámara.
<input type="button" value="Abajo"/>	Movimiento hacia la abajo de la cámara.
<input type="button" value="Centrar"/>	Movimiento de la cámara hacia posición home.
<input type="button" value="Barrido Hor."/>	Barrido de la cámara en dirección horizontal.
<input type="button" value="Barrido Vert."/>	Barrido de la cámara en dirección vertical.

Tipo de Mando

Local Remoto

Habilita mando del robot desde el HMI.
Habilita mando del robot desde el joystick.

Traslación, Rotación y Altura

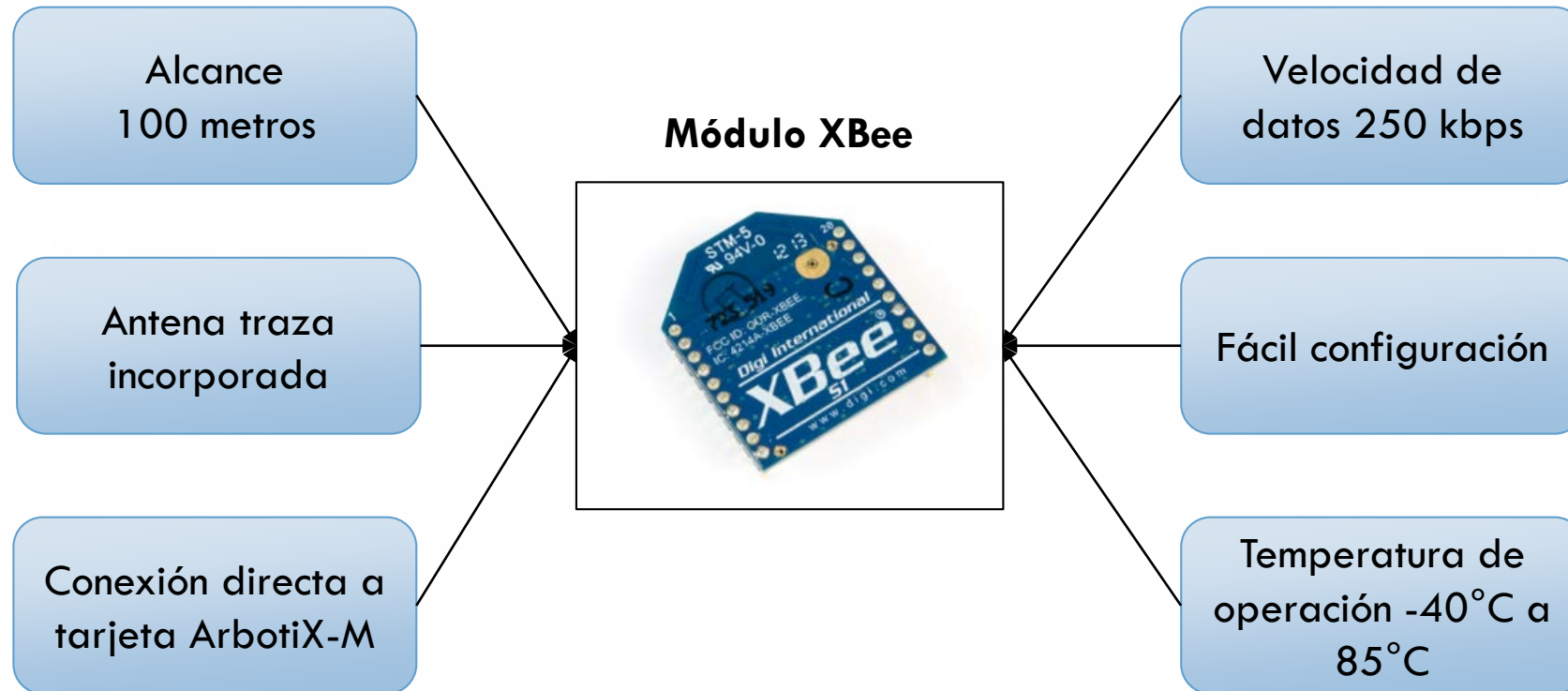
<input type="button" value="Adelante"/>	Movimiento de avance del robot.
<input type="button" value="Atrás"/>	Movimiento de retroceso del robot.
<input type="button" value="Derecha"/>	Movimiento del robot hacia la derecha.
<input type="button" value="Izquierda"/>	Movimiento del robot hacia la izquierda.
<input checked="" type="button" value="Subir"/>	Incrementa la distancia entre el cuerpo del robot y el suelo.
<input type="button" value="Bajar"/>	Disminuye la distancia entre el cuerpo del robot y el suelo.
<input type="button" value="Horaria"/>	Rotación del robot en sentido horario.
<input type="button" value="Antihoraria"/>	Rotación del robot en sentido antihorario.
<input type="button" value="Modo caminata"/>	Cambia entre los modos de caminata disponibles.

Entorno elaborado por Garcés Alex & Vallejo Daniel.

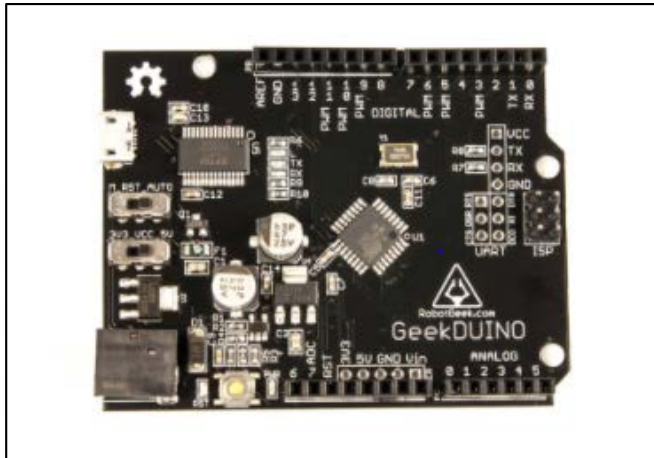
The image features a light blue background with decorative circuit-like lines in the corners. These lines are composed of straight segments and small circles, resembling a stylized PCB or network diagram. The lines are positioned in the top-left, top-right, bottom-left, and bottom-right corners, framing the central text.

MÓDULO 4. TELE-OPERACIÓN

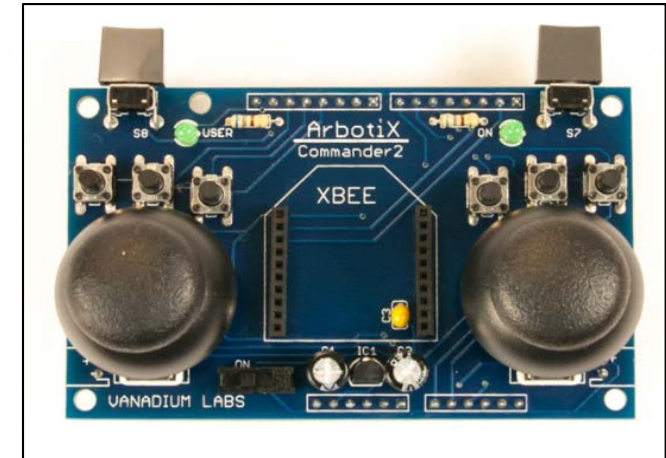
Comunicación



Mando



Tarjeta GeekDUINO



ArbotiX Commander 2.0

The image features a light blue background with a subtle, repeating pattern of a stylized circuit board. The pattern consists of interconnected lines and circular nodes, creating a grid-like structure. In the corners, there are larger, more detailed circuit diagrams. The top-left and bottom-left corners show a complex network of lines and nodes, while the top-right and bottom-right corners show simpler, more linear circuit paths. The text 'DISEÑO FINAL' is centered in the middle of the image.

DISEÑO FINAL

ATRIBUTOS TÉCNICOS	DESCRIPCIÓN
Tarjeta de control	ArbotiX-M
Servomotores	DYNAMIXEL
Torques de juntas	16,5 Kgf cm (coxa y tibia) 18 Kgf cm (fémur)
Batería	LiPo - 3 celdas
Alimentación	11.5 V – 6000 mAh
Programación	Software de código abierto
Grados de libertad por pierna	3 grados de libertad
Caminata	6 diferentes pasos de marcha
Construcción de estructura	Polímeros ABS, PMMA y FILAFLEX
Cámara	WANSCAM HW0024B
Ángulo de visión	75.7°
Ángulo de giro	355° horizontal, 90° vertical
Velocidad de imágenes	60Hz – 30 fps
Visión nocturna	Activado
Conexión a cámara	Vía router
Comunicación	Wireless XBee
Alcance de comunicación	100 metros máximo



IMPLEMENTACIÓN

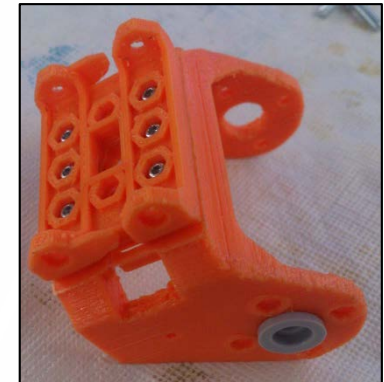


Fabricación de piezas

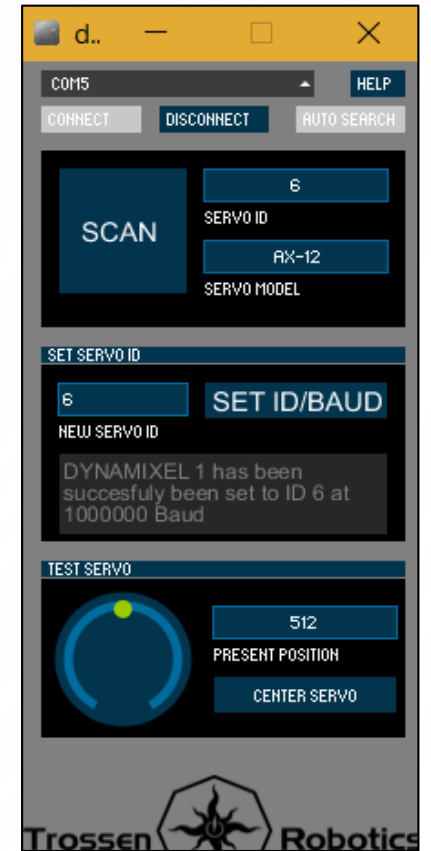
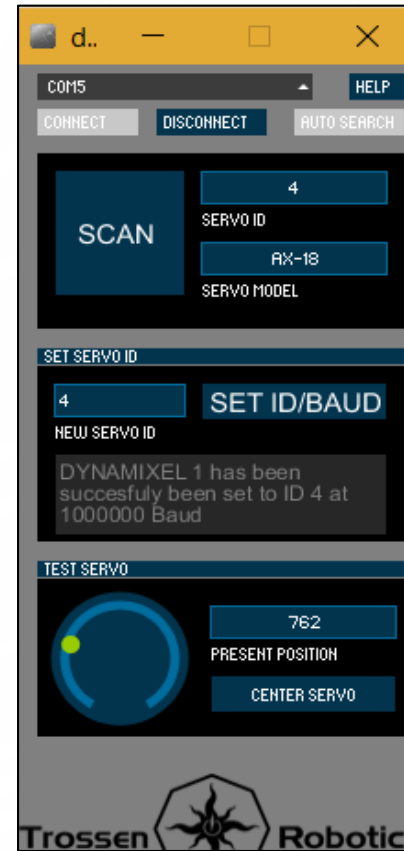
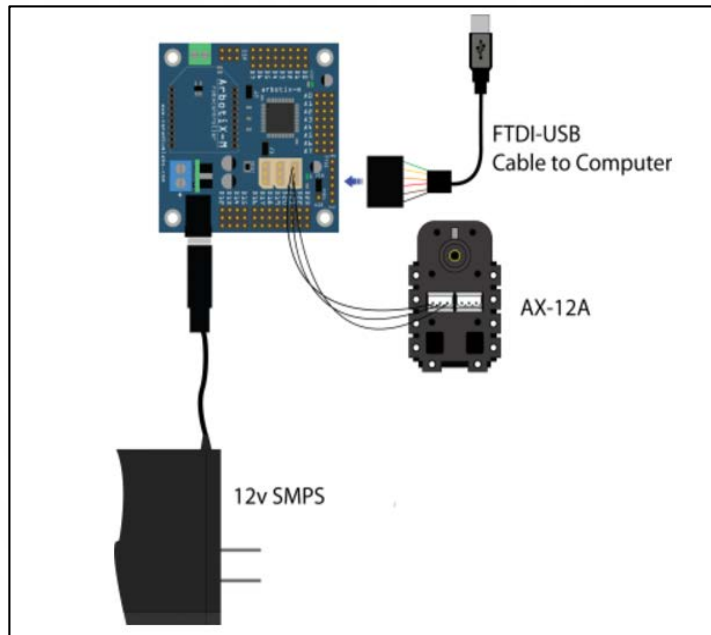
Nº piezas	Pieza	Fabricación	Material
1	Cuerpo inferior	Corte láser	PMMA
1	Cuerpo superior	Corte láser	PMMA
6	Cubiertas laterales	Impresión 3D	ABS
12	Soporte coxa-fémur	Impresión 3D	ABS
6	Junta fémur	Impresión 3D	ABS
6	Soporte fémur-tibia	Impresión 3D	ABS
12	Tibia	Corte láser	PMMA
6	Pie	Impresión 3D	ABS
6	Punta de pie	Impresión 3D	FFX



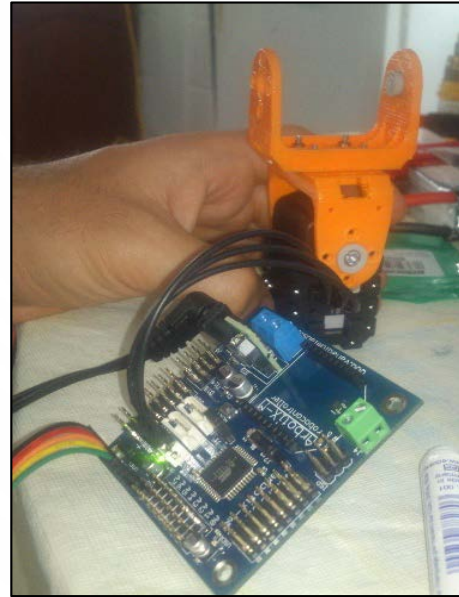
Ensamble de soportes



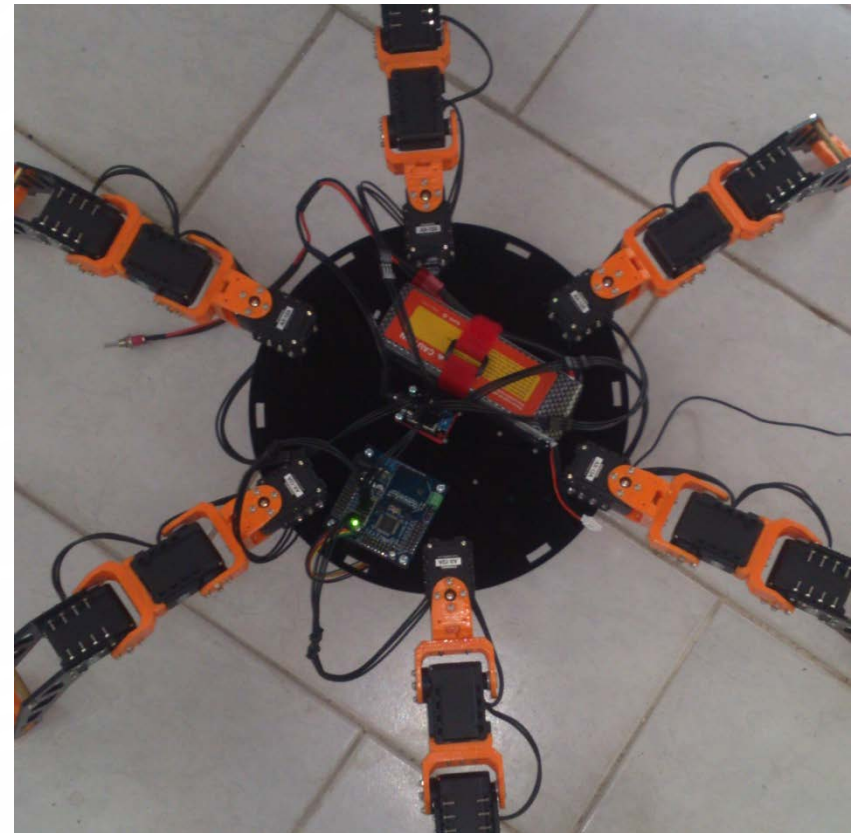
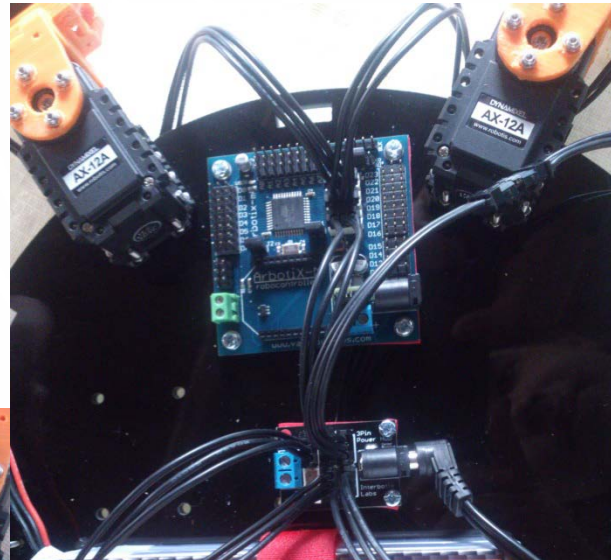
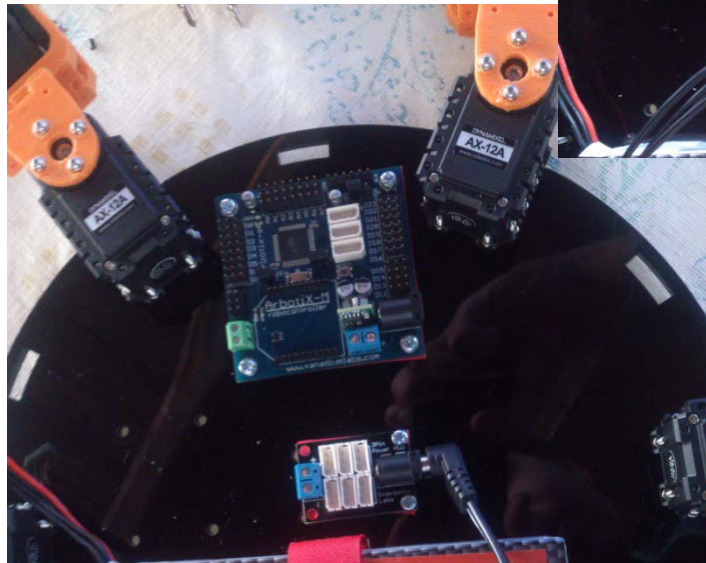
Identificación de servomotores



Ensamblaje de motores

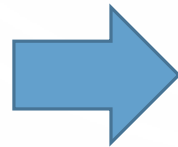


Implementación y conexiones



Configuración de módulos XBee

Xbee Explorer USB

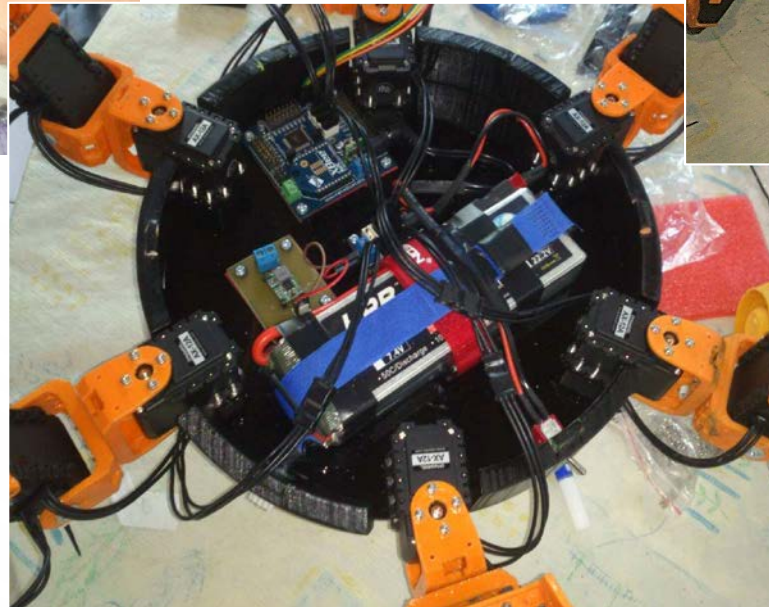
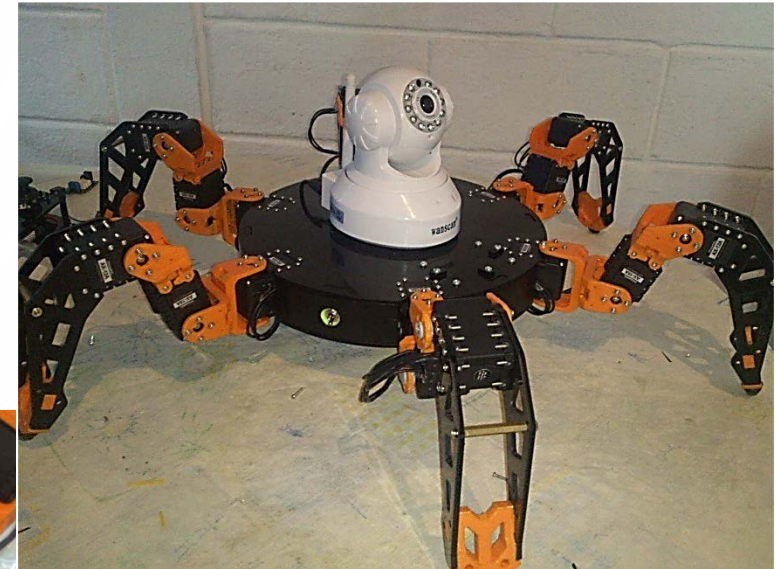
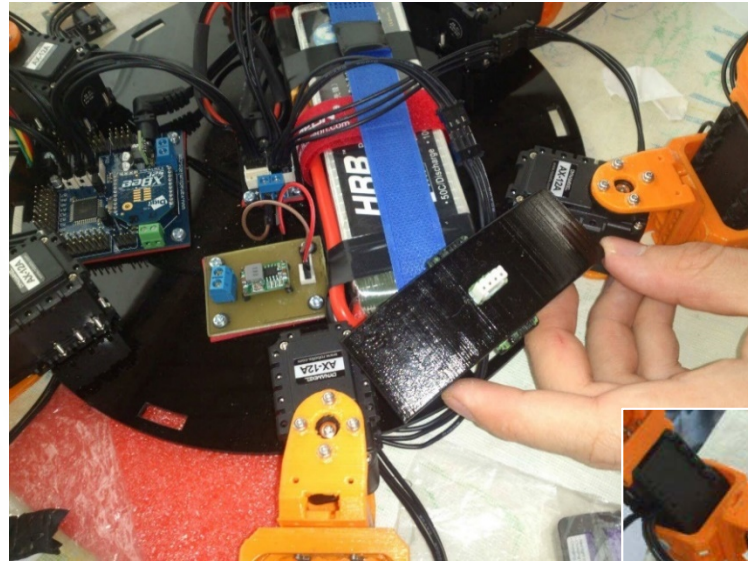


The image shows the XCTU software interface for configuring an XBee module. The window title is "XCTU" and the menu bar includes "XCTU", "Working Modes", "Tools", and "Help". The main interface is divided into several sections:

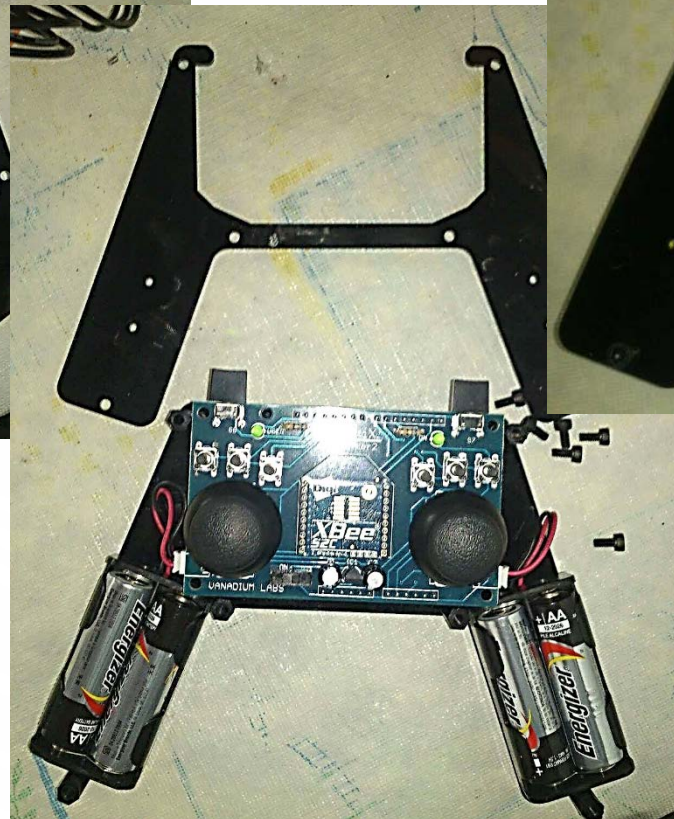
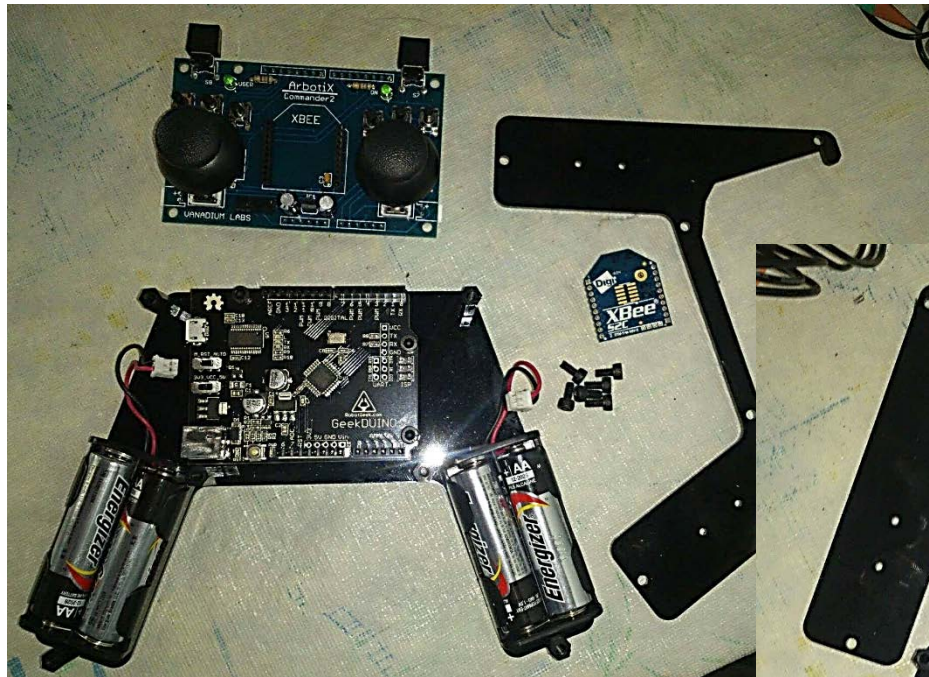
- Radio Modules:** A list of modules with details for the selected one: Name, Function: 802.15.4 TH, Port: COM5 - 9...1/N - AT, and MAC: 0013A2004152EDCE.
- Radio Configuration [- 0013A2004152EDCE]:** A detailed configuration panel with various settings. The "Networking & Security" section is expanded, showing a list of parameters with their current values and icons for read, write, and default actions.

Parameter	Value
CH Channel	C
ID PAN ID	100
DH Destinati...ress High	0
DL Destinati...dress Low	1
MY 16-bit S... Address	2
SH Serial Number High	13A200
SL Serial Number Low	4152EDCE
MM MAC Mode	802.15.4 + MaxStream h
RR XBee Retries	0
RN Random ...y Slots	0
NT Node Dis...ver Time	19 x 100 ms
NO Node Dis... Options	0 Bitfield
TO Transmit Options	0 Bitfield
C8 802.15.4 ...atibility	0 Bitfield
CE Coordinator Enable	End Device [0]

Ensamble final del robot



Ensamble del joystick



RESULTADOS



Pruebas de funcionamiento

Prueba de servomotores

Prueba de comunicación

Duración de la batería

Voltajes y amperajes requeridos

Elemento del robot	Nº Elementos	Voltaje [V]	Amperaje [mA]	Amperaje parcial [mA]
Servo AX-12	12	11,1	1500	18000
Servo AX-18	6	11,1	2200	13200
ArbotiX-M	1	5	93	93
Cámara IP	1	5	2000	2000
Xbee	1	3,3	50	50
Amperaje total necesario [mA]				33343

Todos los elementos trabajando al mismo tiempo


$$t_{DBat} = \frac{C_{batería}[mAh]}{A_{total}[mA]} = \frac{6000 mAh}{33343 mA} = 0,18 h = 10,8 min$$

Duración de la batería de acuerdo al tipo de caminata

Tipo de caminata	Motores en movimiento	Duración batería [min]
Paso de onda	AX-12: 4	27,39
	AX-18: 2	
Paso de trípode	AX-12: 6	19,79
	AX-18: 3	
Paso de ola	AX-12: 2	44,48
	AX-18: 1	

Locomoción del Robot



The image features a light blue background with a subtle grid pattern. In the four corners, there are decorative elements consisting of thin blue lines that branch out and end in small circles, resembling a circuit board or a network diagram. The word "CONCLUSIONES" is centered in a bold, blue, sans-serif font with a slight drop shadow.

CONCLUSIONES

The image features a white background with decorative circuit-like lines in the corners. The top-left and bottom-left corners have dark blue lines, while the top-right and bottom-right corners have light blue lines. These lines consist of straight segments connected by small circles, resembling a network or data flow diagram.

RECOMENDACIONES

The image features a light blue background with a subtle grid pattern. In the four corners, there are decorative elements consisting of thin blue lines that branch out and end in small circles, resembling a circuit board or a network diagram. The central text is in a bold, blue, sans-serif font with a slight drop shadow.

GRACIAS POR SU ATENCIÓN