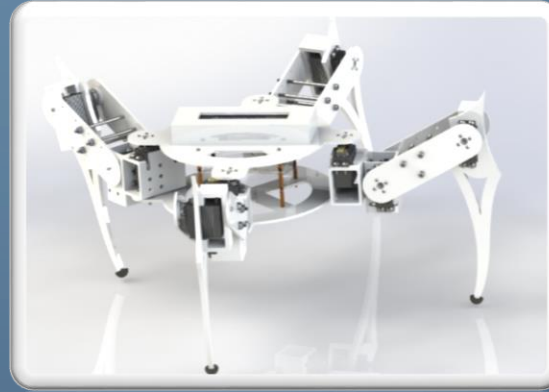




ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



DISEÑO Y COSTRUCIÓN DE UNA PLATAFORMA ROBÓTICA ZOOMÓRFICA DE CUATRO EXTREMIDADES CON DOCE GRADOS DE LIBERTAD

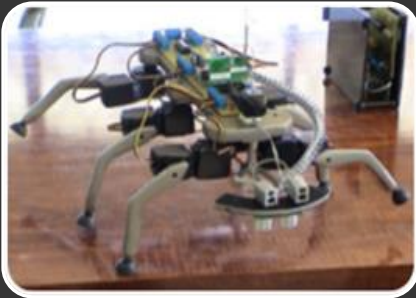
AUTORES:

Paola Rocío Benalcázar Redrobán
Alexis Raúl Noboa Encalada

DIRECTORA:

Ing. Johanna Tobar

ANTECEDENTES



Fuertes & Llumiquinga (2005)

- Teleoperado.
- Cámara para monitorización.
- Sensores de verificación de obstáculos y agujeros.



Mullo & Aymacaña (2009)

- Teleoperado con gran alcance.
- Cámara para monitorización
- No posee sensores.

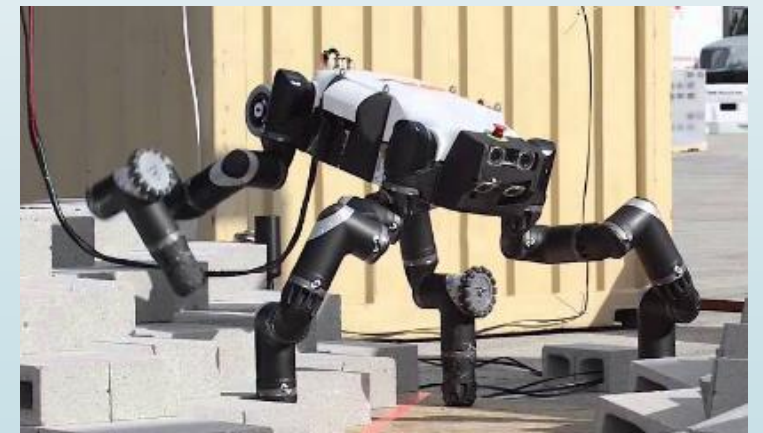


Andino & Rodríguez (2016)

- Inteligencia artificial aplicado a modelo comercial Phoenix
- Sin cámara para monitorización.
- Sensores para estabilidad y evasión de obstáculos.

JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Versatilidad
Estabilidad
Terrenos Irregulares



ÁREA DE INFLUENCIA



Automática y Control

Coordinación de movimiento
Rotación y Traslación de
Estructura Mecánica



Sistemas Electrónicos

Alimentación
Comunicación Inalámbrica
Señales pwm

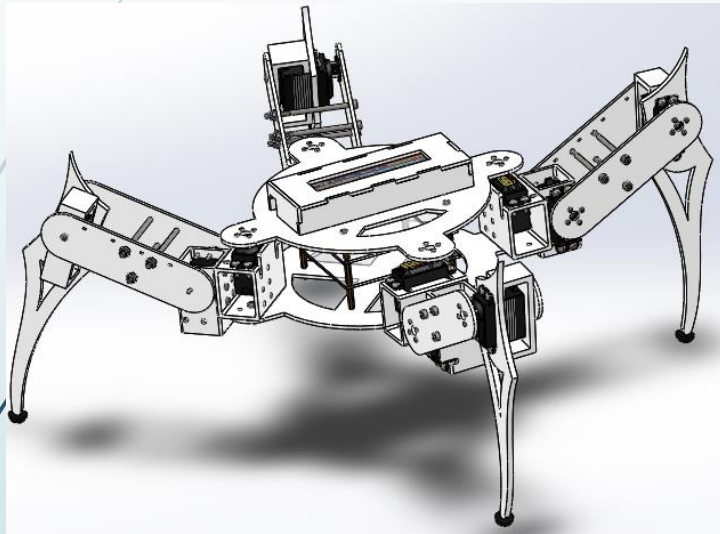


Software Libre

Investigación y desarrollo
sobre el framework Robot
Operating System (ROS)



OBJETIVOS



Mecanismo adecuado

Estructura mecánica

Sistema de potencia

Sistema de control

Placa electrónica

Sistema de comunicación

HMI y joystick

Funcionalidad y refinamiento

ALCANCE

Laboratorio de Instrumentación

- Algoritmos de control.
- Software libre (ROS).

Movilidad

- 12 grados de libertad.
- 3 motores por pata.

Comunicación

- Módulos RF 1km.
- Control inalámbrico.

Monitorización

- Cámara IP conectividad LAN y WLAN.
- Micro SD de hasta 32 GB.

DIRECTORIO

ESTADO DEL ARTE

MODELAMIENTO ROBÓTICO

COMPONENTES MECÁNICOS

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

DISEÑOR DEL SISTEMA DE POTENCIA

DESARROLLO DEL SOFTWARE

DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

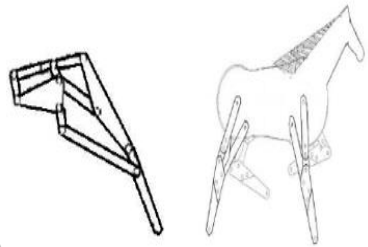
PRUEBAS Y RESULTADOS

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

ESTADO DEL ARTE

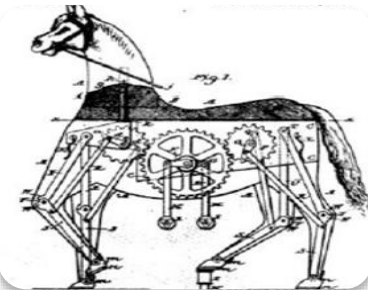


PERSPECTIVA HISTÓRICA



Mi Niu Lu Ma

- III c. AD -Sichuan de China
- Mecanismo de 10 barras
- 250kg.



The Mechanical Horse

- 1983-L.A Rygg
- Pedales

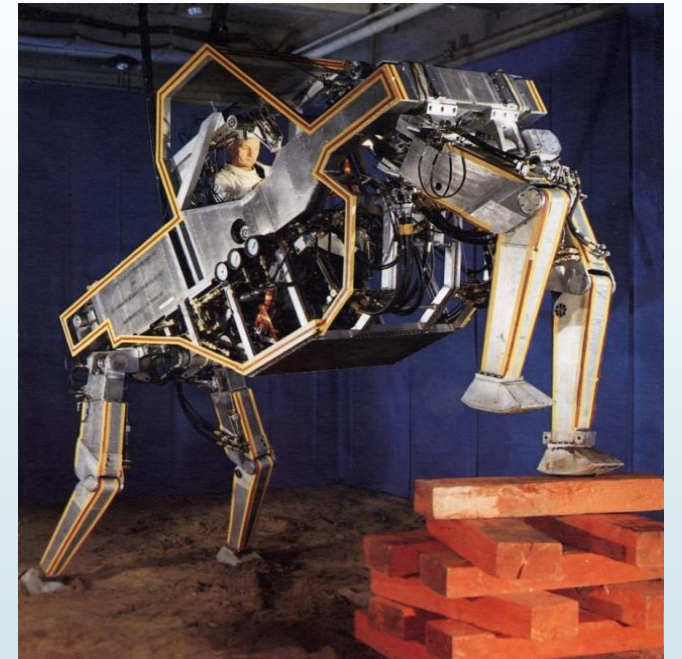


Asimov-2da. Guerra Mundial

- 1921
- Robot autónomos

DESARROLLO TECNOLÓGICO

- ▶ *The Iron Mule Train* (Morrison, 1968).
- ▶ *General Electric Quadruped*
Ralph Mosher (1960-1968)
- ▶ Cuadrúpedo de Raibert
(Raibert & Chepponis, 1986)



PROYECTOS REALIZADOS EN EL PAÍS



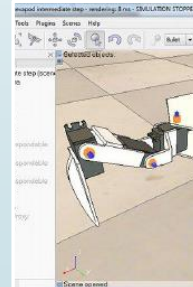
“Diseño e implementación de un robot móvil tipo hexápodo teledirigido”
ESPE(2005)



“Diseño y construcción de un robot de vigilancia”
EPN (2007)



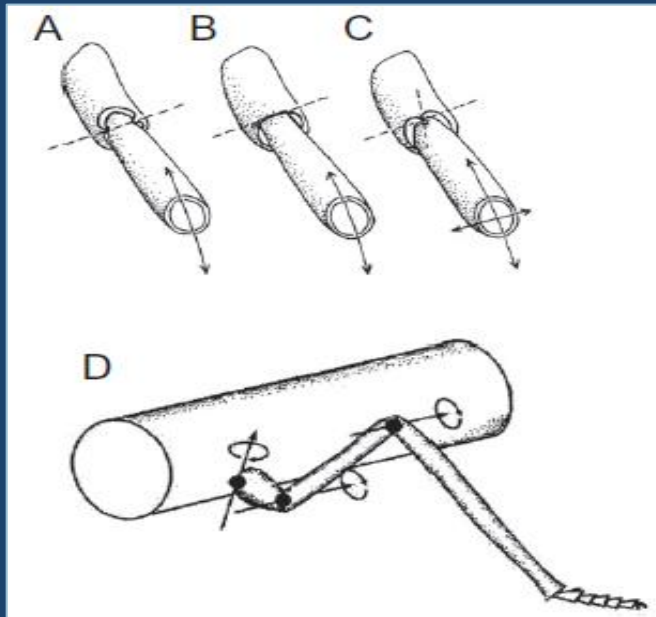
“Diseño y construcción de un robot hexápodo con sistema de articulaciones de apéndice flexible diseñado para lugares de difícil acceso, con sistema de control remoto y monitoreo en tiempo real”
ESPE (2009)



“Terrain Adaptive Gaits for Hexapod”
Universidad de Queensland(2014)

LOCOMOCIÓN TERRESTRE DE INSECTOS

► ESTRUCTURA DE LA PATA Klowden (2007)



► FACTORES DE CORRELACIÓN LONGITUDINALES ENTRE LOS SEGMENTOS DE LA PATA (Fichter & Fichter, 1988)

Segmentos: 0.81-0.96

Tibia – Fémur: 0.97

Tibia – Tarso: No correlación

Coxa – Tarso: 0.82

The background is a dark blue gradient with faint, light blue circuit-like patterns in the corners. These patterns consist of lines and small circles, resembling a stylized PCB or network diagram. The main title is centered in a dark blue horizontal bar.

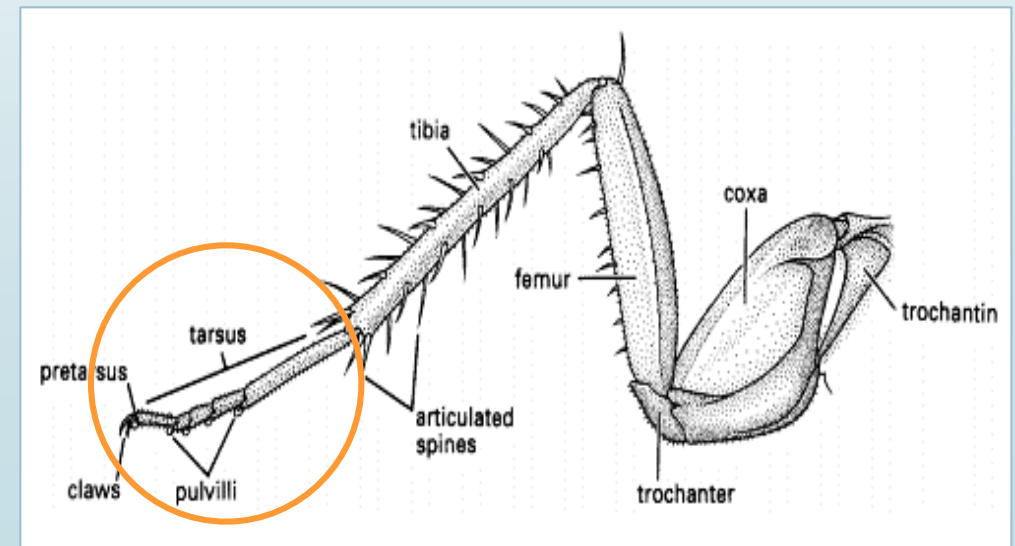
MODELAMIENTO ROBÓTICO

PARÁMETROS DEL ROBOT

Parámetros Físicos Generales del Robot

Parámetros	Especificación
Material	De elección libre
Tamaño	De elección libre
Número de extremidades	Seis o cuatro
Locomoción	Insectos

- *Tipo de locomoción*
- Materiales
- F.C.L de las extremidades
Tibia/Fémur ≈ 0.97
Link: Tibia-Tarso
Correlación: Tibia-Tarso/Fémur > 1



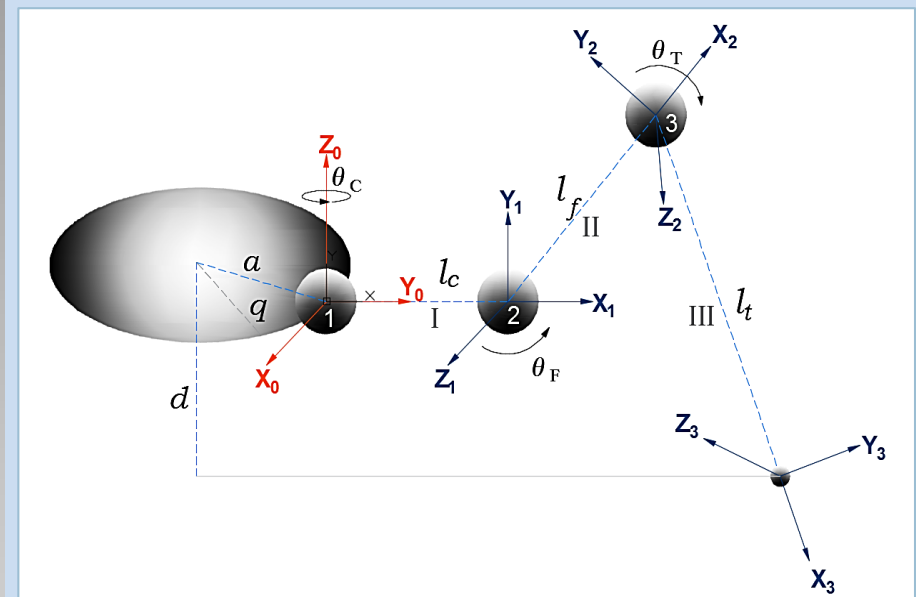
ANÁLISIS CINEMÁTICO

CINEMÁTICA DIRECTA

Algoritmo DH

$${}^{i-1}A_i = \begin{bmatrix} C\theta_i & -C\alpha_i S\theta_i & S\alpha_i S\theta_i & a_i C\theta_i \\ S\theta_i & C\alpha_i C\theta_i & -S\alpha_i C\theta_i & a_i S\theta_i \\ 0 & S\alpha_i & C\alpha_i & d_i \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = {}^0A_3 = {}^0A_I {}^IA_1 {}^1A_2 {}^2A_3$$



Parámetros de DH

Articulación	θ	d	α	a
I	q	d	0	a
Coxa-1	q_1	d_c	$-\pi/2$	a_c
Fémur-2	q_2	0	0	l_f
Tibia-3	q_3	0	0	l_t

ANÁLISIS CINEMÁTICO

► ECUACIONES QUE DEFINEN LA CINEMÁTICA DIRECTA

$$p_x = \cos(q + q_1) (a_c + l_f \cos(q_2) + l_t \cos(q_2 + q_3)) + a \cos(q) \quad (1)$$

$$p_y = \sin(q + q_1) (a_c + l_f \cos(q_2) + l_t \cos(q_2 + q_3)) + a \sin(q) \quad (2)$$

$$p_z = d + d_c - l_t \sin(q_2 + q_3) - l_f \sin(q_2) \quad (3)$$

ANÁLISIS CINEMÁTICO

CINEMÁTICA INVERSA

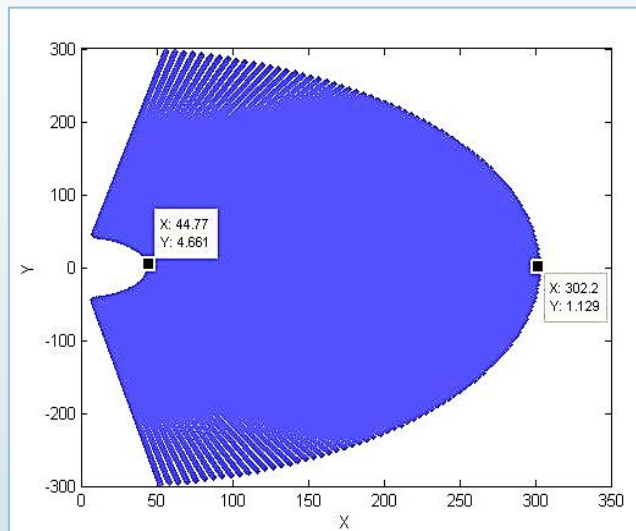
$$q_1 = \tan^{-1} \left(\frac{p_x - a \cos(q)}{p_y - a \sin(q)} \right) - q$$

$$({}^1A_1)^{-1}({}^0A_I)^{-1}T = {}^1A_2 {}^2A_3$$

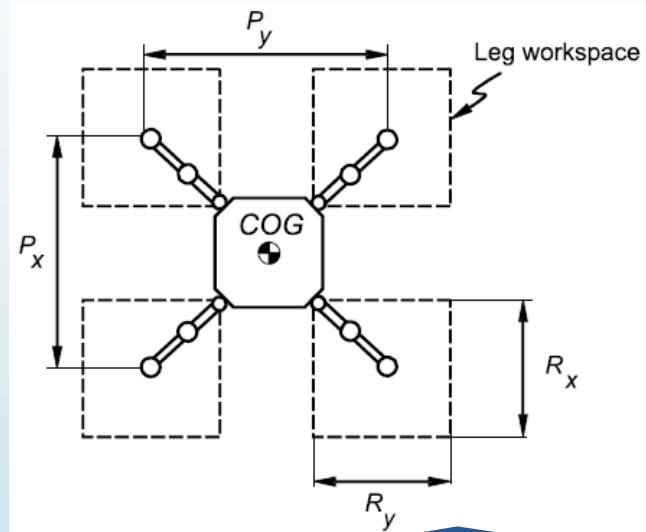
q2

q3

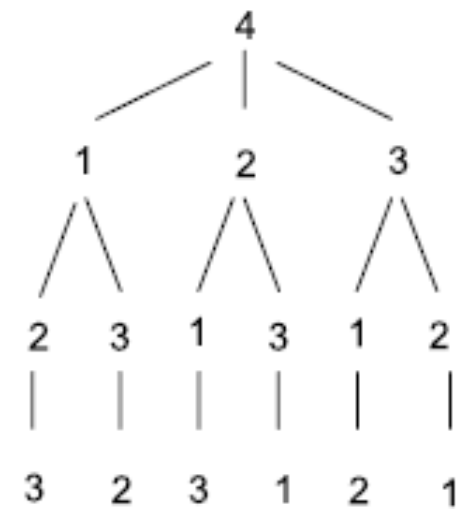
GENERACIÓN DE LA LOCOMOCIÓN



Espacio de trabajo

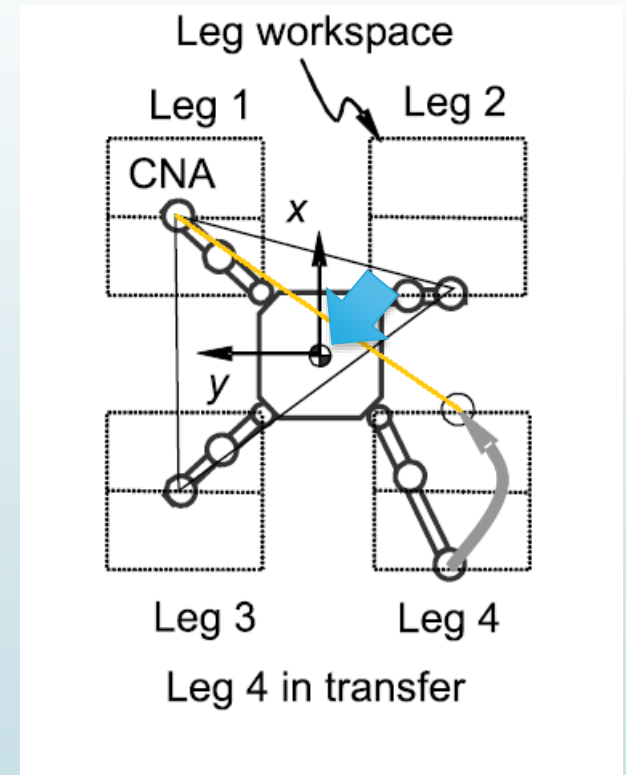
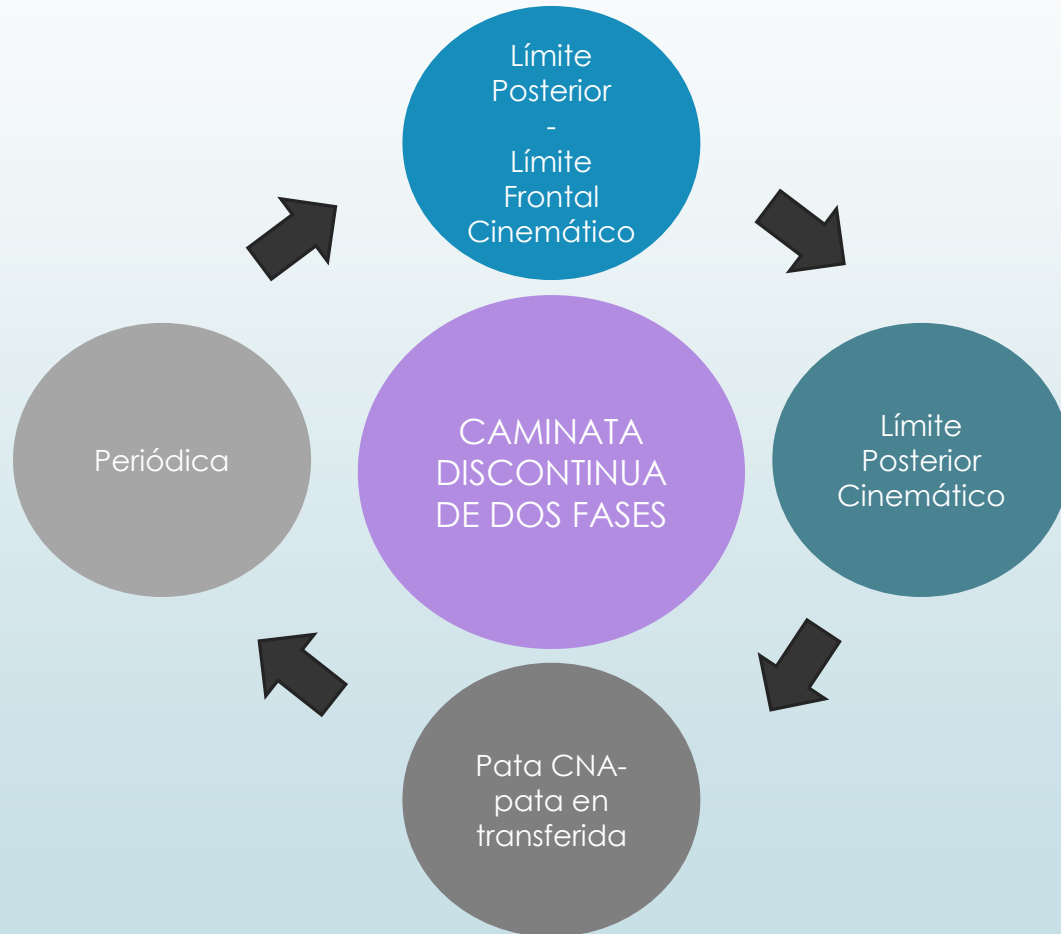


Secuencias posibles

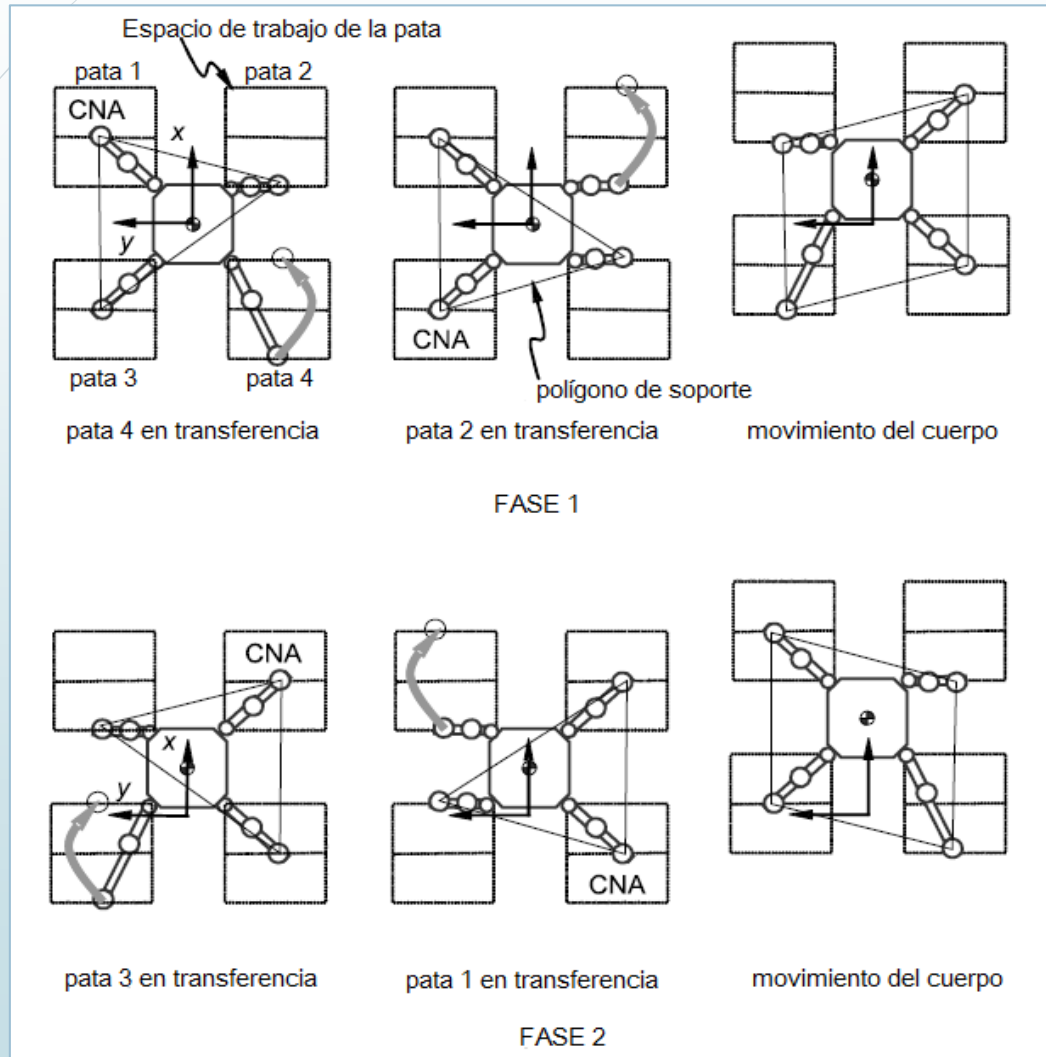


Parámetros de caminata

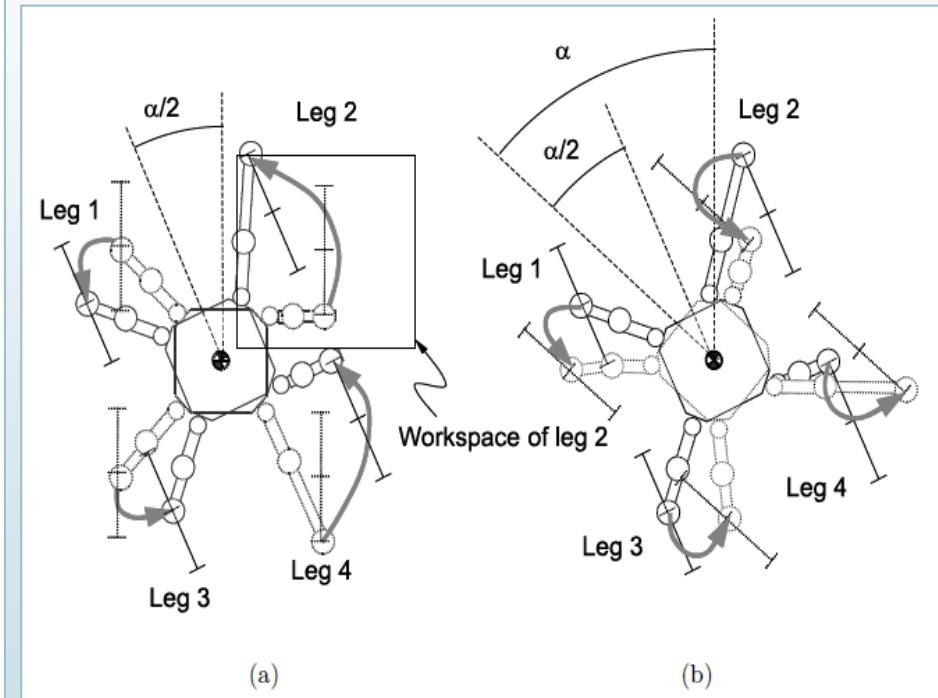
GENERACIÓN DE LOCOMOCIÓN



GENERACIÓN DE LOCOMOCIÓN



TRASLACIÓN



ROTACIÓN

3-4-BM-2-1-1-2-BM-4-3

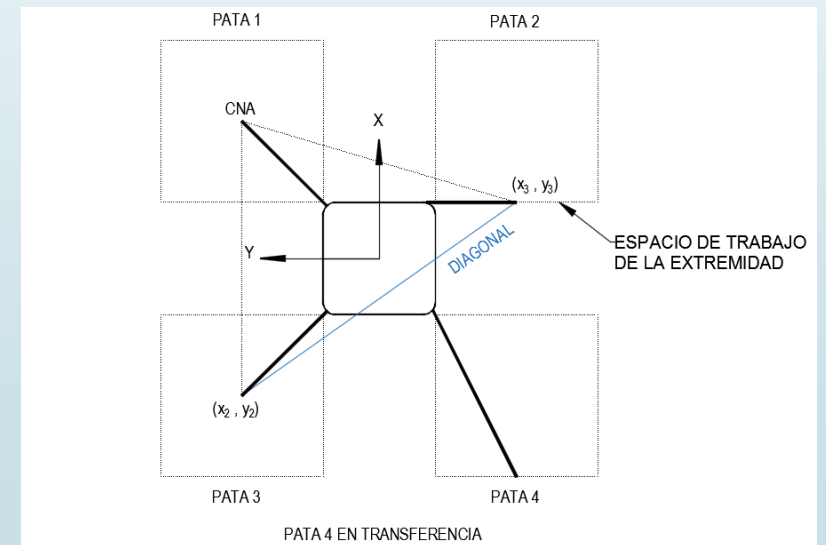
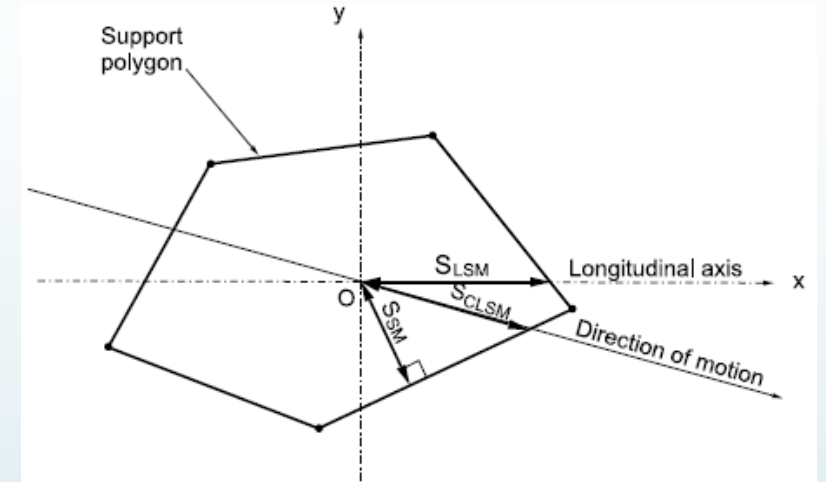
ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICA

MARGEN DE ESTABILIDAD LONGITUDITNAL TRASLACIÓN

$$S_{LSM_D} = \left| -y_2 \left(\frac{x_3 - y_2}{y_3 - y_2} \right) + x_2 \right|$$

Margen de Estabilidad Longitudinal para cada extremidad

	x_2	y_2	x_3	y_3	S_{LSM}
Pata 1	$P_x/2$	$-P_y/2$	$-P_x/2 + R_x/2$	$P_y/2$	$R_x/4$
Pata 2	$P_x/2$	$P_y/2$	$-P_x/2 + R_x/2$	$-P_y/2$	$R_x/4$
Pata 3	$-P_x/2$	$-P_y/2$	$P_x/2 - R_x/2$	$P_y/2$	$R_x/4$
Pata 4	$-P_x/2$	$P_y/2$	$P_x/2 - R_x/2$	$-P_y/2$	$R_x/4$



ANÁLISIS DE ESTABILIDAD ESTÁTICA

► ROTACIÓN

- Margen de Estabilidad Longitudinal para cada extremidad

$$S_{LSM_{R+}} = \frac{P_y R_x \cos(\alpha) - (P_x^2 + P_y^2 - P_x R_x) \sin(\alpha)}{4 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left(P_y \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + P_x \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)}$$

$$S_{LSM_{R-}} = \frac{P_y R_x \cos(\alpha) - (P_x^2 + P_y^2 - P_x R_x) \sin(\alpha)}{4 \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) \left(P_y \cos\left(\frac{\alpha}{2}\right) + P_x \sin\left(\frac{\alpha}{2}\right)\right)}$$

ANÁLISIS DINÁMICO DEL ROBOT

- Relaciona el movimiento con fuerzas que actúan en él.
- Ecuaciones entre las variables articulares, sus velocidades, y aceleraciones.
- Fuerzas y pares en función de las masas, inercias y geometrías de los elementos.
- Euler-Lagrange entrega ecuaciones cerradas en lugar de Newton-Euler.

MÉTODO DE EULER-LAGRANGE

- Análisis de energías cinética y potencial
- Obtención de los torques de cada variable articular.

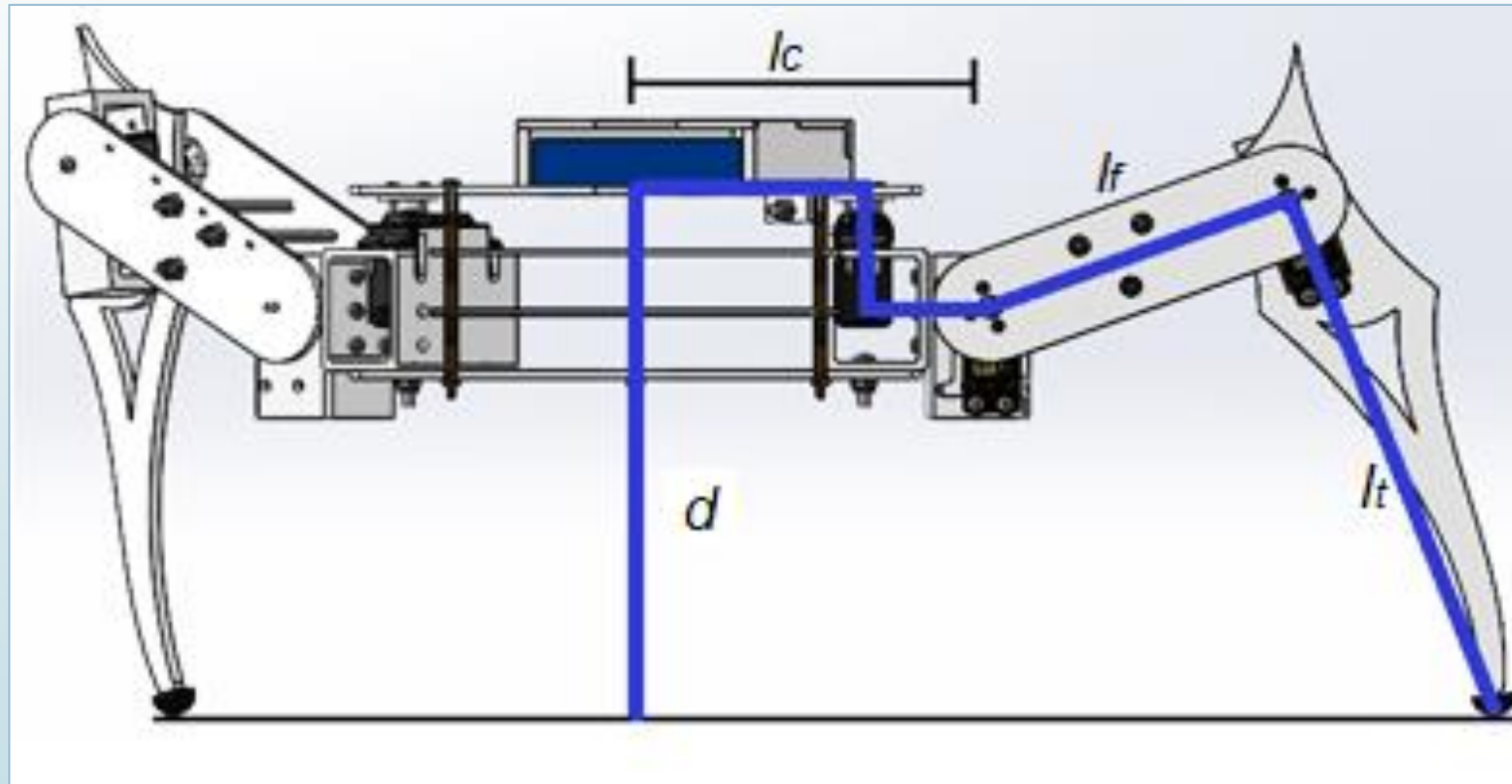
Lagrangiano

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

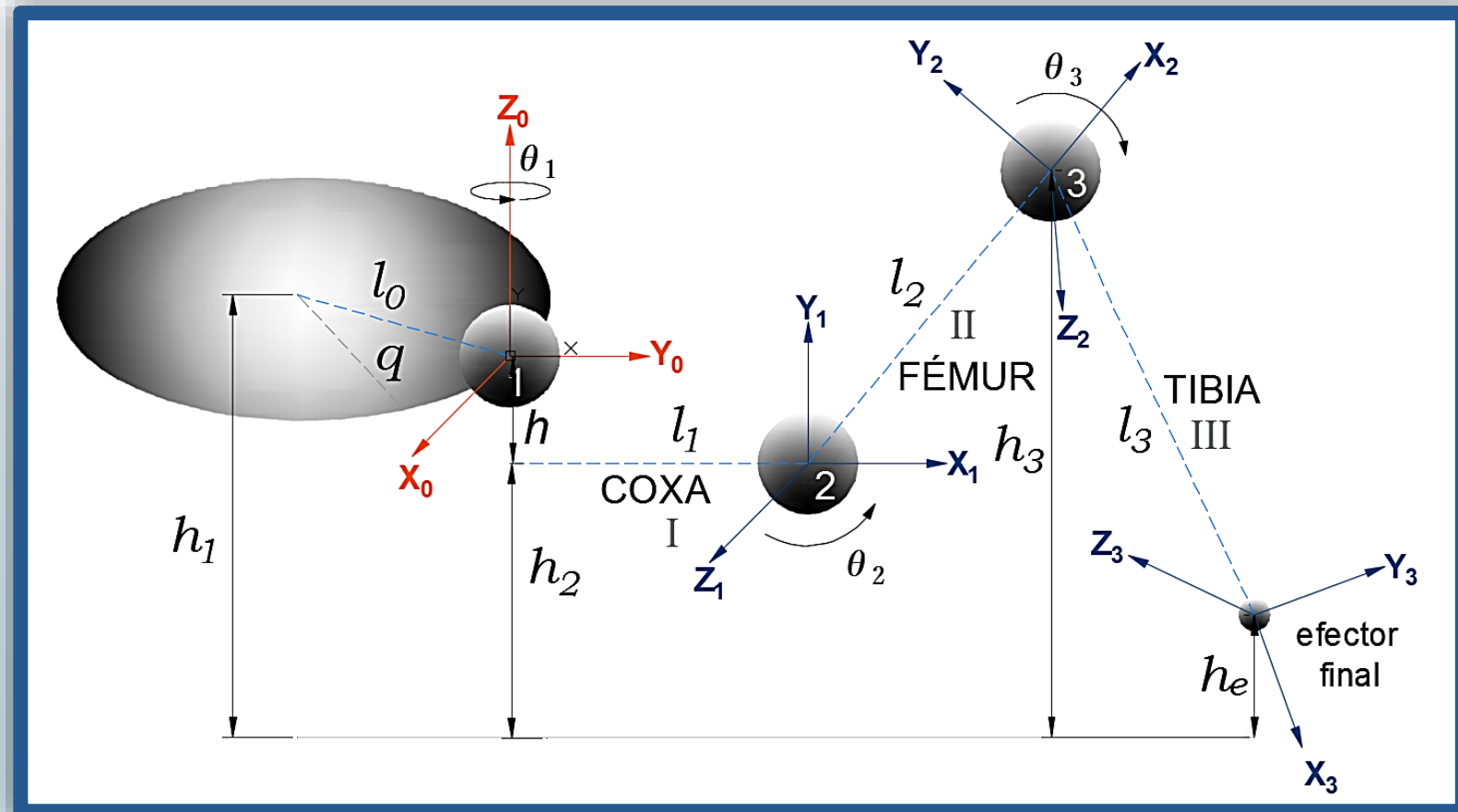
Ecuación Euler-Lagrange

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

MODELO CAD DE UNA EXTREMIDAD



ESQUEMA DE UNA PATA PARA ANÁLISIS DE ENERGÍAS



ANÁLISIS DE ENERGÍA DE UN ESLABÓN

Energía Cinética

$$K_3 = \frac{1}{2} m_3 v_3^2 + \frac{1}{2} I_3 \left(\dot{\theta}_1^2 + (\dot{\theta}_2 - \dot{\theta}_3)^2 \right)$$

$$v_3^2 = \dot{x}_{CG3}^2 + \dot{y}_{CG3}^2 + \dot{z}_{CG3}^2$$

Energía Potencial

$$U_3 = m_3 g \left(h_2 + l_2 S \theta_2 - \frac{l_3}{2} S(\theta_3 - \theta_2) \right)$$

MODELAMIENTO DEL TORQUE

Lagrangiano Total

$$L(\theta, \dot{\theta}) = K_1(\theta, \dot{\theta}) + K_2(\theta, \dot{\theta}) + K_3(\theta, \dot{\theta}) + K_4(\theta, \dot{\theta}) - [U_1(\theta) + U_2(\theta) + U_3(\theta) + U_4(\theta)]$$

Euler Lagrange

$$\tau_1 = \frac{d}{dt} \left(\frac{\partial L}{\partial \dot{\theta}_1} \right) - \frac{\partial L}{\partial \theta_1}$$

CÁLCULO NUMÉRICO DEL TORQUE

Elemento	Valor	Unidad
m_1	0.16	kg
I_1	0.0482	kg/cm^2
l_1	4.38	cm
θ_1	0.22	rad
$\dot{\theta}_1$	6.16	rad/s
$\ddot{\theta}_1$	0	rad/s^2

- Se analiza el instante de mayor energía en el sistema dinámico.
- Se encuentra todos los datos en ese instante de tiempo.

τ_1

• 0,46 $kg.cm$

τ_2

• 13.40 $kg.cm$

τ_3

• 2,79 $kg.cm$

The image features a dark blue background with a subtle grid pattern. In the center, a dark blue horizontal bar contains the text 'COMPONENTES MECÁNICOS' in white, uppercase, sans-serif font. The corners of the image are decorated with white and light blue circuit-like lines and nodes, resembling a PCB layout.

COMPONENTES MECÁNICOS

ACTUADORES Y DIMENSIONAMIENTO

- Se necesita un total de 12 motores distribuidos 3 en cada pata.
- Los servomotores son ideales para estas aplicaciones.
- Se aplica un factor de seguridad de 1,5.

τ_1	0,46(1,5)	0,7 kg*cm
τ_2	13,40(1,5)	20,1 kg*cm
τ_3	2,79(1,5)	4,19 kg*cm

SERVOMOTORES

Marca	TowerPro
Serie	MG958
Peso	55g
Dimensiones	40.7 × 19.7 × 42.9 mm
Velocidad rotacional	(4.8v) 0.18 s / 60°
	(6.0v) 0.15 s / 60°
Voltaje de operación	4.8 - 6.6 V
Corriente de operación	500 – 900 mA
Torque	(4.8v) 18 kg.cm
	(6.6v) 20 kg.cm
Rango de temperatura	0 - 55°C
Banda muerta	1 us
Longitud del cable	32 cm
Engranajes y ejes	Aluminio 6061-T6

► Torque necesario 20 kg*cm.

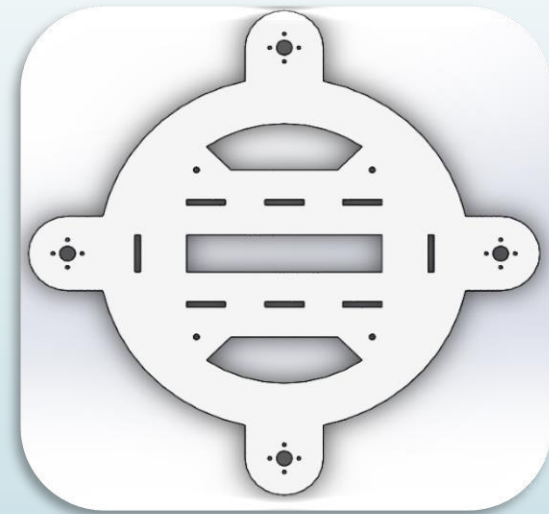


ESTRUCTURA

► ESTRUCTURA DEL CUERPO



Placa inferior del cuerpo

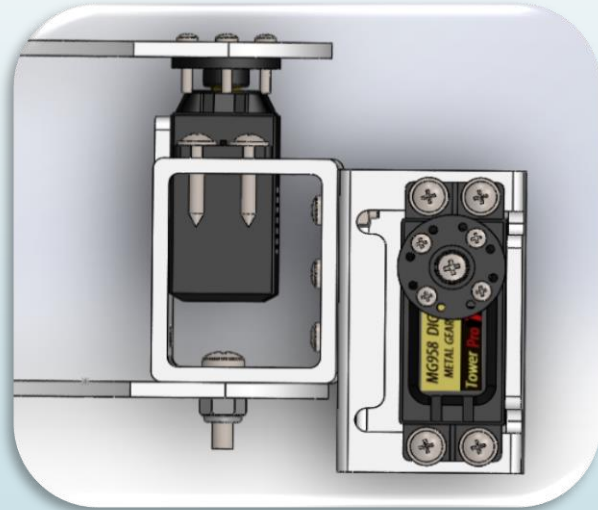


Placa superior del cuerpo

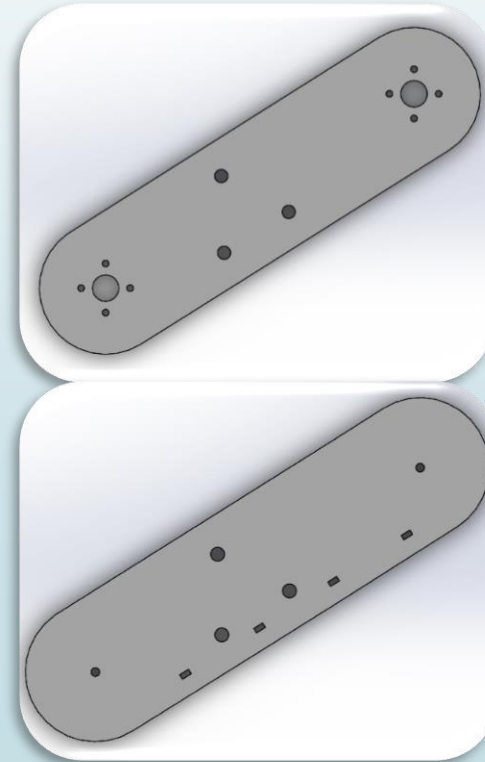
ESTRUCTURA

► ESTRUCTURA DE LAS EXTREMIDADES

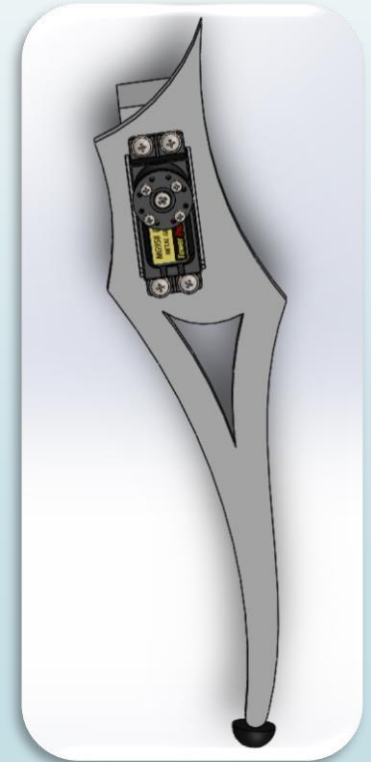
COXA



FÉMUR



TIBIA



ESTRUCTURA

► ELECCIÓN DEL MATERIAL

Materiales	Pon.	Al	%	ABS	%	Acrílico	%
Resistencia	25%	5	1.25	2	0.5	3	0.75
Elasticidad	25%	5	1.25	2	0.5	3	0.75
Costo	20%	2	0.4	3	0.6	4	0.8
F. Manufactura	15%	2	0.3	3	0.45	4	0.6
Disponibilidad	15%	1	0.15	3	0.45	5	0.75
	TOTAL		3.35		2.5		3.65

ANÁLISIS DE ESFUERZOS

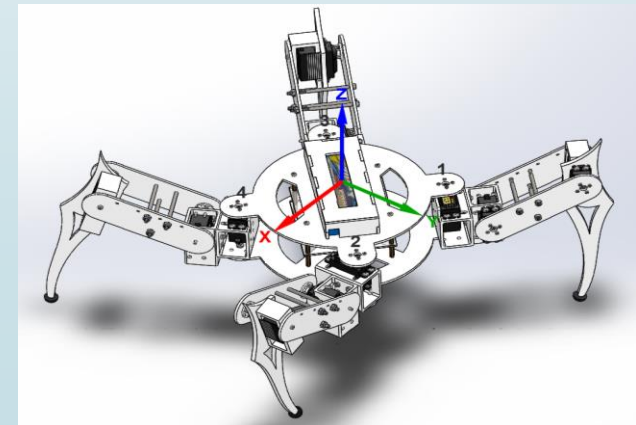
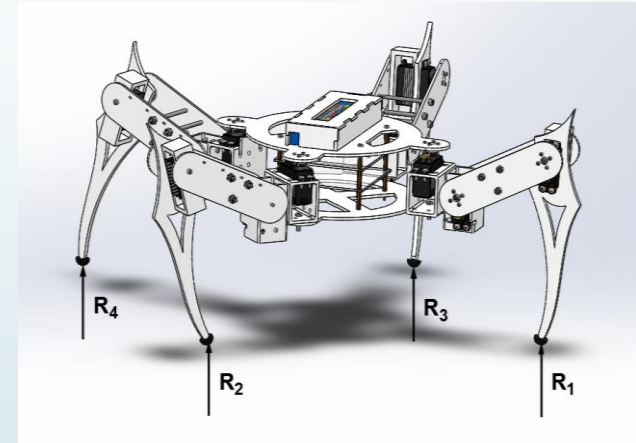
➔ ANÁLISIS ESTÁTICO



Método del Área Cooperante



$$R_2 = \frac{1}{2}W_b + W_2 + W_3$$
$$R_2 = 14.41 N$$



ANÁLISIS DE ESFUERZOS

→

ESLABÓN 3

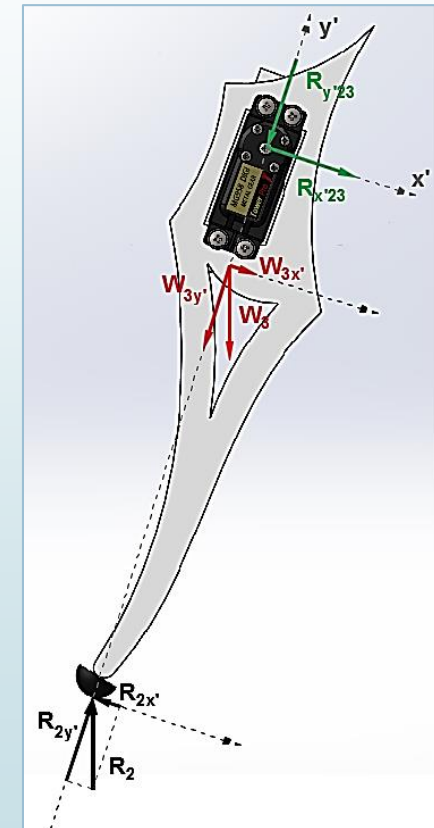
↓

$$\sum F_{x'} = 0$$

$$\begin{aligned} -R_{2x'} + R_{x'23} + W_{3x'} &= 0 \\ R_{x'23} &= R_2 \sin 16 - W_3 \sin 16 \\ R_{x'23} &= 3.70 \text{ N} \end{aligned}$$

$$\sum F_{x'} = 0$$

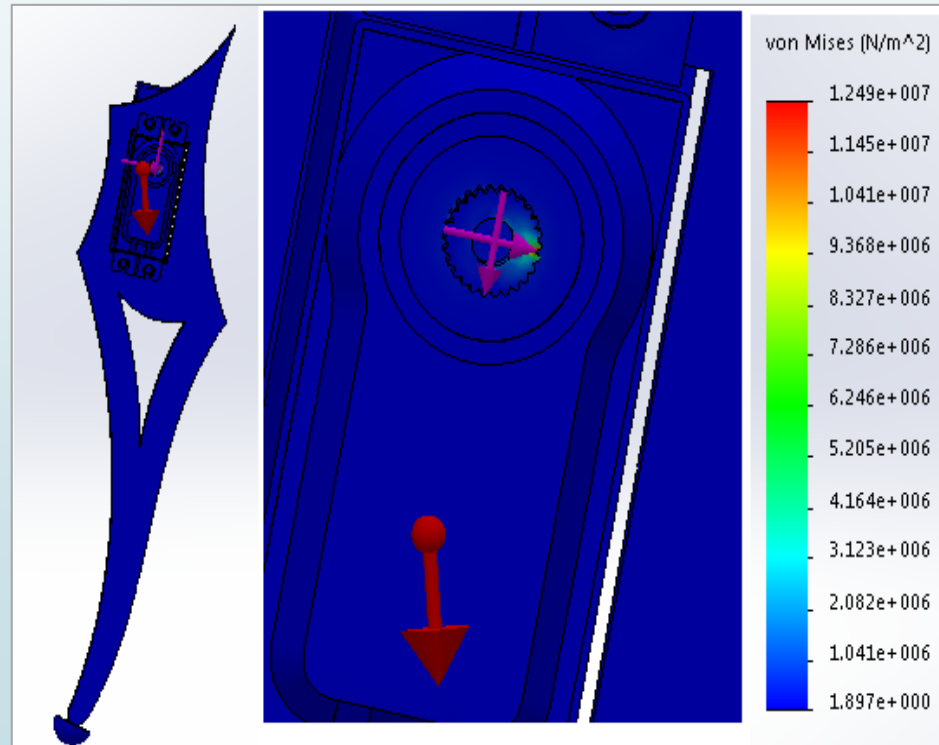
$$\begin{aligned} -R_{2x'} + R_{x'23} + W_{3x'} &= 0 \\ R_{x'23} &= R_2 \sin 16 - W_3 \sin 16 \\ R_{x'23} &= 3.70 \text{ N} \end{aligned}$$



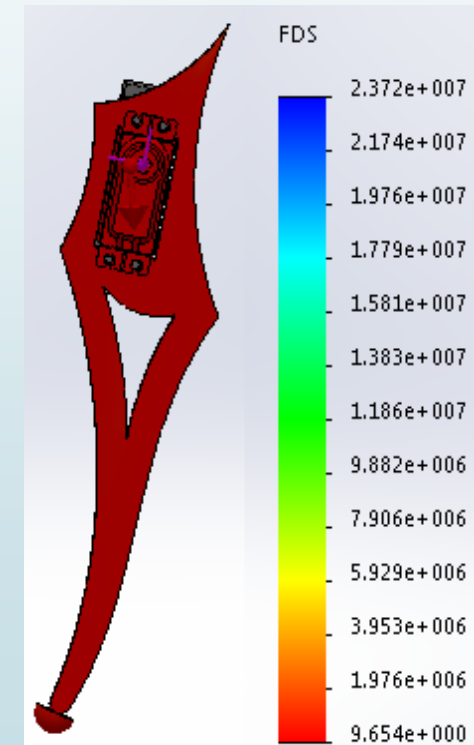
ANÁLISIS MECÁNICO DE LAS PIEZAS

ESLABÓN 3

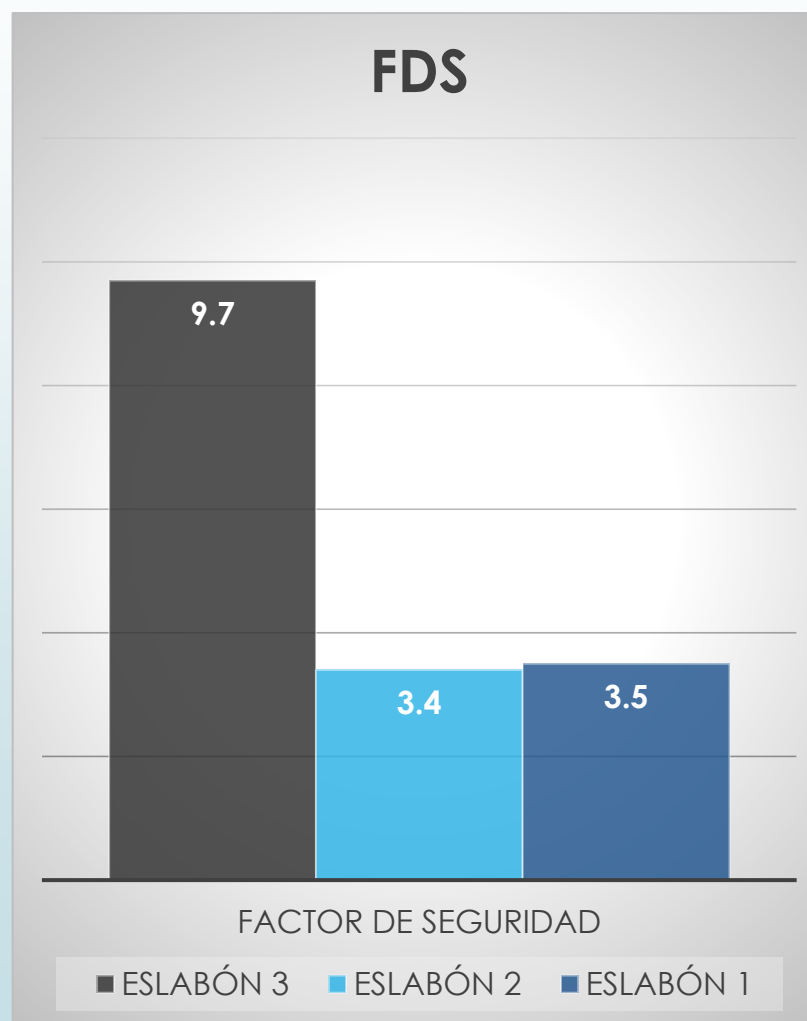
Diagrama de Esfuerzos



Factor de Seguridad



ANÁLISIS MECÁNICO DE LAS PIEZAS



DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA

DISEÑO DEL SISTEMA DE POTENCIA

	Característica	NiCd	NiMH	LiPo
A	Densidad de almacenamiento	Baja	Baja (Aprox. 50% más que las de NiCd)	Alta
B	Efecto memoria	Si	Bajo	-
C	Costo	Barato	Barato	Alto
D	Autodescarga	1% diario	1.5% diario	0.2% diario
E	Vida útil (carga/descarga)	1000 ciclos	1000 ciclos	500 ciclos
F	Contaminante	Sí	No	No

Parámetro	NiCd	NiMH	LiPo
Dimensiones	164 x 64 x 33mm	50.8x172.7x27.9 mm	138x47x25mm
Peso	680.4g	422g	301g
Capacidad	5000mAh	5000mAh	5000mAh
Voltaje	6V	7.2V	7.4V

	A		B		C		D		E		F		Total
Pond.		50%		6%		10%		9%		20%		5%	100%
NiCd	1	0.5	1	0.06	5	0.5	1	0.09	5	1	1	0.05	2.20
NiMH	2	1	4	0.24	4	0.4	1	0.09	5	1	4	0.2	2.93
LiPo	5	2.5	5	0.3	3	0.3	5	0.6	3	0.6	4	0.2	4.35

DURACIÓN DE BATERÍA

- Batería recargable de LiPo de 7.4 V y 5000mAh.
- Consumo de energía.

Elemento	Número de elementos	Voltaje necesario	Amperaje necesario	Amperaje parcial necesario
		V	mA	mA
Servo motores	12	6.6	700	8400
Arduino Mega	1	5	93	93
Cámara IP	1	5	1000	1000
Módulo de Radio Frecuencia	1	5	20	20
Amperaje total necesario				9513

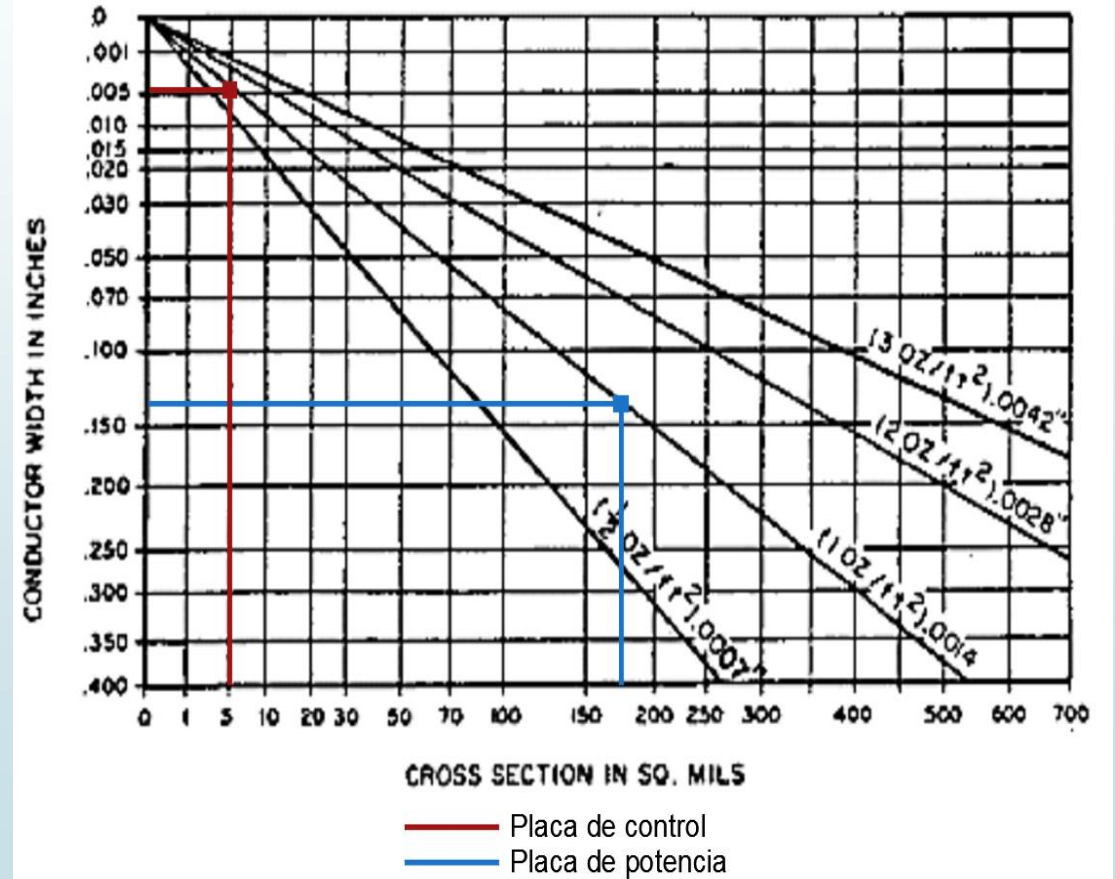
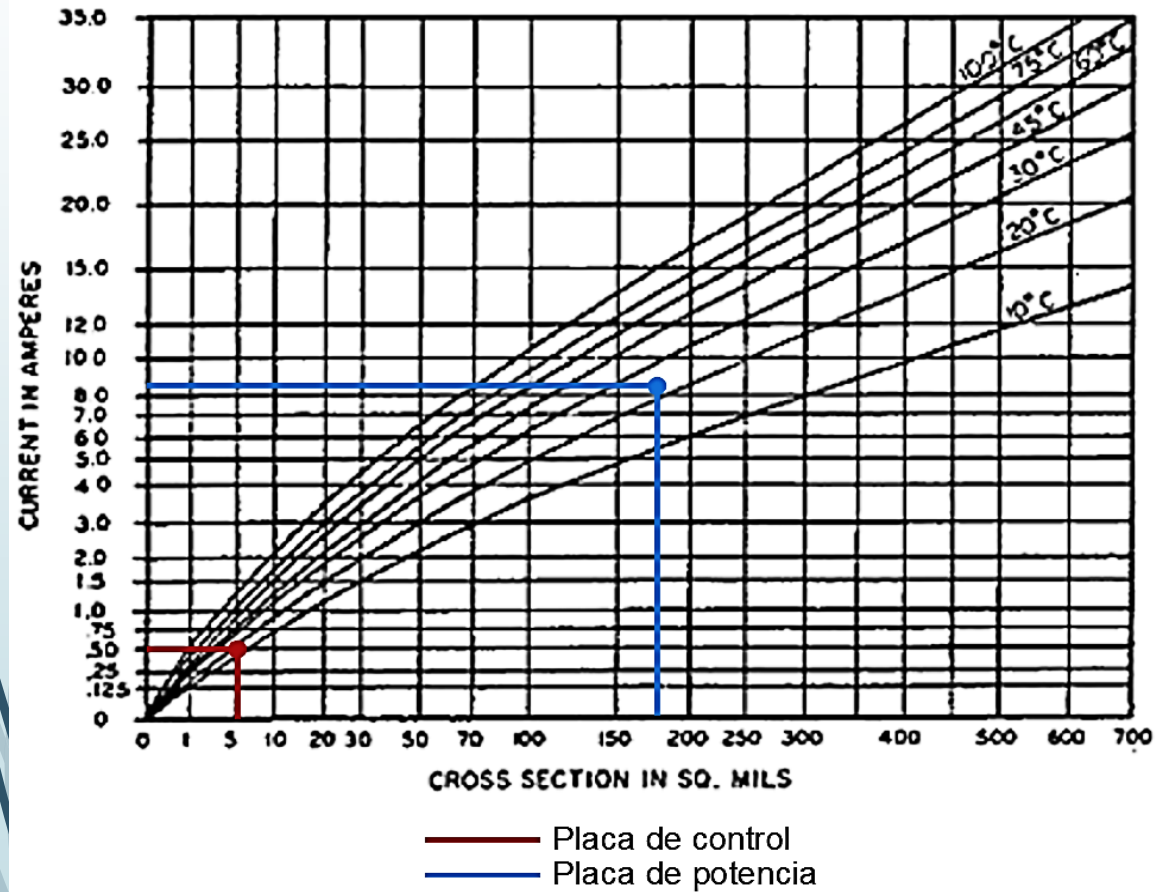
$$t_{DBAT} = \frac{5000mAh}{9513mA}$$

$$t_{DBAT} = 32 \text{ min}$$

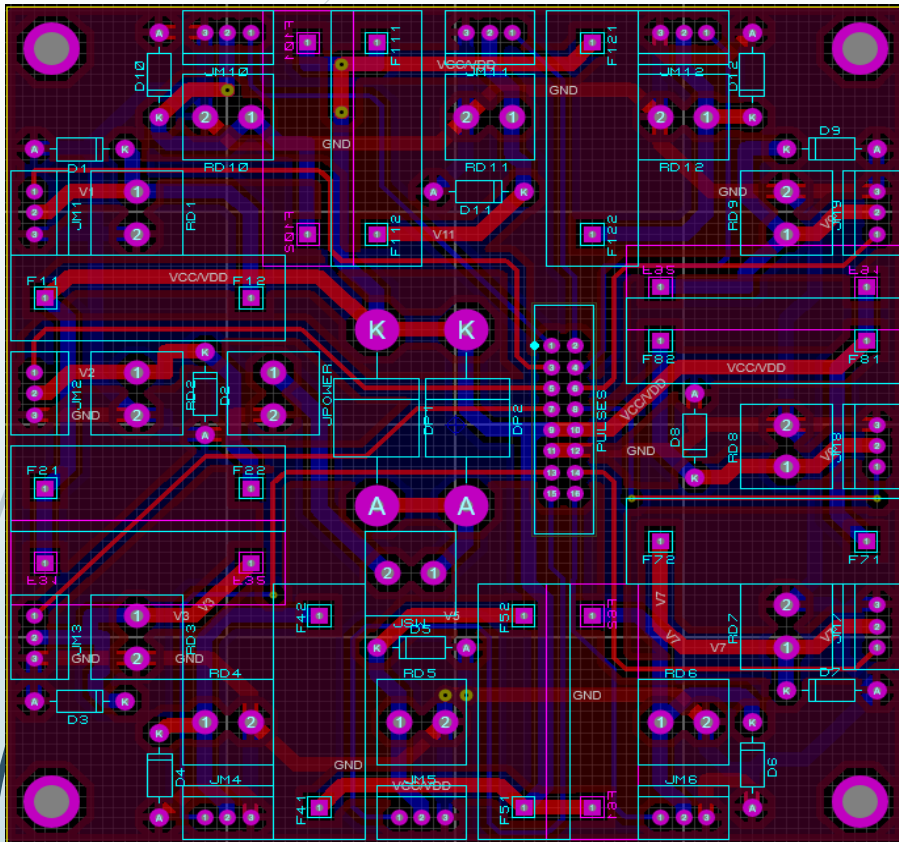
NORMAS IPC

- ▶ La norma IPC-2221B se refiere a los lineamientos generales para el diseño de placas electrónicas.
- ▶ Los requerimientos mínimos de ancho y espesor del material conductor dependen de : temperatura máxima , corriente y tipo de placa.
- ▶ El tipo de placa tiene una película de cobre de magnitud : $10z/pe^2$.

GRÁFICAS DE LA NORMA IPC-2221B



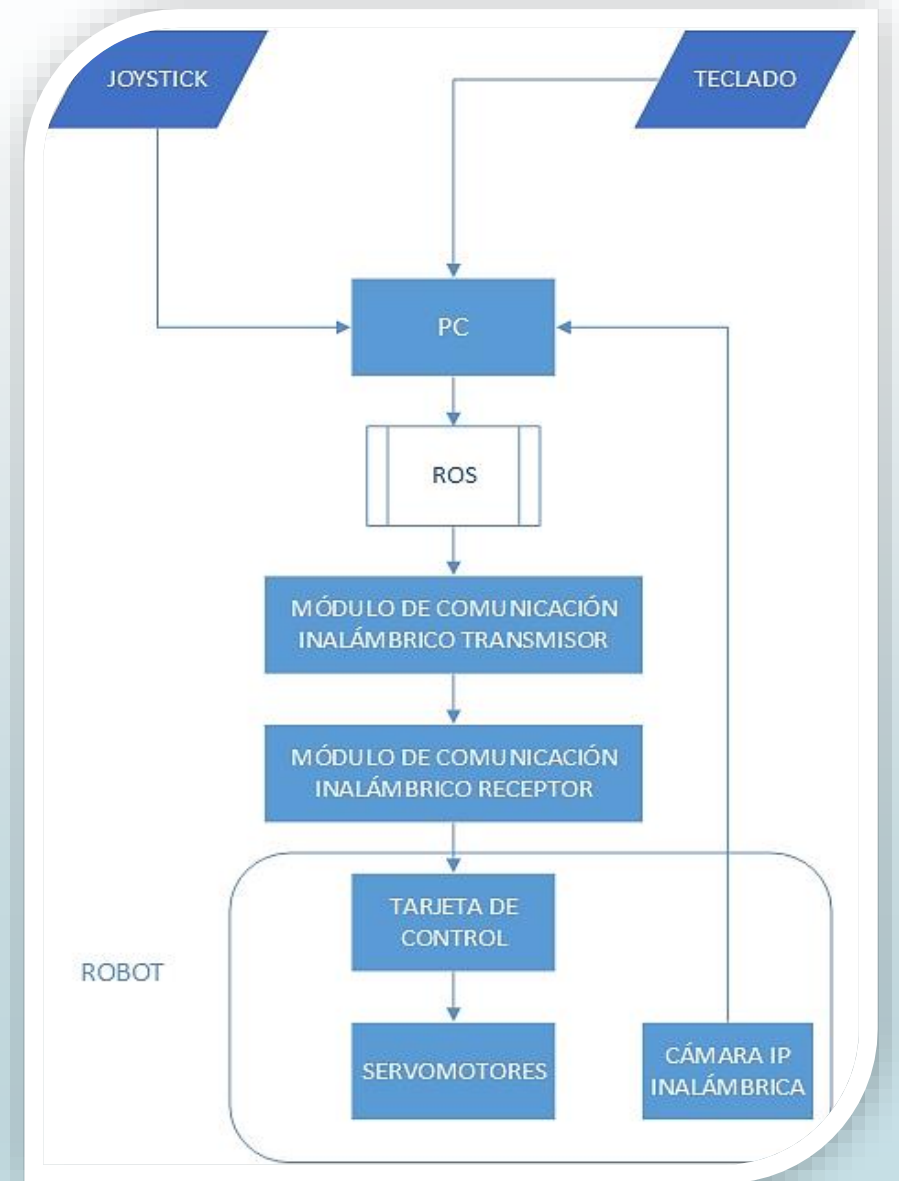
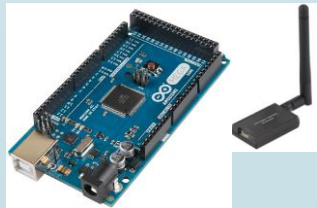
PARÁMETROS PLACA DE POTENCIA



- ▶ Consumo individual de servomotores : 0.7A
- ▶ Consumo total de 12 servomotores: 8.4A
- ▶ Temperatura ambiente de 25°C
- ▶ A transversal : 175 *mils*²
- ▶ Ancho de pista: 0.125 *in* = 3.175 *mm*

DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

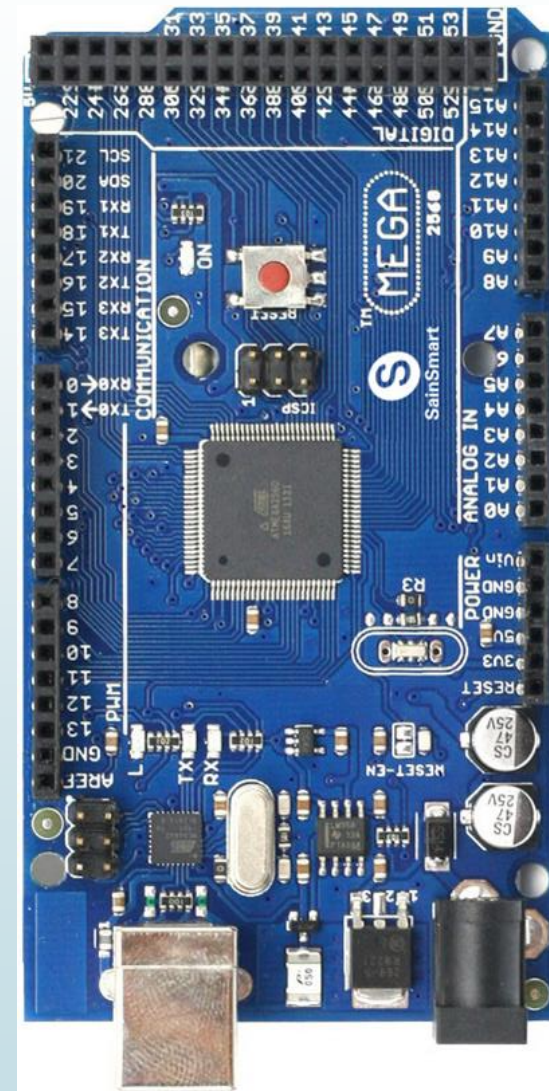
ARQUITECTURA DEL SISTEMA



Tarjeta de Control

► Arduino MEGA 2560

	Características	Especificación
1	Microcontrolador	ATmega2560
2	Voltaje de operación	5V
3	Voltaje de entrada	7-12V
4	Límite de voltaje	6-20V
5	Terminales digitales I/O	54(15 PWM)
6	Terminales análogos de entrada	16
7	Corriente DC por terminal I/O	20mA
8	Corriente DC por terminal 3.3V	50mA
9	Memoria Flash	256 KB (8KB de bootloader)
10	SRAM	8 KB
11	EEPROM	4 KB
12	Reloj	16 MHz
13	Longitud	101.52mm
14	Ancho	53.3 mm
15	Peso	37 g

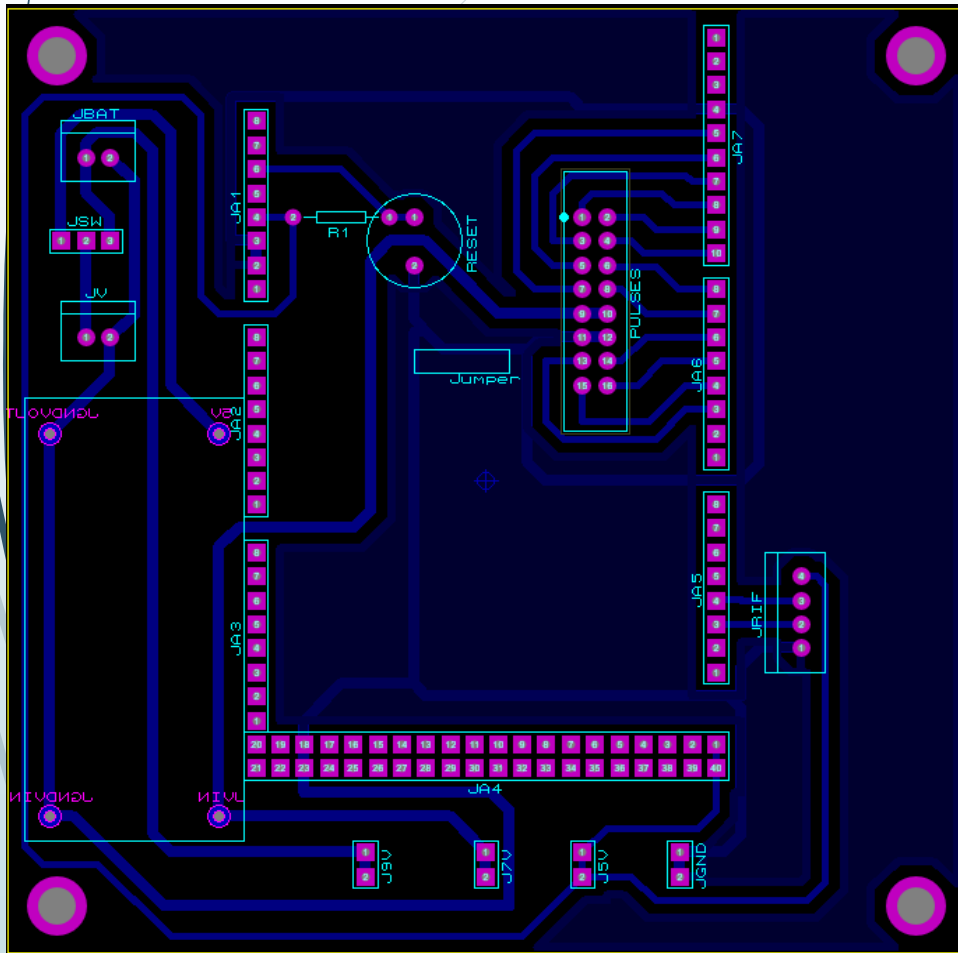


Cámara IP Wireless

Parámetro	Especificación
Nombre	Cámara WIFI/IP
Formato de video	AVI
Formato de imagen	M-JPEG
Resolución de video	640x480 VGA
Resolución de video IP	320x240 QVGA
Resolución	10fps±1fps
Antena	2.4G 802.11n WIFI
Memoria	TF-32G
Proporción de video	4:3
Sistema	Windows ISO Android
Voltaje de Carga	5V DC
USB	Mini 5Pin USB
Tarjeta	Tarjeta Micro SD (Tarjeta TF)



DISEÑO DE LA PLACA DE CONTROL

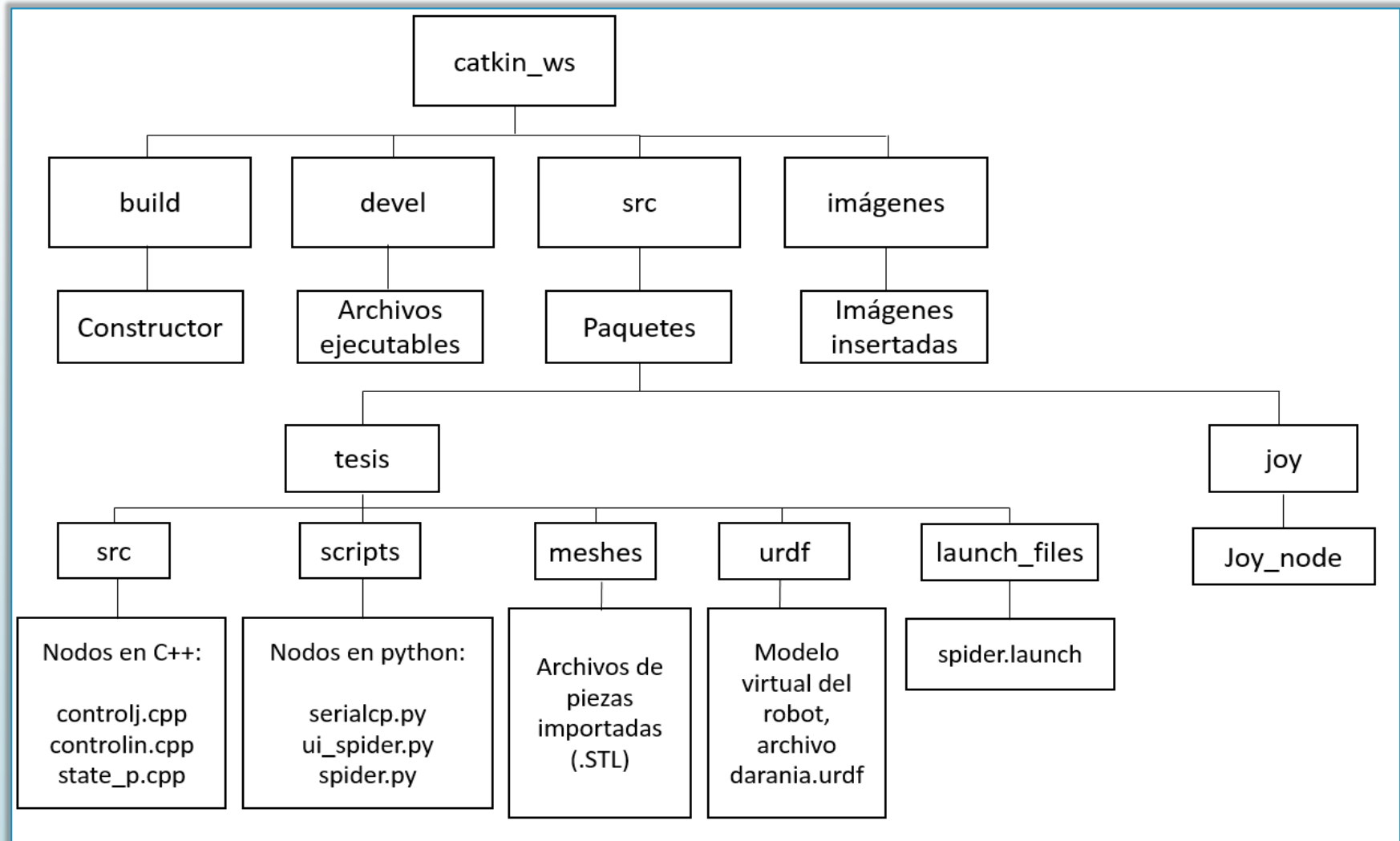


- ▶ Enlace de la placa Arduino Mega 2560 con el módulo de comunicación receptor y las entradas de pwm.
- ▶ 14 terminales usados con un consumo total de 300 mA.
- ▶ $T=25^\circ$, $I=500$ mA se obtiene un área transversal de 5 mils^2 que equivale a un ancho = 0.127mm.
- ▶ Conexión de la batería de LiPo y alcalina a un conversor DC/DC para alimentación de la tarjeta de control.

The image features a dark blue background with a subtle grid pattern. In the center, there is a dark blue horizontal bar with the text "DESARROLLO DE SOFTWARE" in white, bold, uppercase letters. The corners of the image are decorated with white circuit-like lines and nodes, resembling a stylized PCB or network diagram.

DESARROLLO DE SOFTWARE

DESARROLLO DEL SOFTWARE Robot Operating System



The background is a dark blue gradient. In the corners, there are white and light blue decorative elements resembling circuit traces or network diagrams, with lines connecting to small circles.

DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

DISEÑO DEL SISTEMA DE COMUNICACIÓN

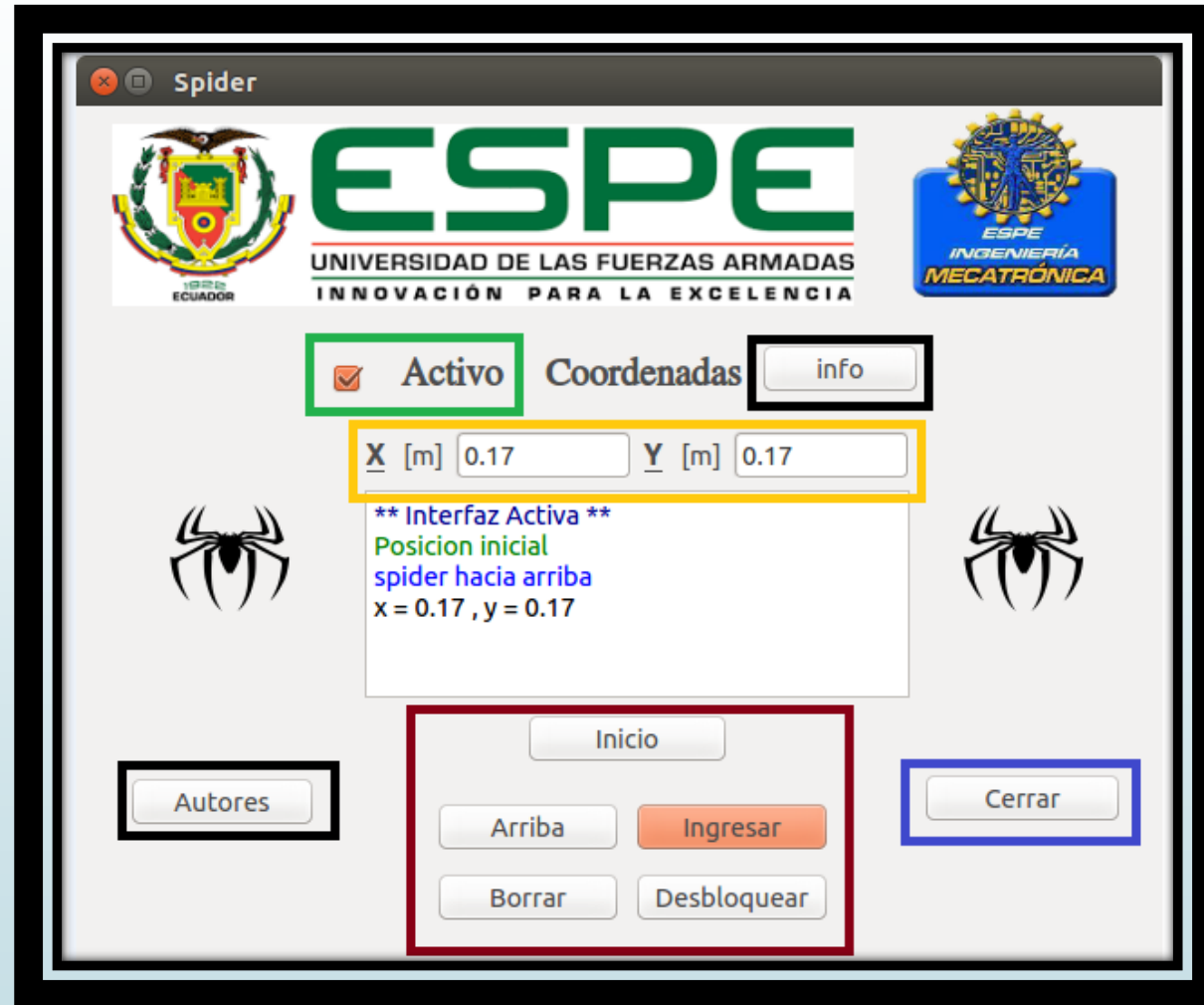


Característica	Especificación
Rango de frecuencias de operación	915MHz – 433MHz
Sensibilidad de recepción	-121 dBm
Potencia de transmisión	20dBm(100mW)
Velocidad de transmisión por aire	250 KBPS
Factor de trabajo	Configurable
Voltaje de alimentación	5V
Dimensiones	18x51mm(esclavo)-18x71mm (maestro)
Peso	50g

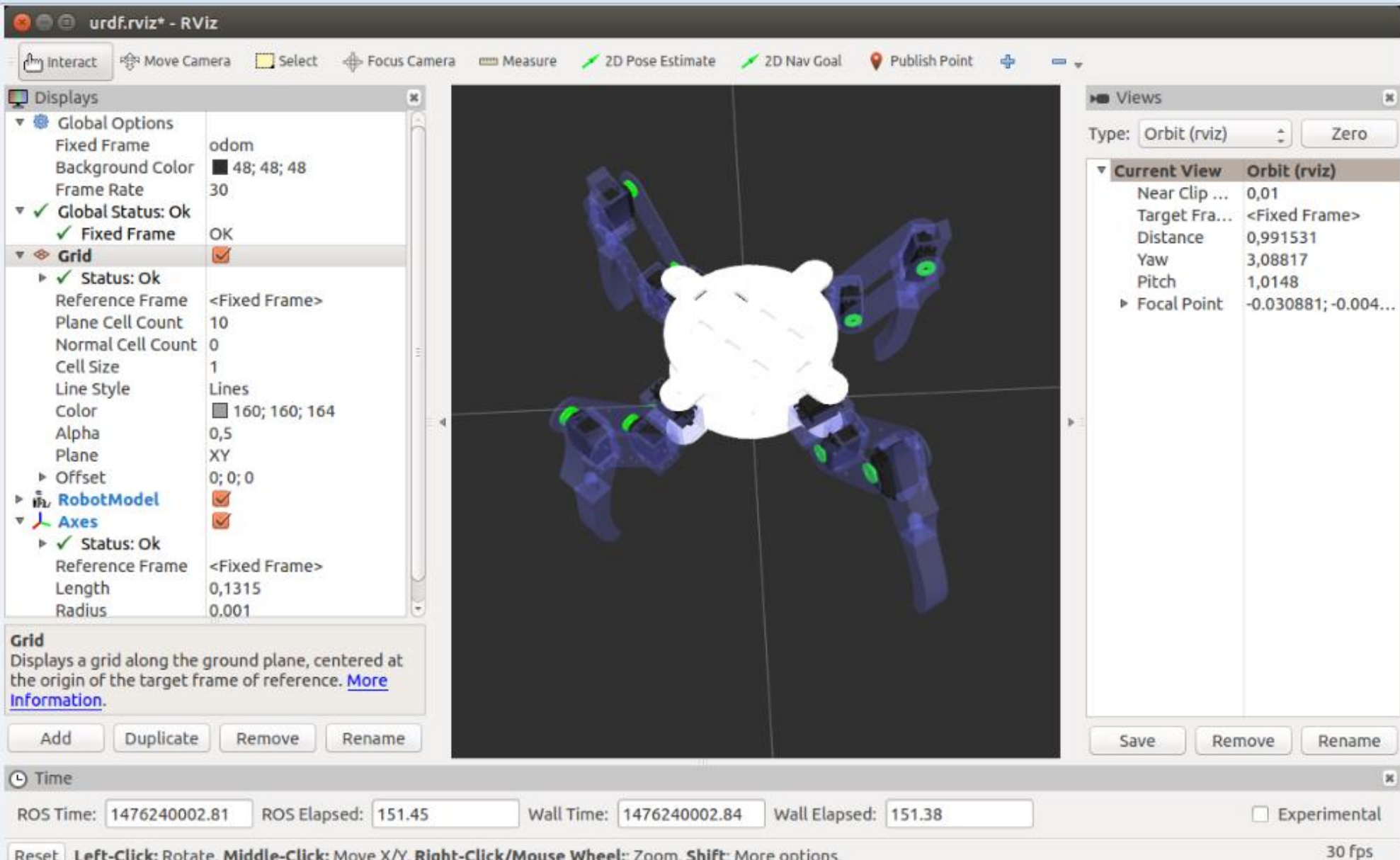
The background is a dark blue gradient. In the corners, there are white line-art illustrations of circuit boards or neural networks, consisting of lines and small circles.

DISEÑO DE LA INTERFAZ HUMANO MÁQUINA (HMI)

DISEÑO DE LA INTERFAZ HOMBRE MÁQUINA (HMI)



SIMULADOR RVIZ



The image shows the RViz (Robot Visualization) interface. The central window displays a 3D model of a robot with a white body and blue arms. A grid is overlaid on the ground plane. The interface includes several panels:

- Displays:** A list of displayed elements with their properties. The **Grid** panel is expanded, showing settings like Reference Frame (<Fixed Frame>), Plane Cell Count (10), Normal Cell Count (0), Cell Size (1), Line Style (Lines), Color (160; 160; 164), Alpha (0,5), Plane (XY), and Offset (0; 0; 0). The **RobotModel** and **Axes** panels are also visible.
- Views:** A panel on the right showing the current view type (Orbit (rviz)) and its parameters: Near Clip (0,01), Target Frame (<Fixed Frame>), Distance (0,991531), Yaw (3,08817), Pitch (1,0148), and Focal Point (-0.030881; -0.004...).
- Time:** A panel at the bottom showing ROS Time (1476240002.81), ROS Elapsed (151.45), Wall Time (1476240002.84), and Wall Elapsed (151.38).

Buttons for **Add**, **Duplicate**, **Remove**, and **Rename** are located below the Displays panel. A **Reset** button is located at the bottom left. The status bar at the bottom right shows **30 fps**.

Grid
Displays a grid along the ground plane, centered at the origin of the target frame of reference. [More Information.](#)

ROS Time: 1476240002.81 ROS Elapsed: 151.45 Wall Time: 1476240002.84 Wall Elapsed: 151.38 Experimental

Reset Left-Click: Rotate. Middle-Click: Move X/Y. Right-Click/Mouse Wheel: Zoom. Shift: More options. 30 fps

The background is a dark blue gradient. In the corners, there are white and light blue decorative elements resembling circuit board traces and nodes. A central dark blue horizontal bar contains the text.

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

ESTRUCTURA Y COMPONENTES MECÁNICOS

Material y Operación de las Piezas que Conformaron el Robot

No.	Pieza	Material	Operación
1	cuerpo pieza superior	Acrílico	Corte láser
2	cuerpo pieza inferior	Acrílico	Corte láser
3	bracket servo coxa 1	ABS	Impresión 3D
4	bracket servo coxa 2	ABS	Impresión 3D
5	bracket servo fémur 1	Acrílico	Corte láser
6	bracket servo fémur 2	Acrílico	Corte láser
7	bracket servo tibia	Acrílico	Corte láser
8	Soporte servo tibia	ABS	Impresión 3D
9	case batería 1	Acrílico	Corte láser
10	case batería 2	Acrílico	Corte láser
11	case batería 3	Acrílico	Corte láser
12	case batería 4	Acrílico	Corte láser

ESTRUCTURA Y COMPONENTES MECÁNICOS

Tiempos de Realización de las Operaciones de Cada Pieza

No.	Pieza	Tiempo de elaboración
1	cuerpo pieza superior	4min27.092s
2	cuerpo pieza inferior	3min37.712s
3	bracket servo coxa 1	2h48m5s
4	bracket servo coxa 2	2h20min8s
5	bracket servo fémur 1	58.097s
6	bracket servo fémur 2	1min1.339s
7	bracket servo tibia	1min21.795s
8	Soporte servo tibia	1h14min57s
9	case batería 1	32.354s
10	case batería 2	14.520s
11	case batería 3	1min2.217s
12	case batería 4	22.028s

ESTRUCTURA Y COMPONENTES MECÁNICOS

TIEMPOS DE FABRICACIÓN TOTAL DE CADA PIEZA

Pieza	#	Proceso				Total(min)
		Corte Láser	Impresión 3D	Desbaste	Pulido	
cuerpo pieza superior	1	4.5	-	-	-	4.5
cuerpo pieza inferior	1	3.5	-	-	-	3.5
bracket servo coxa 1	4	-	168	20	5	772
bracket servo coxa 2	4	-	140	20	5	660
bracket servo fémur 1	4	1.0	-	-	-	4
bracket servo fémur 2	4	1.0	-	-	-	4
bracket servo tibia	4	1.5	-	-	-	6
Soporte servo tibia	4	-	75	15	5	380
case batería 1	1	0.5	-	-	-	0.5
case batería 2	1	0.2	-	-	-	0.2
case batería 3	1	1.0	-	-	-	1.0
case batería 4	1	0.4	-	-	-	0.4
Total (min)		24.1	1532	220	60	1836.1

ESTRUCTURA Y COMPONENTES MECÁNICOS

TIEMPOS DE FABRICACIÓN TOTAL DE CADA PIEZA

Pieza	#	Agujeros	Proceso	Total (min)
			Taladrado	
Bracket servo accesorio	12	4	0.5	24

Tiempo de taladrado de la pieza bracket servo accesorio



TIEMPO TOTAL

31 horas y 6 segundos

ESTRUCTURA Y COMPONENTES MECÁNICOS

TIEMPOS DE MOTAJE

Parte del robot	#	Tiempo(min)	Total(min)
Coxa	4	20	80
Fémur	4	20	80
Tibia	4	5	20
Cuerpo	1	30	30
Servo motores	12	20	240
Total			450



TIEMPO TOTAL

7 horas y 30 minutos

SISTEMA DE POTENCIA

TIEMPOS DE ELABORACIÓN DE PUNTOS DE SOLDADURA DE LA PLACA DE POTENCIA

Capa de la placa	Número de puntos	Total(min)
Capa superior	88	66
Capa inferior	92	69
Total	180	135



TIEMPO TOTAL

2 horas y 16 minutos

SISTEMA DE CONTROL

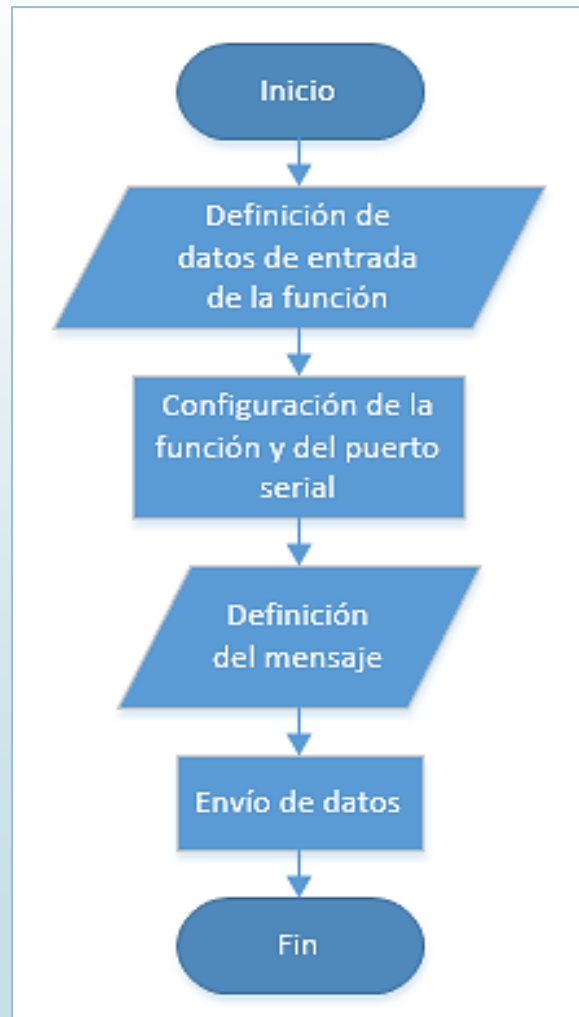
TIEMPOS DE PUNTOS DE SOLDADURA DE LA PLACA DE CONTROL



TIEMPO TOTAL

2 horas y 16 minutos

SISTEMA DE COMUNICACIÓN



The background is a dark blue gradient with a faint circular pattern in the center. The corners are decorated with white and light blue circuit-like lines and nodes. A dark blue horizontal bar with a slight gradient is positioned in the middle of the page.

PRUEBAS Y RESULTADOS

PRUEBAS MECÁNICAS

- Encendido de servomotores en vacío individualmente.

Parámetro	Resultados
Encendido de servomotores	Si
Alcance de límites angulares	No
Sobrecalentamiento presente	No

- Corrección valores de pwm.

Parámetro	Resultados
Encendido de servomotores	Si
Alcance de límites angulares	Si
Sobrecalentamiento presente	No

PRUEBAS ELECTRÓNICAS

- Encendido de servomotores en conjunto con carga.

Parámetro	Resultados
Encendido de servomotores	Si (pico de corriente provoca movimiento aleatorio de los servos durante el encendido, espasmo inicial de las extremidades considerable)
Ejecución del movimiento requerido	Si
Sobrecalentamiento presente	Si (motor del eslabón 2 pata 3)

- Cambio de motor en otra extremidad.
- Alimentación de la tarjeta de control con fuente independiente.
- Redes Snubber y diodo antiparalelo.

Parámetro	Resultados
Encendido de servomotores	Sin ruido eléctrico
Ejecución del movimiento requerido	Si
Sobrecalentamiento presente	No

PRUEBAS DE LA PLACA DE CONTROL Y DE POTENCIA

- Alimentación y entrega de señales pwm a cada servomotor

Parámetro	Resultado
Comprobación de voltajes en los puntos de prueba de la placa de potencia	Positivo
Comprobación de voltajes en los puntos de prueba de la placa de control	Positivo
Funcionamiento de un servomotor conectado a las placas	Positivo
Funcionamiento de los doce servomotores conectados a las placas.	Positivo
Sobrecalentamiento de las placas	Ausente

PRUEBAS DE COMUNICACIÓN ROS - MÓDULO RF – PLACA DE CONTROL

- Tiempo de respuesta desde ROS hasta tarjeta de control.
- Envío de ángulos para las cuatro extremidades con bit de inicio y fin.

Parámetro	Resultado
Conexión ROS-Arduino	Positivo
Envío de la cadena de datos	Positivo
Recepción de la cadena	Negativo (datos perdidos)

- Baja velocidad de recepción de datos.
- Envío de comandos simples e integración de programación en tarjeta de control

Parámetro	Resultado
Conexión ROS-Arduino	Positivo
Envío de la cadena de datos	Positivo
Recepción de la cadena	Positivo

PRUEBAS DE LA RESPUESTA DE LA CINEMÁTICA INVERSA

- Verificación de los límites del espacio de trabajo.
- Extremidad uno

Límite Superior		Límite Medio		Límite Inferior	
x [%]	y [%]	x [%]	y [%]	x [%]	y [%]
3.30	2.25	0.98	3.30	2.25	0.98
2.08	2.66	0.98	2.08	2.66	0.98
3.92	2.25	0.86	3.92	2.25	0.86
2.69	1.45	2.08	2.69	1.45	2.08
3.30	2.25	2.08	3.30	2.25	2.08

- Extremidad tres

Límite Superior		Límite Medio		Límite Inferior	
x [%]	y [%]	x [%]	y [%]	x [%]	y [%]
7.10	6.89	10.16	2.82	7.10	3.86
8.32	4.34	9.55	1.59	8.94	3.86
7.71	4.34	8.32	2.82	8.94	4.27
8.94	6.89	8.94	1.59	8.32	4.67
8.32	4.34	9.55	1.59	7.10	4.27

PRUEBAS DE CAMINATA DISCONTINUA DEL ROBOT

Movimientos de traslación y rotación derecha e izquierda.

Traslación 10 espacios de trabajo

No.	x[mm]	y[mm]	Error (%)
1	12.5	161.5	4.72
2	12	164	3.27
3	8	166	2.24
4	12.5	164.5	2.96
5	8	161.5	4.88
6	2.5	159	4.69
7	13.5	162.5	4.08
8	5	160.5	4.95
9	3.5	161.5	4.98
10	-9.5	157.5	4.66

Rotación 90° 6 giros izquierda

No.	Ángulo (°)	Error (%)
1	90	0.00
2	88	2.22
3	88	2.22
4	87	3.33
5	88	2.22
6	89	1.11
7	84	6.67
8	91	1.11
9	91	1.11
10	91	1.11

Rotación 90° 5 giros derecha

No.	Ángulo (°)	Error (%)
1	89	1.11
2	88	2.22
3	89	1.11
4	90	0.00
5	92	2.22
6	89	1.11
7	89	1.11
8	91	1.11
9	90	0.00
10	90	0.00

CONCLUSIONES

- Estructura robótica
- Diseño del algoritmo
- Torques
- El Análisis de Esfuerzos
- La Batería LiPo
- Dividir funciones ROS-placa
- Arquitectura de ROS
- Qt-Creator



RECOMENDACIONES

