



**INVESTIGACIÓN Y DISEÑO DE UN
SISTEMA MECATRÓNICO PARA UN
BASTÓN ROBÓTICO UNICICLO PARA EL
PROYECTO DE INVESTIGACIÓN
GENERATIVA DESARROLLADO POR LA
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS
ARMADAS ESPE**

Autor: Jorge Gabriel Ortiz

Director: Ing. Oscar Arteaga

LATACUNGA 2018



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica

Planteamiento del problema

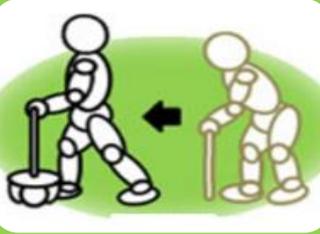
- Uno de los problemas físicos con el que ha tenido que lidiar el ser humano ha sido la deficiencia motriz o discapacidad funcional.
- Existen diferentes tipos de afecciones del miembro inferior que requieren de un tiempo de descarga total o bien de descarga parcial.
- El bastón gracias a la inclusión de nuevas tecnologías se ha convertido en un dispositivos inteligente que toman información del medio.
- La robótica actualmente ha tenido un desarrollo y crecimiento cada vez más rápido en el mundo, en este contexto hay proyectos orientados a la Interacción Humano-Robot, lo que permite que el robot interactúe de manera amigable y segura con el humano.

Alcance



Maniobrabilidad

- Crear un sistema de movilidad.
- Intención de movimiento del usuario.



Rehabilitación

- Toma de información y datos estadísticos.
- Mejorar el proceso de recuperación.



Guía

- Inclusión de sensores.
- Seguimiento de trayectorias.



Objetivo general

Investigar y diseñar un sistema mecatrónico para un bastón robótico tipo unicycle para el proyecto de investigación generativa.

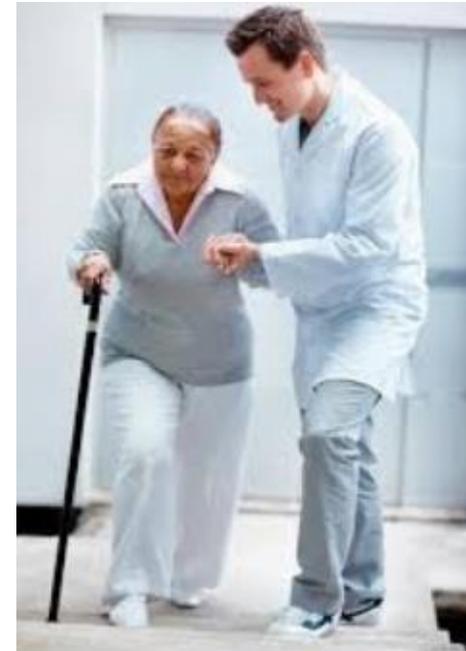
Objetivos Específicos

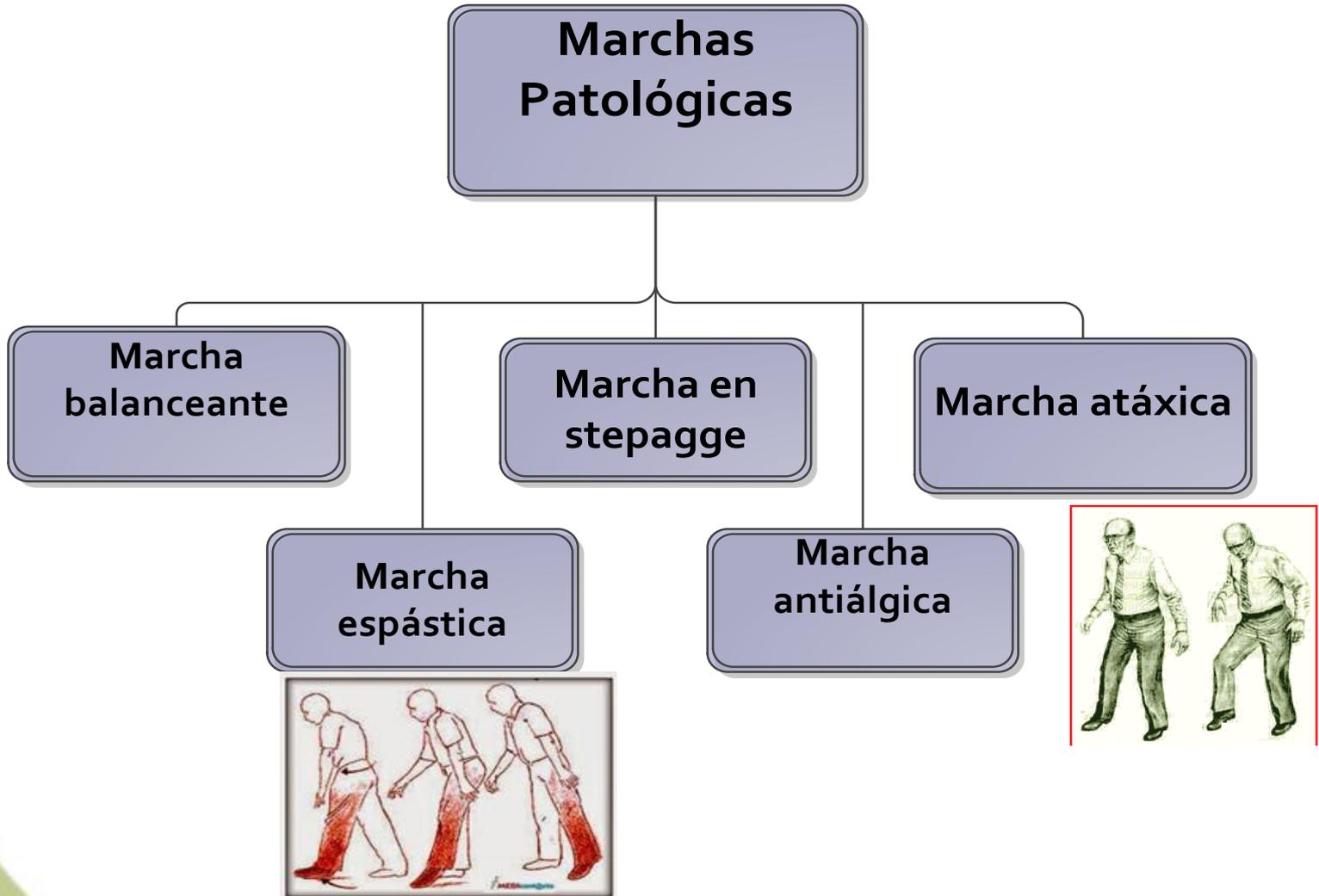
- Investigar los dispositivos de ayuda adaptados electrónicamente sobre dispositivos convencionales (bastón, andador).
- Diseñar un sistema que posibilite la locomoción y manipulación de un bastón robótico que garantice la estabilidad y confiabilidad en su desempeño.
- Realizar el diseño del sistema que permita seleccionar los materiales y accesorios adecuados para la implementación del sistema.
- Construir la estructura del bastón robótico y realizar el montaje de sus componentes.
- Realizar el diseño e implementación de las placas electrónicas que permitan adquirir y enviar información al robot.
- Realizar evaluaciones experimentales.

Trastornos de la Marcha y Disfunciones

Envejecimiento

- Causa modificaciones en la capacidad física y en los mecanismos nerviosos centrales y periféricos que controlan el equilibrio.
- Deterioro progresivo de la funcionalidad física, psíquica y social. A los 60 años, un 15%, 35% a los 70 años y cerca del 50% en los mayores de 85 años.





AYUDAS PARA LA MOVILIDAD

BASTÓN



ANDADOR



Parámetros para el uso de un bastón

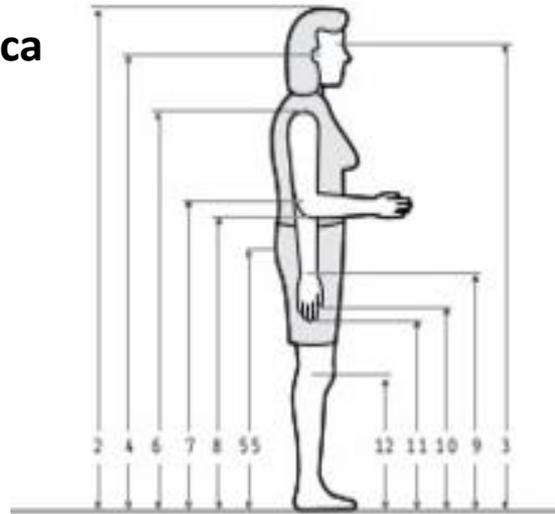
1. Medidas antropométricas de una persona

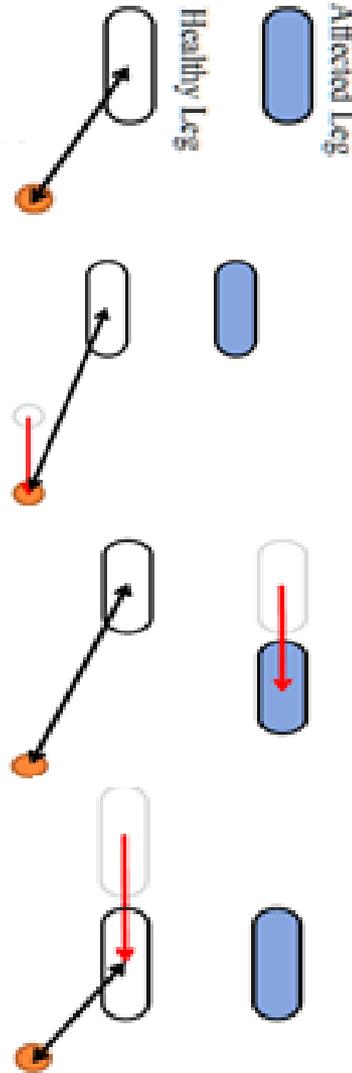
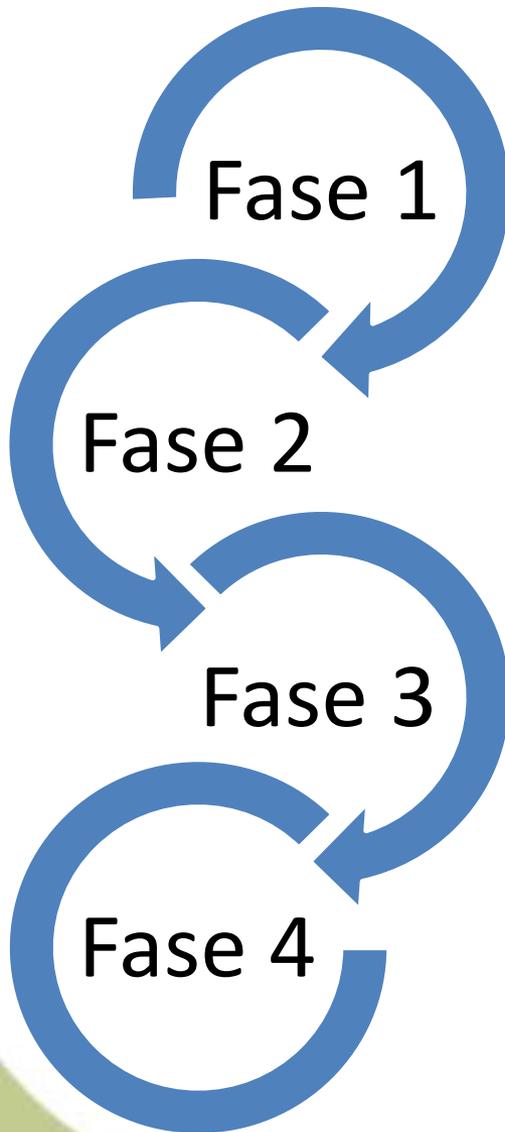
La longitud correcta de un bastón se mide desde la muñeca al suelo. Es aconsejable pedirle a otra persona que mida esta distancia.

Medidas en Latinoamérica

Mujer es de 744 mm

Hombre es de 806 mm.





FASES DE LA MARCHA

El usuario se coloca de pie junto al bastón

El bastón se adelanta una distancia aproximada a un paso

La pierna afectada se mueve hacia adelante y avanza un paso

La pierna sana se mueve hacia delante un paso



Parámetros espacio-temporales de la marcha

Longitud de paso (LP) es la distancia horizontal en el plano de progresión desarrollada en un paso.

Longitud de zancada (LZ) es la distancia entre el contacto inicial de un pie y el contacto inicial subsiguiente del mismo pie.

Cadencia (CAD) Es la medida del número de pasos por unidad de tiempo, expresada en [pasos/min].



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica

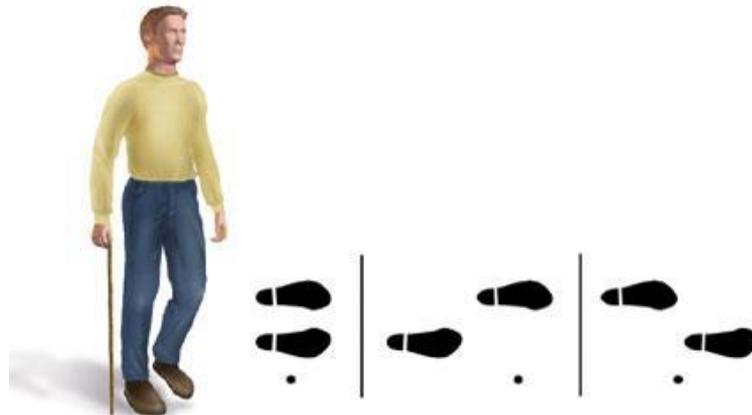
Sujeto	Tipo Prueba	AP (altura)	LZ (altura)	CAD (pasos/min)
1	Libre	0,094	0,790	106,758
	Andador	0,088	0,697	84,371
2	Libre	0,090	0,745	109,958
	Andador	0,085	0,666	80,453
3	Libre	0,083	0,807	103,166
	Andador	0,075	0,712	91,381
4	Libre	0,121	0,799	105,036
	Andador	0,097	0,679	91,748
5	Libre	0,092	0,756	101,014
	Andador	0,080	0,691	80,706
6	Libre	0,084	0,773	112,030
	Andador	0,081	0,668	76,426
7	Libre	0,085	0,707	101,237
	Andador	0,074	0,642	82,094
Media	Libre	0,093	0,768	105,600
		± 0,013	± 0,035	± 4,242
	Andador	0,083	0,679	83,883
		± 0,008	± 0,023	± 5,759
Relación	Andador/Libre	89,37%	88,42%	79,43%

VELOCIDAD DE MARCHA DE UNA PERSONA

$$V_{media} [m/s] = \frac{LZ[m] * CAD [pasos/min]}{120}$$

$$V_{media} [m/s] = \frac{0.679[m] * 83.883 [pasos/min]}{120} = 0.48 \text{ m/s}$$

$$V_{media} [m/s] = \frac{0.656[m] * 78.124 [pasos/min]}{120} = 0.42 \text{ m/s}$$



Influencia de la carga aplicada sobre bastones





Índice de Masa Corporal

ÍNDICE MASA CORPORAL	CLASIFICACIÓN
<16.00	Infrapeso: Delgadez Severa
16.00 - 16.99	Infrapeso: Delgadez moderada
17.00 - 18.49	Infrapeso: Delgadez aceptable
18.50 - 24.99	Peso Normal
25.00 - 29.99	Sobrepeso
30.00 - 34.99	Obeso: Tipo I
35.00 - 40.00	Obeso: Tipo II
>40.00	Obeso: Tipo III

Hombres 167,1 cm
Mujeres de 154,2 cm

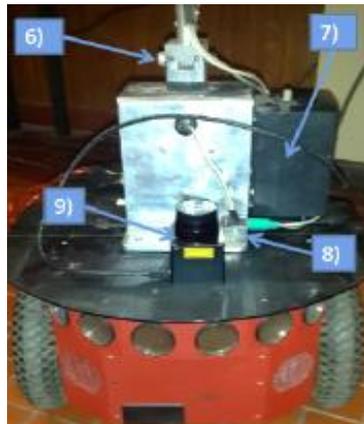
$$IMC = \frac{W (kg)}{L^2 (m^2)}$$

$$W = IMC * L^2$$

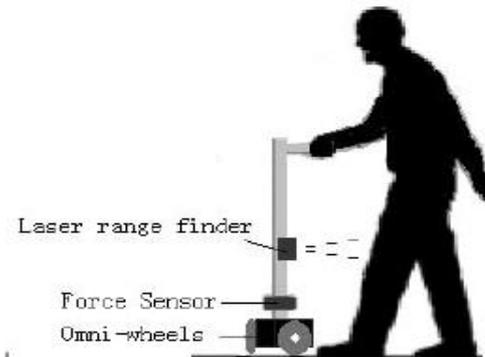
$$W = (27.5) * (1.67)^2 = 76.7 \text{ kgf} \approx 77 \text{ kg}$$

TRABAJOS PREVIOS Y ACTUALES

Guide Cane (1997)



Bastón robotizado para asistencia
(2015)





DISEÑO MECÁNICO

PARÁMETROS DE DISEÑO

Peso Máximo de la Plataforma

- El peso total debe ser menor a 15 kg.

Modular

- Deben ser desmontables y fáciles de colocar.

Capacidad de Carga

- Debe soportar máximo el 15% del peso corporal. El bastón puede ser utilizado para personas de 77 kg que nos da una carga máxima de 11.56 kg.

Velocidad

- Tracción diferencial, con una velocidad de 0.42 m/s.

Altura Máxima (mm)

- El rango mínimo es 744 y el máximo de 806 mm

Estabilidad

- En este trabajo se busca una forma de asegurar la estabilidad del bastón y dotarlo de movilidad.



CÁLCULOS PARA PLATAFORMA MÓVIL

Masa plataforma: $M_P = 6 \text{ kg}$

Masa extra: $M_{ex} = 11,56 \text{ kg}$

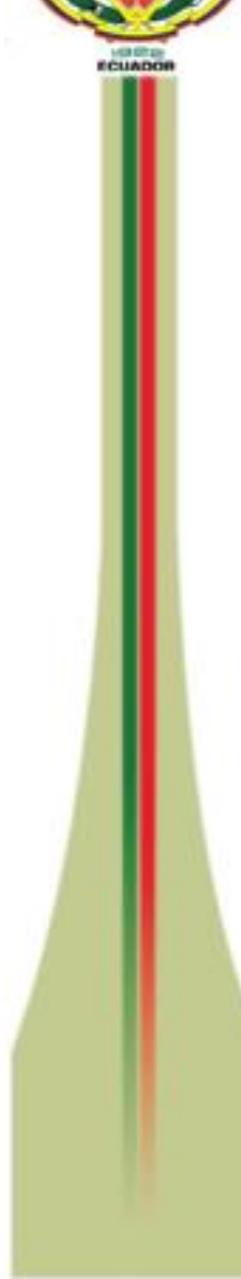
Masa bastón: $M_b = 0.8 \text{ kg}$

Masa sensores: $M_s = 0.2 \text{ kg}$

$$M_{Total} = M_P + M_{ex} + M_b + M_s + 10\%M_{Total}$$

$$M_{Total} = 18,56 \text{ kg} + 1.86 \text{ kg}$$

$$M_{Total} = 20.42 \text{ kg} * 9.81 \text{ m/s}^2 = 200 \text{ [N]}$$



$$\sum F_x = 0$$

$$F = F_r + m_{TOTAL} * g * \sin \theta$$

$$F = \mu * F_N + m_{TOTAL} * g * \sin \theta$$

$$F = m_{TOTAL} * g * \cos \theta * \mu + m_{TOTAL} * g * \sin \theta$$

$$F = 20.4 \text{ kg} * 9.8 \text{ ms}^{-2} * (\cos 15 * 1 + \sin 15)$$

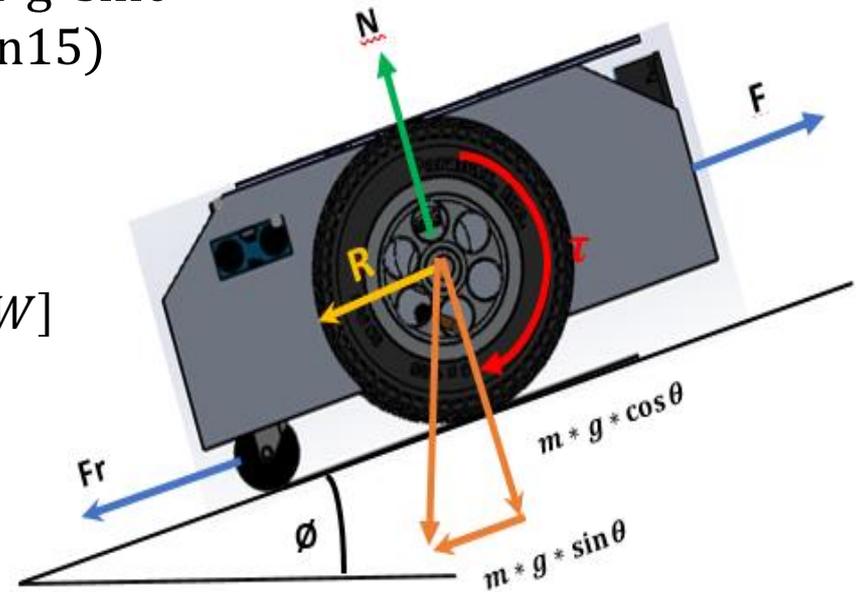
$$F = 224.5 \text{ N}$$

$$P = F * v$$

$$P = 224.5 \text{ [N]} * 0.42 \left[\frac{\text{m}}{\text{s}} \right] = 94.3 \text{ [W]}$$

$$P_{Motor} = \frac{P}{2} = 47.2 \text{ [W]}$$

$$\phi_{llanta} = 6 \text{ in} = 0.153 \text{ m}$$



Cálculo Motores Lineales

$$W_{us} = (11.56 \text{ kg} + 1 \text{ kg} + 0.1 \text{ kg}) * 1.1 * 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$W_{us} = 136,5 \text{ N}$$

$$P_0(0; 0; 0)$$

$$P_1(-65; 0; 0)$$

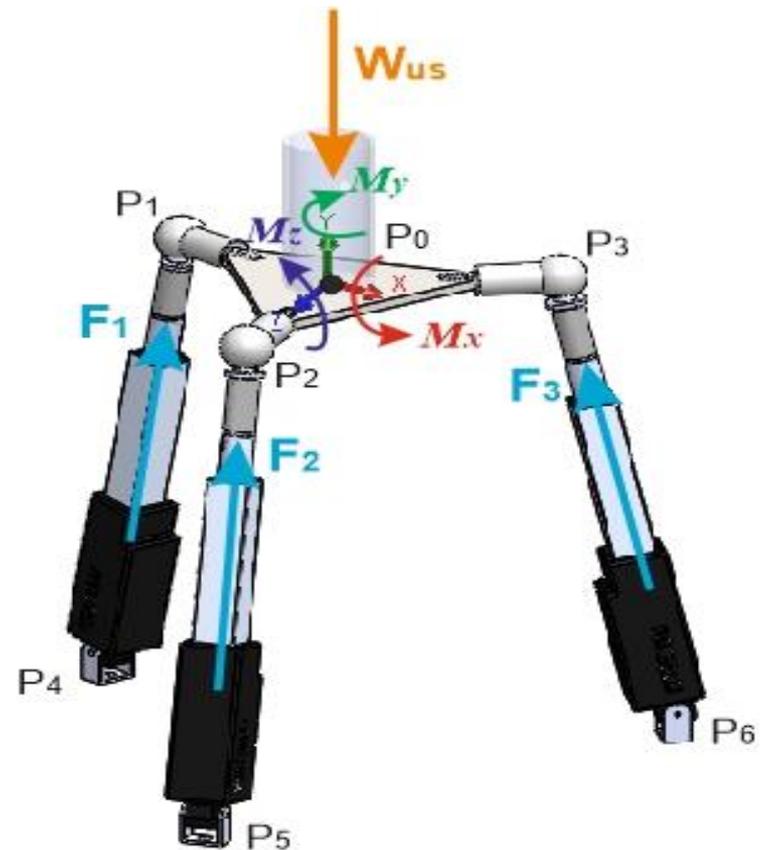
$$P_2(32.5; 0; 56.292)$$

$$P_3(32.5; 0; -56.292)$$

$$P_4(-95; -150; 0)$$

$$P_5(47.5; -150; 82.272)$$

$$P_6(47.5; -150; -82.272)$$





VECTORES POSICIÓN

$$\vec{r}_{01} = -65\hat{i}$$

$$\vec{r}_{02} = 32,5\hat{i} + 56,292\hat{k}$$

$$\vec{r}_{03} = 32,5\hat{i} - 56,292\hat{k}$$

$$\vec{r}_{41} = 30\hat{i} - 150\hat{k}$$

$$r_{41} = 152,971 \text{ mm}$$

$$\vec{r}_{52} = -15\hat{i} + 150\hat{j} - 25,98\hat{k}$$

$$r_{52} = 152,97 \text{ mm}$$

$$\vec{r}_{63} = -15\hat{i} + 150\hat{j} + 25,98\hat{k}$$

$$r_{63} = 152,97 \text{ mm}$$

FUERZAS

$$\vec{F}_1 = F_1 \frac{\vec{r}_{41}}{r_{41}} = F_1 \frac{30\hat{i} - 150\hat{k}}{152,97}$$

$$\vec{F}_1 = 0,196F_1\hat{i} + 0,981 F_1\hat{j}$$

$$\vec{F}_2 = F_2 \frac{\vec{r}_{52}}{r_{52}} = F_2 \frac{-15\hat{i} + 150\hat{j} - 25,98\hat{k}}{152,97}$$

$$\vec{F}_2 = -0,098F_2\hat{i} + 0,981 F_2\hat{j} - 0,17 F_2\hat{k}$$

$$\vec{F}_3 = F_3 \frac{\vec{r}_{63}}{r_{63}} = F_3 \frac{-15\hat{i} + 150\hat{j} + 25,98\hat{k}}{152,97}$$

$$\vec{F}_3 = -0,098F_3\hat{i} + 0,981 F_3\hat{j} + 0,17 F_3\hat{k}$$

$$\vec{W}_{us} = -136,5\hat{j}$$



$$(\hat{i}) \quad 0,196F_1 - 0,098F_2 - 0,098F_3 = 0$$

$$\vec{M}_{01} = \vec{r}_{01} * \vec{F}_1$$

$$(\hat{j}) \quad 0,981F_1 + 0,981F_2 - 0,981F_3 = 136,5$$

$$\vec{M}_{02} = \vec{r}_{02} * \vec{F}_2$$

$$(\hat{k}) \quad -0,17F_2 + 0,17F_3 = 0$$

$$\vec{M}_{03} = \vec{r}_{03} * \vec{F}_3$$

$$F_2 = F_3$$

$$F_1 = 46,3812$$

$$F_2 = 46,3812 = F_3$$

$$\vec{M}_{01} = -2,9575\hat{k}$$

$$\vec{M}_{02} = -2,5613\hat{i} + 1,4788\hat{k}$$

$$\vec{M}_{03} = -2,5613\hat{i} - 1,4788\hat{k}$$

$$\vec{M}_x = -5,123 \text{ Nm}$$

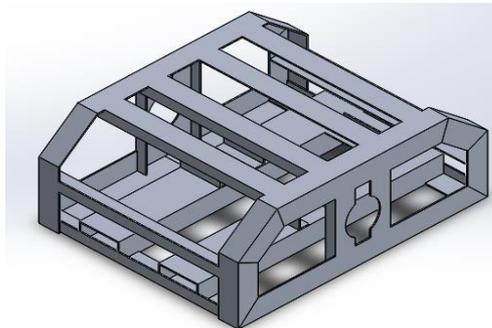
$$\vec{M}_y = 0$$

$$\vec{M}_z = -2,9575 \text{ Nm}$$



Selección de materiales

Parámetros	Hierro		Duralón		Aluminio		Acero Galvanizado	
Maquinabilidad	6	20%	5	20%	8	20%	5	20%
Ligero	4	30%	6	30%	6	30%	8	30%
Costo	5	15%	6	15%	6	15%	8	15%
Duración	8	10%	8	10%	7	10%	4	10%
Resistencia	9	15%	5	15%	7	15%	4	15%
Adaptable	2	10%	4	10%	8	10%	5	10%
TOTAL	5.5		5,65		6.85		6.1	





Selección de componentes

Característica	DYNAMIXEL PRO	Motor DC RS775	DOGA DC	Motor Parallax
Tensión nominal	24	12	24	12
Velocidad de operación (RPM)	21	75	70	95
Corriente de operación	1,6	0,6	3	3
Torque	5,4	4,5	3, 25	9.6
Relación de Transmisión	500	75:1	62:1	
Peso (gr)	591	848.2	1.25	1360
Dimensiones	54x54x108		178 x 60 x 100,6	161 x 35 x 100



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica



$$\omega_{motor} = 95 \frac{rev}{min} * \frac{2 * \pi * rad}{1 rev} * \frac{1 min}{60 s} = 9.94 \frac{rad}{s}$$

$$T_{motor} = 9,6 N * m$$

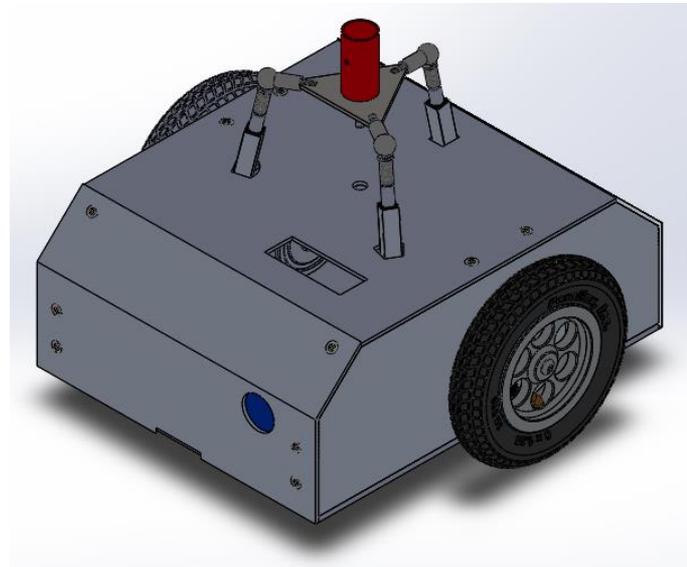
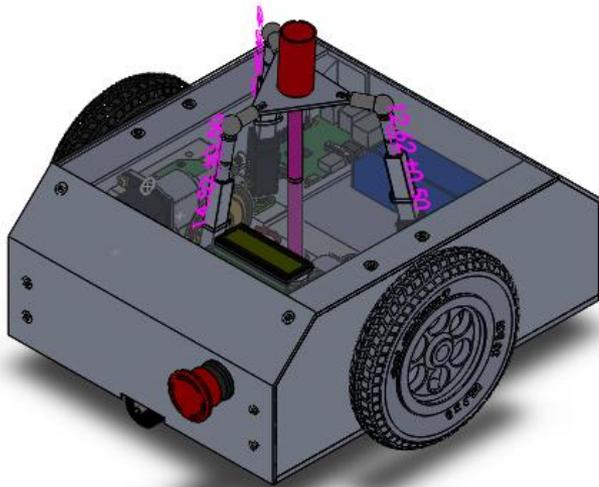
$$P = \omega * T_{motor} = 9.94 \frac{rad}{s} * 9,6 N * m = 96 W$$

Selección para actuadores lineales



Engranaje	35:1
Velocidad máxima	32mm/s
Alimentación	12 V
Carrera	50 mm
Fuerza máxima	50 N
Peso	56 gramos
Potenciómetro de realimentación	6 K Ω

Diseño del Bastón Robótico





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica



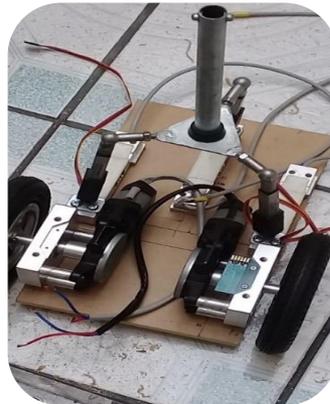
CORTE



SOLDADURA



ACOPLE



ENSAMBLAJE



Estructura Mecánica finalizada



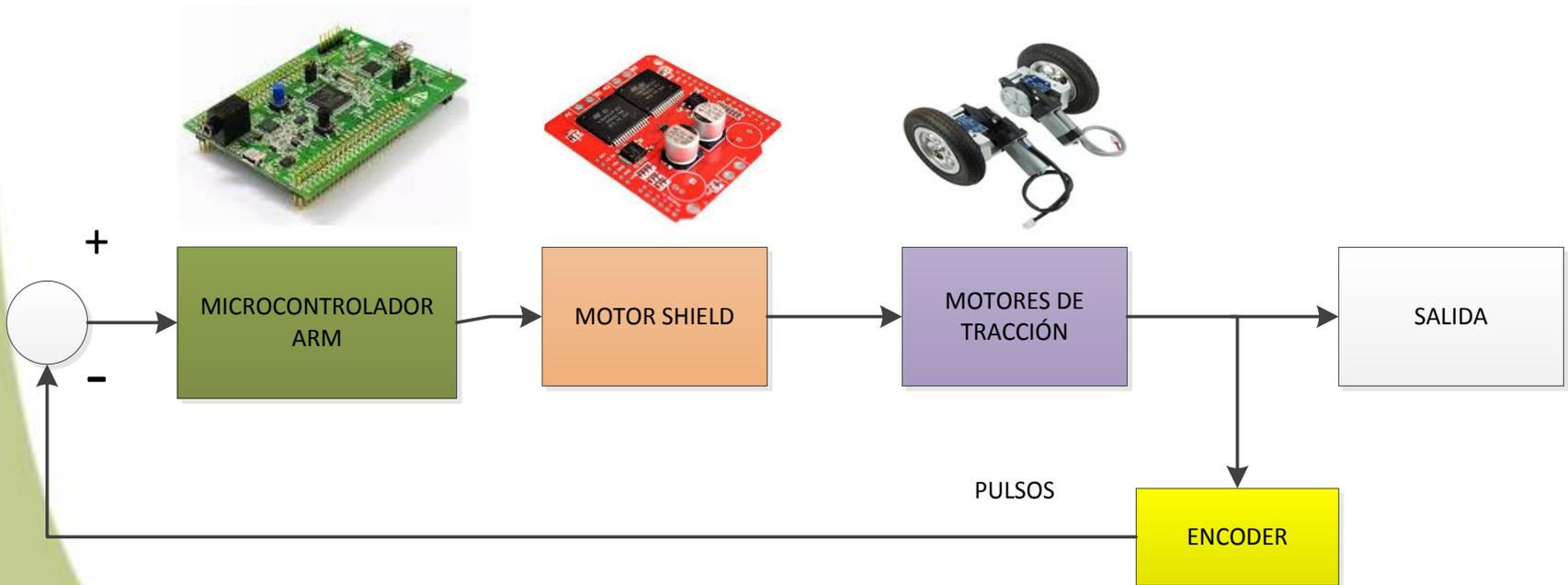


PLACA ELECTRÓNICA

Para el correcto funcionamiento del bastón robótico es necesario implementar un sistema de control adecuado

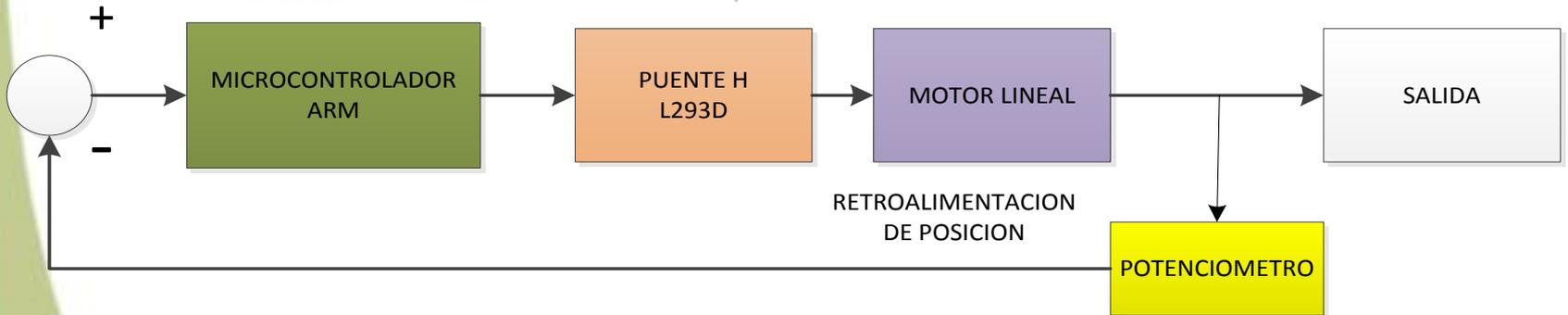
- Control de posición de motores de Tracción
- Control de posición de motores Lineales
- Adquisición de datos de encoder
- Adquisición de datos celdas de Carga

CONTROL MOTORES DE TRACCIÓN





CONTROL DE MOTORES LINEALES





VENTAJAS

MICROCONTROLADOR ARM	PIC 16F877A
Permiten manejar datos de mayor longitud de hasta 32 bits.	Permite únicamente manejar datos de 8 bits.
Puede realizar operaciones lógicas y aritméticas ya sea de 8, 16 o 32 bits de manera directa.	Bus de datos limitado por lo que necesita algoritmos que realicen multiplicaciones y sumas parciales sucesivas.
Memoria Flash: Tamaño de memoria desde 16 kbytes hasta los 1Mbytes.	Memoria direccionable hasta 8 kbytes
Memoria de datos RAM: 192 Kbytes	Memoria de Datos tipo RAM: 368 bytes
Su conjunto de instrucciones esta optimizado para programarse en lenguaje C.	
Existen ambientes de desarrollo y tres modos de programación	



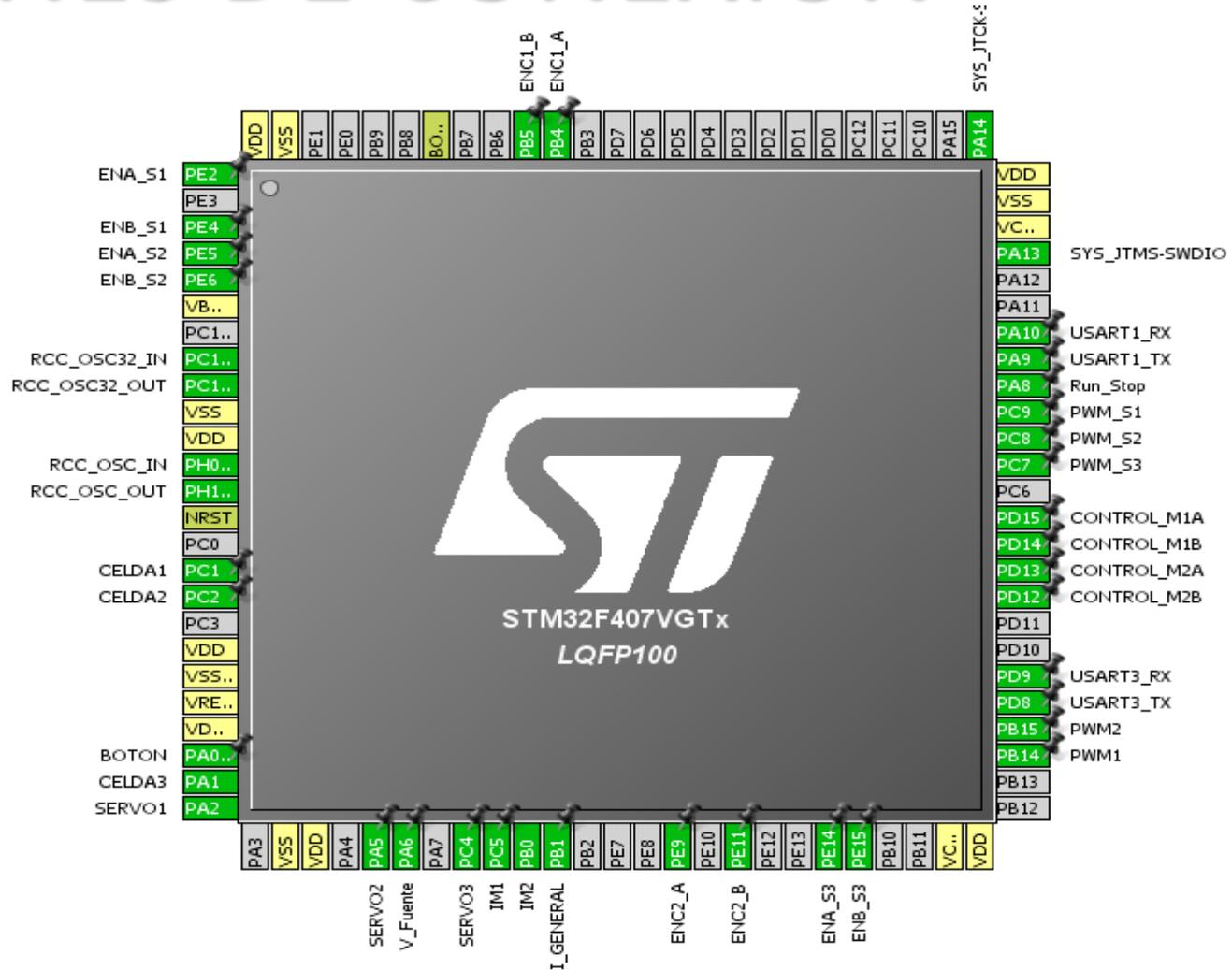
ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica

PINES DE CONEXIÓN





ESTRUCTURA DE LA PROGRAMACIÓN

1) LIBRERÍAS

```
#include "main.h"
```

```
#include "stm32f4xx_hal.h"
```

1) INICIALIZAR VARIABLES

2) DECLARAR FUNCIONES

```
void Adelante_M_Derecho(uint8_t Velocidad);  
void Atras_M_Derecho(uint8_t Velocidad);  
void Para_M_Derecho (void);  
void Adelante_M_Izquierdo(uint8_t Velocidad);  
void Atras_M_Izquierdo(uint8_t Velocidad);
```

3) MAIN PRINCIPAL



Método de programación del microcontrolador ARM

Por Pulling

- Programar instrucciones en secuencia en orden de arriba hacia abajo.

Por Interrupciones

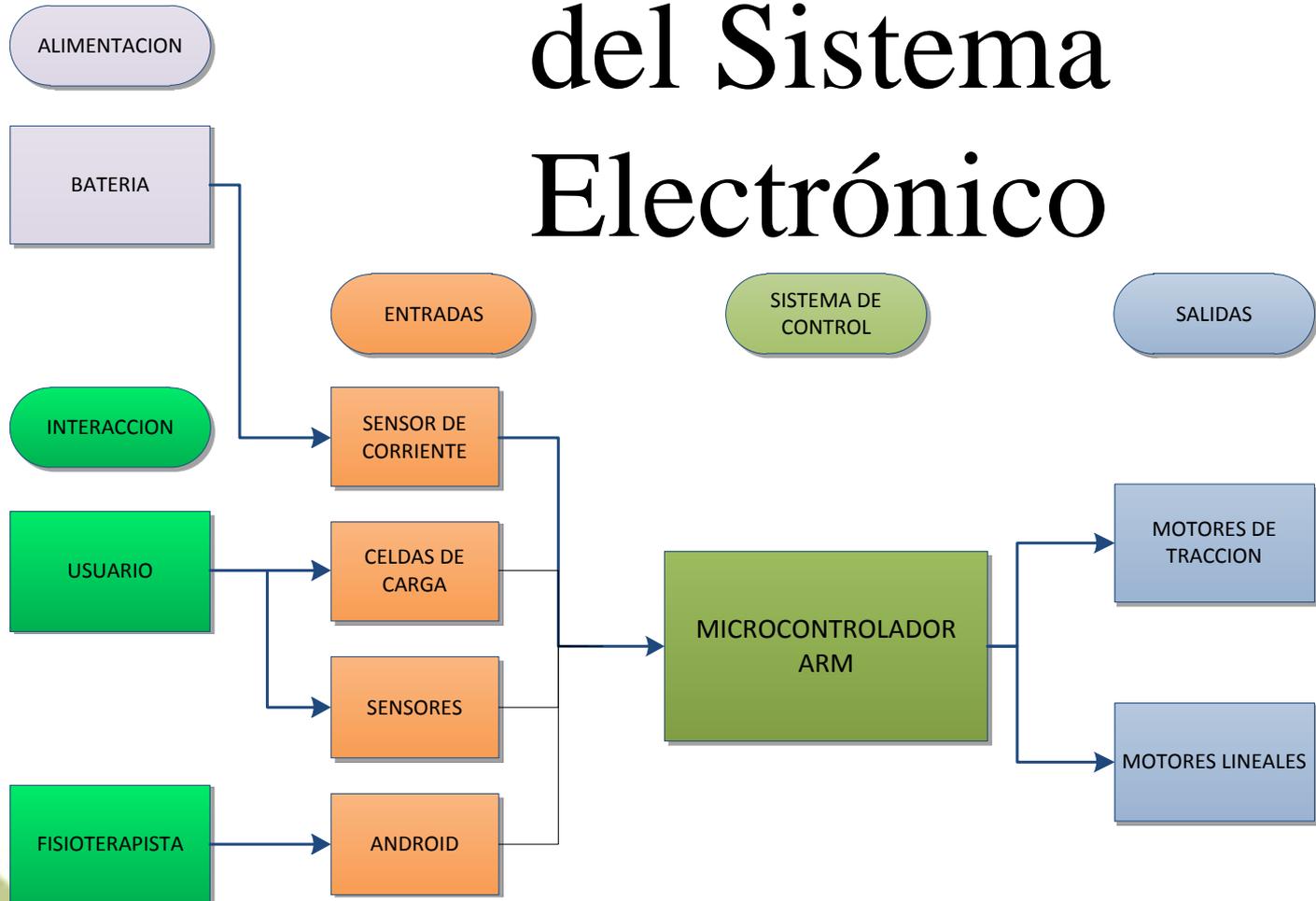
- Interrumpir el programa principal para atender una sub rutina.
- Manejo de prioridades.

Por DMA

- Permite el manejo de los periféricos de la tarjeta.
- Transferencias de información directamente entre un periférico como USART, ADC, Memorias.

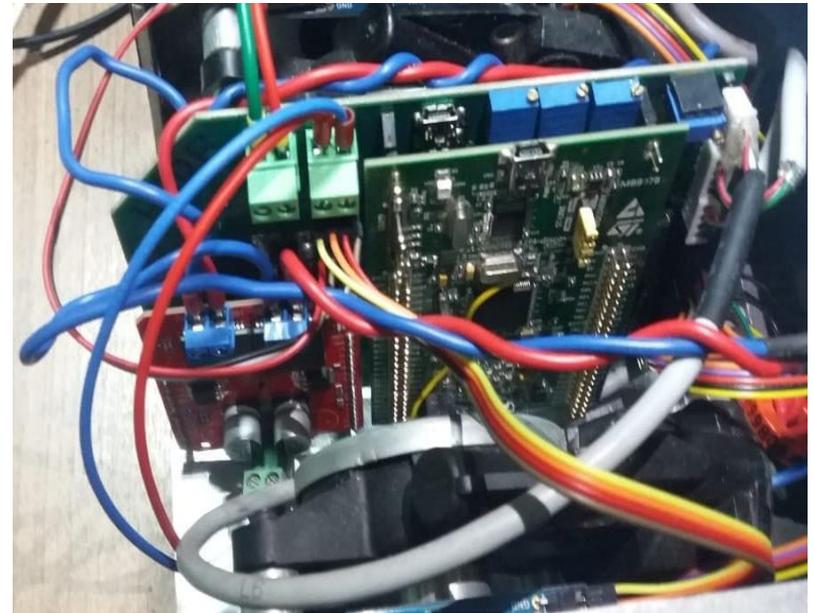
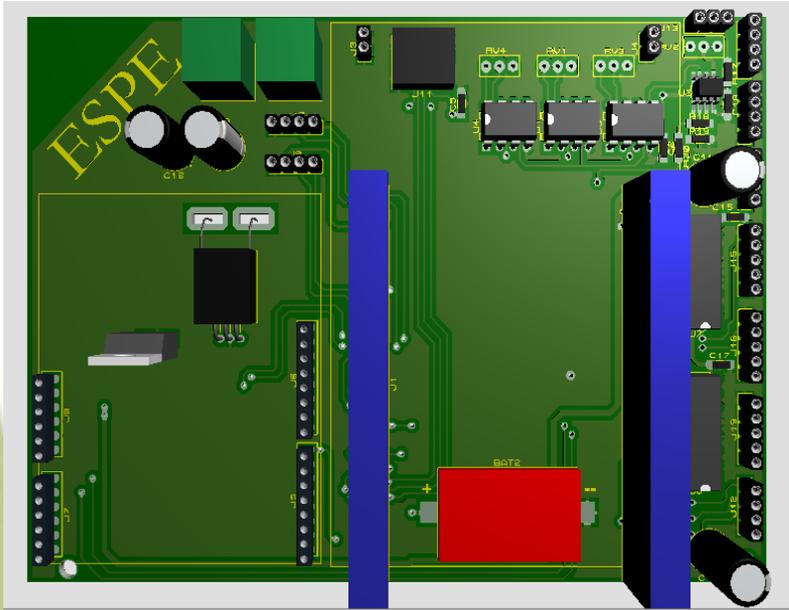


Diagrama de Bloques del Sistema Electrónico





DISEÑO FINAL DE LAS PLACAS





DISEÑO FINAL





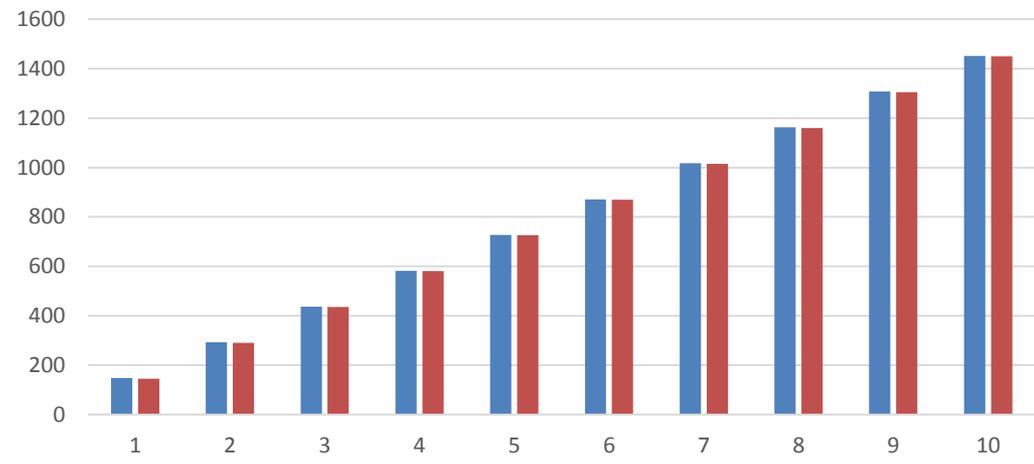
PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROTOTIPO

Desplazamiento (m)	Ciclo de Trabajo	Pulsos Reales	Pulsos Experimentales	Error (%)
1	20	148	145,05	2,03
2	20	293	290,11	1,00
3	20	437	435,16	0,42
4	20	582	580,21	0,31
5	20	727	725,27	0,24
6	20	871	870,32	0,08
7	20	1017	1015,4	0,16
8	20	1162	1160,4	0,14
9	20	1307	1305,5	0,12
10	20	1452	1450,5	0,10





Distancia vs Pulsos





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica

Peso (kg)	Ciclo de Trabajo (%)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)	Tiempo (s)	Velocidad (m/s)
0	20	18,55	0,162	18,86	0,159	18,82	0,159
0	30	10,55	0,284	10,59	0,283	10,69	0,281
0	40	7,64	0,393	7,87	0,381	7,59	0,395
0	50	6,25	0,480	5,99	0,501	5,93	0,506
0	60	5,14	0,584	5,06	0,593	5,02	0,598
0	70	4,68	0,641	4,6	0,652	4,49	0,668
0	80	4,72	0,636	5,06	0,593	4,68	0,641
0	90	3,6	0,833	4,08	0,735	4,07	0,737
0	100	3,1	0,968	3,12	0,962	3,15	0,952



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica

4	30	11,31	0,265	11,12	0,270	0.25	12
8	30	13,63	0,220	13,46	0,223	13,5	0,22
12	30	15,37	0,195	15,5	0,19	15,73	0,19



Conclusiones

- Se comprobó la importancia del proyecto de provocar en el usuario una sensación de inmersión y de proporcionarle la posibilidad de interactuar con el dispositivo, pudiendo establecer entre el usuario y el bastón una transferencia en tiempo real de información.
- Se diseñó e implementó el bastón robótico con la capacidad de carga de hasta 11.56kg lo cual se comprobó incluso hasta con 12 kg con lo que se puede demostrar que el bastón puede ser utilizado con personas de hasta un peso de 80 kg.



- Para facilitar la utilización del dispositivo, se creó una interfaz de usuario que permite al terapeuta establecer los movimientos a ejecutar y observar los avances de la rehabilitación.
- El bastón robótico cumple con todos los parámetros y requerimientos que se establecieron para el diseño con lo cual se verifica que el dispositivo es seguro, confiable y no sufrirá fallas.



Recomendaciones

- Después de un análisis y tras las pruebas realizadas se recomienda para las nuevas aplicaciones que el robot tenga ruedas omnidireccionales que le permita tener mayor maniobrabilidad y pueda girar con mayor fluidez.
- Como recomendación se puede establecer que para el uso del bastón con cargas mucho mayores, es necesario el cambio de los motores lineales por unos con una caja reductora con relación más grande que le permita soportar cargas más pesadas y el bastón no ceda.



- Para futuras aplicaciones se recomienda incorporar un algoritmo de control mucho más avanzado que permita la navegación autónoma del dispositivo para desplazarse de forma automática hacia un punto específico a través de una trayectoria definida incluyendo sensores que le permita detectar obstáculos y corregir su movimiento sin la necesidad de la intervención de un operador externo.



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS