



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

Tema:

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE EXOESQUELETO
ROBÓTICO DE CADERA USANDO MATERIALES INTELIGENTES PARA
PERSONAS CON MOTRICIDAD LIMITADA”**

Autores:

**ROMERO MEDINA, JAKEYN XIOMARA
TACO GUANOTASIG, MARCO ANTONIO**

Director: ING. ARTEAGA LÓPEZ, OSCAR BLADIMIR



Introducción



Ingeniería Mecatrónica



Exoesqueleto



Antecedentes



Clasificación



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Objetivos



GENERAL

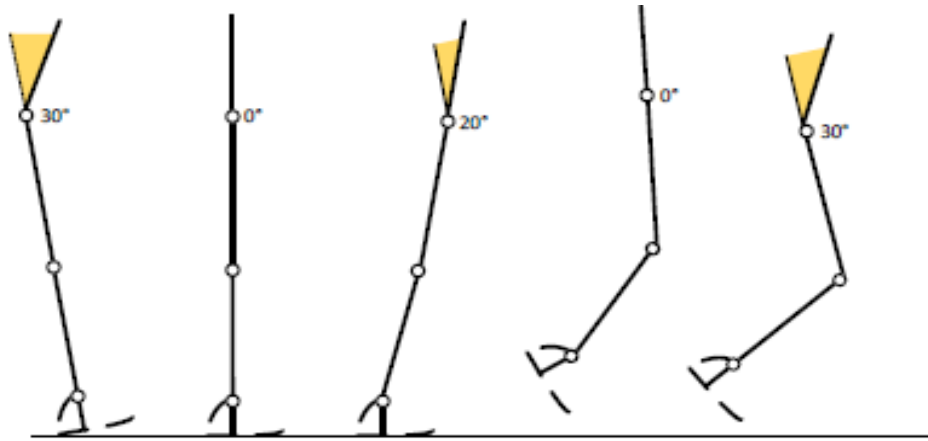
- Diseñar y construir un prototipo de exoesqueleto robótico de cadera usando materiales inteligentes para personas con motricidad limitada.

ESPECÍFICOS

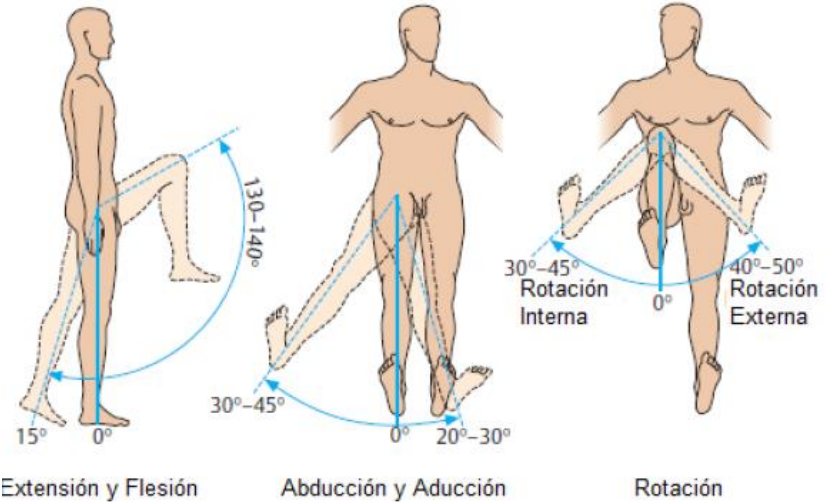
- Investigar sobre trabajos o prototipos existentes
- Diseñar y analizar un prototipo de exoesqueleto robótico de cadera funcional para el usuario
- Desarrollar el sistema de control
- Construir un prototipo de exoesqueleto funcional
- Realizar pruebas de funcionamiento



Biomecánica de cadera en la marcha



Movimientos



Antropometría



Ingeniería Mecatrónica

Hombres – Medias (cm)				
N.	Medidas.Antropométricas	Mestizos	Indígenas	Afroecuatorianos
1	Altura Normal	172,4	163,3	177,6
2	Grosor del muslo	13,20	13,08	15,29
3	Longitud Glúteo – Rodilla	57,11	55,17	58,38
4	Longitud Codo a Codo posición sentado	44,70	44,84	49,85
5	Ancho de caderas posición sentado	35,62	37,89	40,63
6	Longitud Hombro – Codo	36,32	37,10	38,99
7	Longitud Codo – Mano	46,08	45,00	47,76



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Peso

Segmentos humanos

SEGMENTO	MASA	CG	Punto proximal	Punto distal
Cabeza y cuello	7.3%	46.40%	Vertex	gonion medio
Tronco	50.7%	38.03%	huevo supraesternal	cadera media
Brazo	2.6%	51.30%	Acromion	Radiale
Antebrazo	1.6%	38.96%	Radial	art. Muñeca
Mano	0.7%	82.00%	art. Muñeca	estiloides 3ºdedo
Muslo	10.3%	37.19%	art. Cadera	Tibiale
Pantorrilla	4.3%	37.05%	Tibiale	art. Tobillo
Pie	1.5%	44.90%	Talón	dedo 1º

Longitud

SEGMENTO	% ESTATURA
Mano	10.8%
Tórax	28.8%
Brazo	18.6%
Antebrazo	14.6%
Pelvis	4.5%
Muslo	20.0%
Pantorrilla y pie	28.5%



Parámetros De Diseño



Ingeniería Mecatrónica

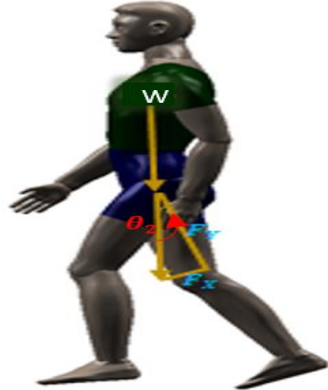


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Casos de análisis



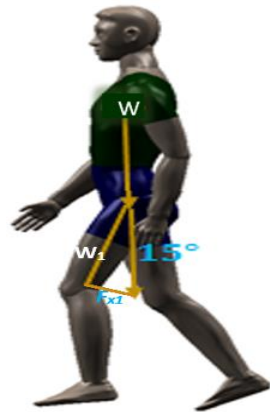
Torque Teórico	$\tau = 79,14Nm$
Torque requerido	$\tau_{req} = 94,97 Nm$
Potencia Requerida	$P_{req} = 37,29 watts$



Torque Teórico	$\tau = 40,97Nm$
Torque requerido	$\tau_{req} = 49,16 Nm$
Potencia Requerida	$P_{req} = 10,29 watts$



$W = 465,58 N$



Torque Teórico	$\tau = 9,7Nm$
Torque requerido	$\tau_{req} = 11,67 Nm$
Potencia Requerida	$P_{req} = 2,44 watts$

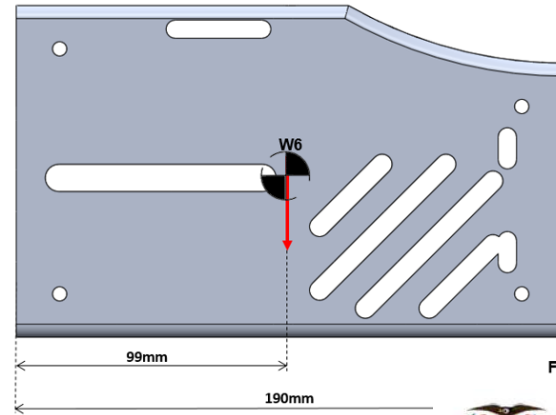
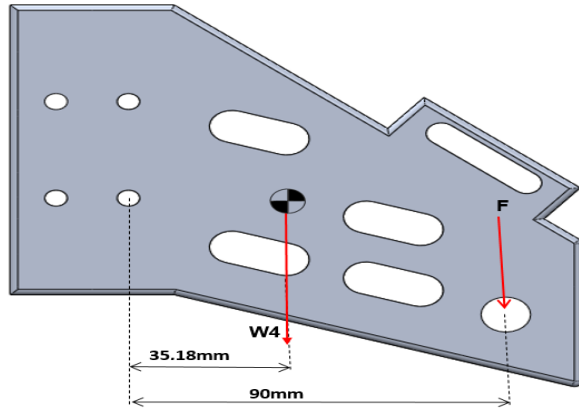
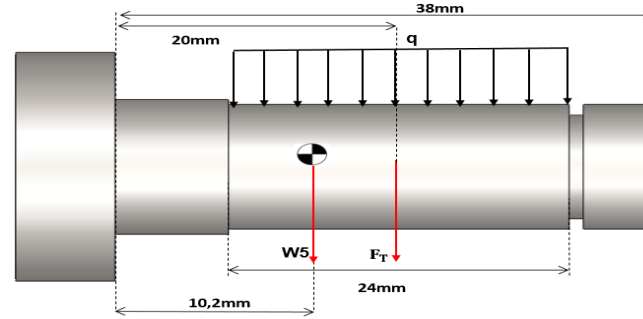
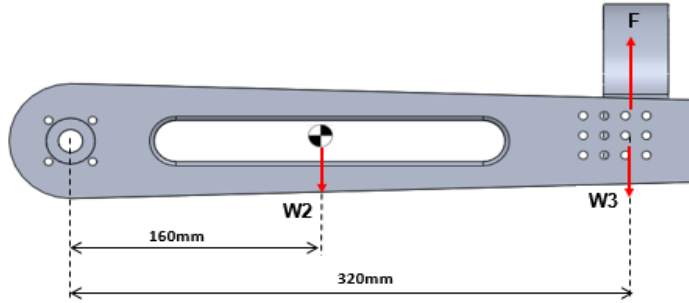
Selección Material



Propiedades	Aluminio 6061-T6	Acero AISI 1020	Plástico Ácido poliláctico (PLA)
Densidad [g/cm ³]	2,71	7,96	1,26
Dureza [HB]	120	140	25
Maquinabilidad	Excelente	No se maquina con facilidad.	Buena
Módulo de elasticidad [GPa]	70	207	55
Tensión de fluencia [MPa]	260	296	65
Tensión de tracción [Mpa]	290	393	70



Análisis de cargas



Selección de Motor



	Características	Maxon motor EC 60 Flat (brushless)	Harmonic Drive Actuador FHA-14C	Brushless DC Motor Nema23 57BLF03
Datos de tensión nominal	Potencia	100 W	100 W	188 W
	Tensión nominal	24 V	24 V	24 V
	Velocidad nominal	3740 rpm	30 rpm	300 rpm
	Torque	0.289 Nm	0.180 Nm	0,066Nm
	Máx. eficiencia	86 %	80 %	80 %
	Velocidad máxima	6000 rpm	60 rpm	400 rpm
	Corriente nominal	5,47 A	12,3 A	12 A
Datos Térmicos	Máx temperatura de bobinado	+125 °C	+40 °C	+50 °C
	Temperatura ambiente	-40...+100 °C	-20...+60 °C	-20...+50 °C
Datos mecánicos	Peso	0.470 kg	1.300 kg	1.24 kg
	Longitud	43 mm	78 mm	101 mm
	Diámetro	68 mm	74 mm	57 mm
	Número de par de polos	7	5	8

$$T_{req1} = 94,97Nm$$

$$P_{req1} = 37,29 Watts$$

$$\omega_1 = 3,75 rpm$$



Selección de Reductor



Características	REDUCTOR PLANETARIO GP 52B MAXON
Relación de reducción	353:1
Peso y tamaño	0,92 kg
Velocidad de entada máxima	6000 rpm
Torque de salida máximo	500 Nm
Torque en continuo máximo	200 Nm
Rendimiento	68%

$$P_{real\ i} > P_{req\ 1}$$

$$58,48\ watts > 37,29\ Watts$$

$$T_{real\ i} > T_{req\ 1}$$

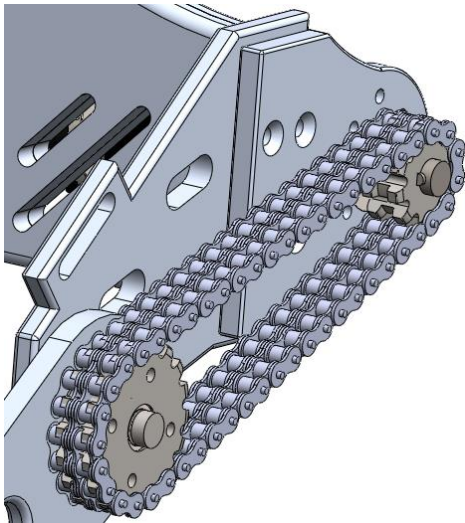
$$59,65\ Nm < 94,97\ Nm$$

$$W_{real\ i} \approx W_{req\ 1}$$

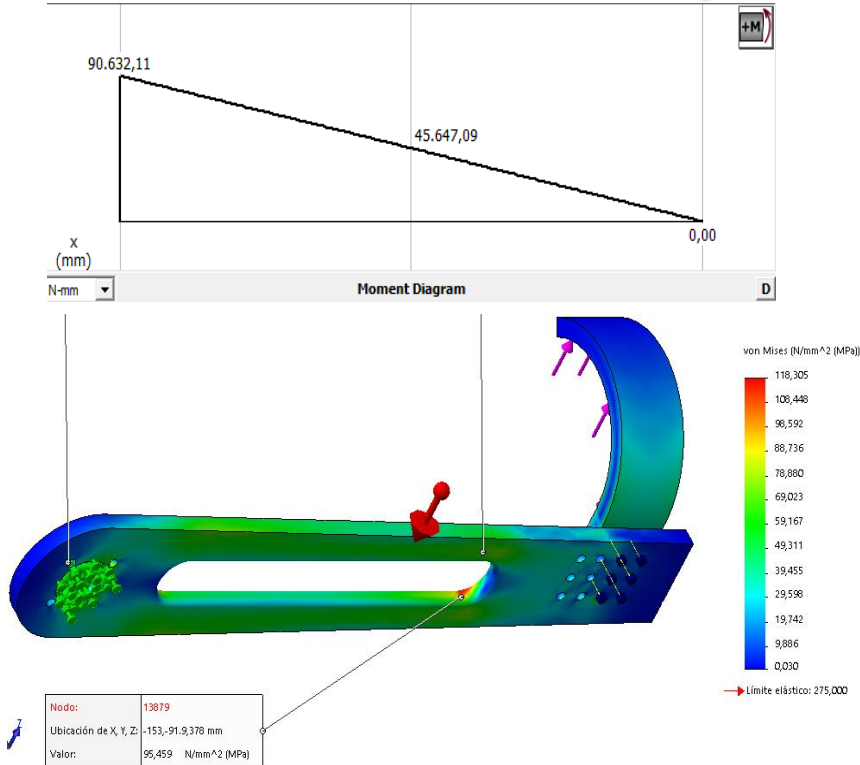
$$6,19\ rpm > 3,75\ rpm$$



Selección de Mecanismo de transmisión



- Una cadena RS-35 a doble hilera
- Un piñón conductor de 11 dientes
- Un piñón conducido de 18 dientes



$$\sigma_1 = \frac{M_{\max 1}}{S}$$

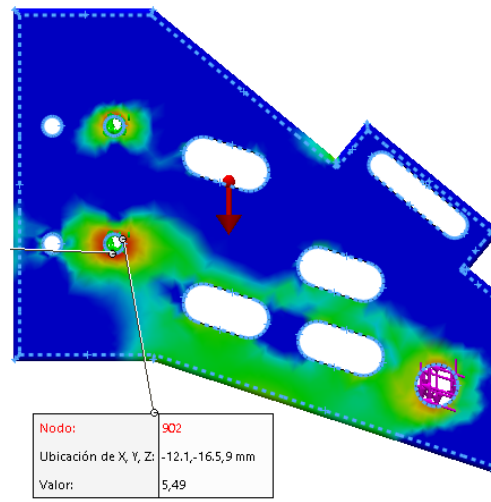
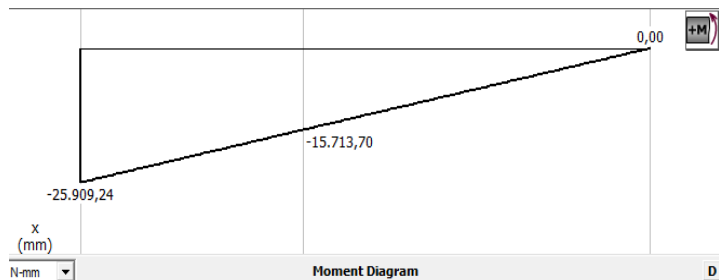
$$\tau_{T1} = \frac{T_{req 1}}{\alpha * h * b^2}$$

$$\sigma_{eq 1} = \sqrt{\sigma_1^2 + (3\tau_{T1}^2)}$$

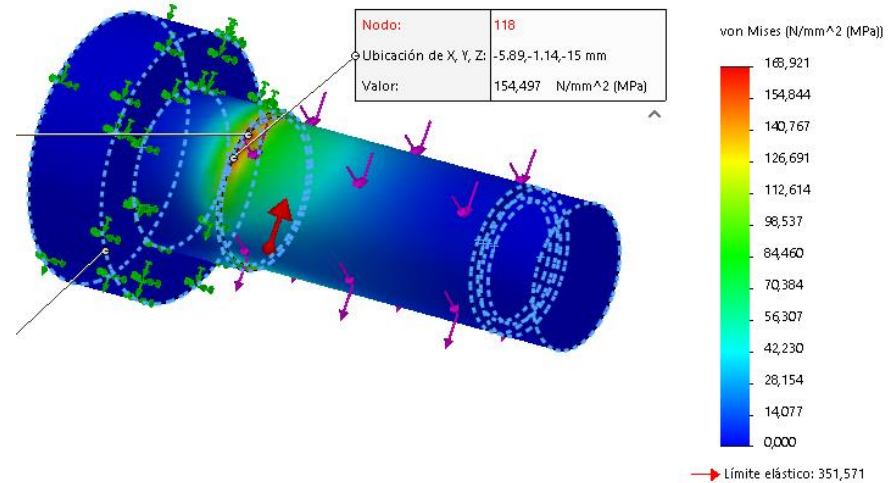
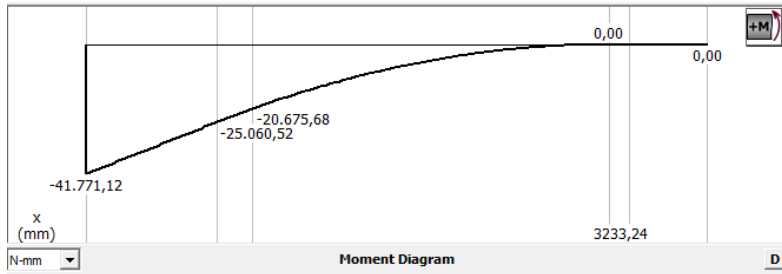
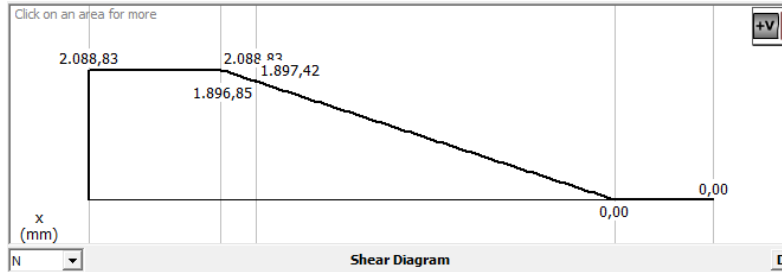
$$n_1 = \frac{Sy}{\sigma_{eq 1}}$$



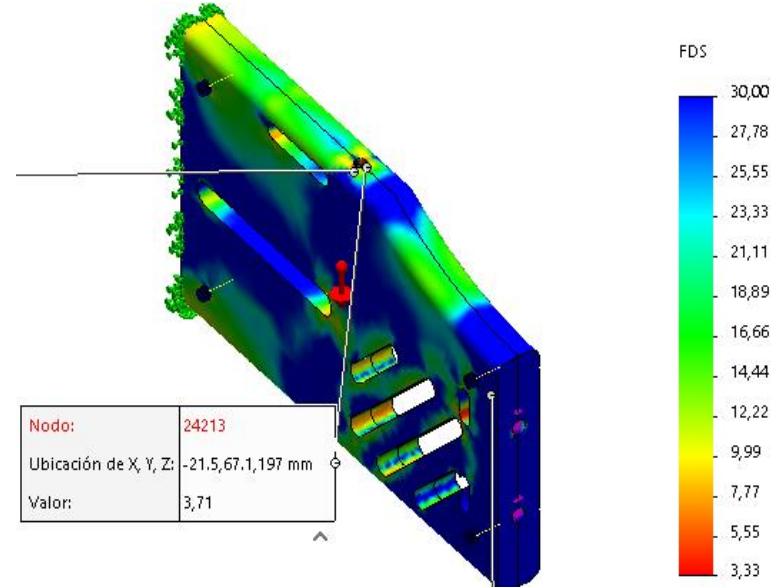
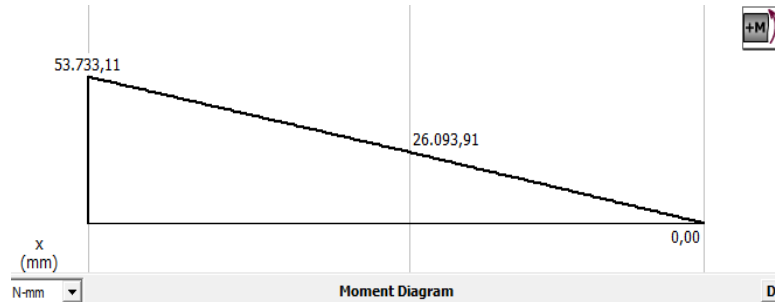
Lateral Cadera



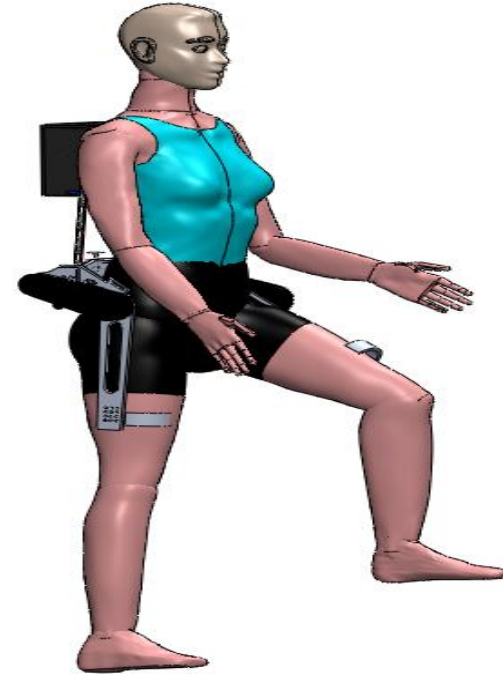
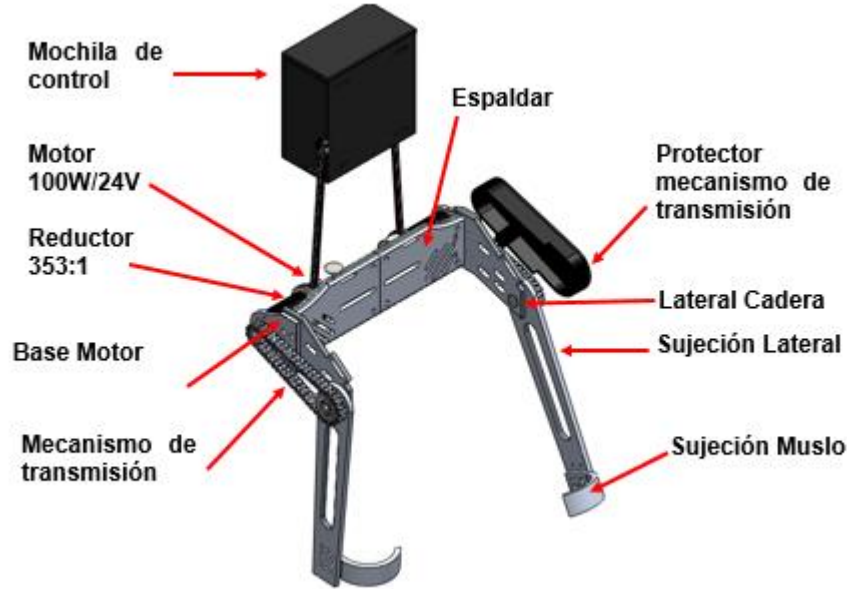
Eje Conector



Espaldar



Diseño Final



Diseño Electrónico

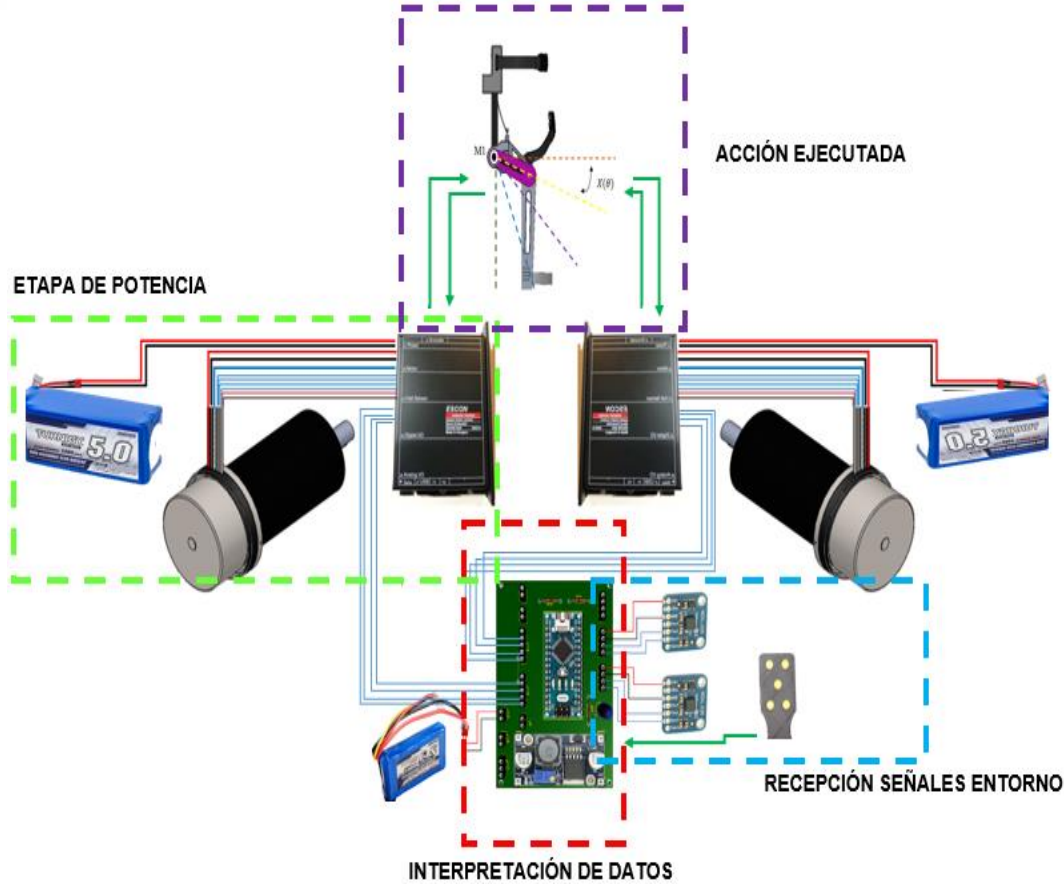


Ingeniería Mecatrónica

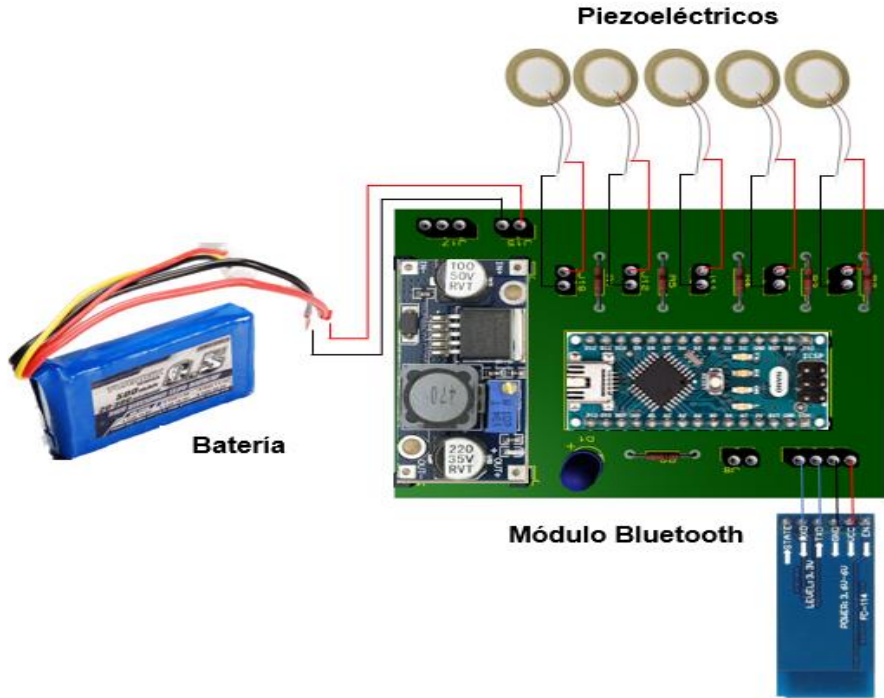
Datos Técnicos	Escon 50/5
Tensión nominal de trabajo	10....50Vcc
Intensidad de salida	5 ^a /15 ^a
Máx. grado de eficacia	95%
Frecuencia de modulación por duración de pulso (PWM)	53,6 kHz
Tensión de alimentación de sensor Hall	+5 VCC
Temperatura de funcionamiento	-30...+45°C



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Emisor



Construcción e Implementación



Ingeniería Mecatrónica

Manufactura



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
EQUADOR
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Ensamblaje



Ingeniería Mecatrónica



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Exoesqueleto Final



Ingeniería Mecatrónica



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Pruebas y Resultados

En Vacío



Ingeniería Mecatrónica

ESTADOS DE EJECUCIÓN	INTERVALO-ÁNGULO (grados)	REPETICIONES	ÁNGULO (grados)
LEVANTAR	0-90	1	82
		2	84
		3	83
		4	82
		PROMEDIO	83
CAMINAR	75-105	1	102
		2	103
		3	103
		4	102
		PROMEDIO	103
SENTAR	90-0	1	16
		2	18
		3	19
		4	21
		PROMEDIO	18



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

Adulto Mayor

Sin Exoesqueleto

REPETICIONES	TIEMPO LEVANTAR (s)	TIEMPO CAMINAR (s)	TIEMPO SENTAR (s)	TIEMPO TOTAL CICLO (s)
1	3,91	27,98	3,5	35,39
2	3,87	27,52	3,41	34,80
3	4,55	29,59	3,72	37,86
4	4,1	27,24	3,82	35,16
5	4,26	31,18	3,56	39,00
6	4,17	27,91	3,2	35,28
7	5,19	29,87	3,92	38,98
8	4,87	28,98	3,57	37,42
9	4,79	29,88	3,95	38,62
10	3,98	30,33	3,89	38,20
PROMEDIO	4,37	29,05	3,65	37,07

Con Exoesqueleto

REPETICIONES	TIEMPO LEVANTAR (s)	TIEMPO CAMINAR (s)	TIEMPO SENTAR (s)	TIEMPO TOTAL CICLO (s)
1	3,98	30,43	3,75	38,16
2	3,87	31,33	3,65	38,85
3	3,72	26,59	3,58	33,89
4	3,65	26,73	3,52	33,9
5	3,63	26,94	3,61	34,18
6	3,88	31,1	3,49	38,47
7	3,61	26,58	3,48	33,67
8	3,54	27,87	3,56	34,97
9	3,57	26,87	3,59	34,03
10	3,53	26,73	3,61	33,87
PROMEDIO	3,70	28,12	3,58	35,40



Conclusiones



- Se diseñó un prototipo de exoesqueleto que permite otorga la fuerza necesaria a las personas con motricidad limitada para permitir realizar la actividad de locomoción cuyo límite de peso es de 70kg, dicha estructura se diseñó en base a datos antropométricos de la población promedio de Ecuatorianos para permitir que la estructura se adapta al usuario.
- Mediante el análisis de elementos finitos realizados en el software se demuestra que dicho diseño es funcional y confiable para el usuario ya que tiene un factor de seguridad mayor a 2 que hace que el mismo sea seguro.
- El exoesqueleto diseñado permite realizar los movimientos necesarios para que el usuario realice el proceso de locomoción de manera normal, dentro del mismo se comprueba el grado de libertad flexión-extensión.



Conclusiones



- La aplicación del material inteligente en este caso piezoeléctrico permite que el usuario mediante su tacto dependiendo de la fuerza de presión decida el nivel de velocidad a la que desee realizar la acción de caminar entregándole seguridad en su actividad.
- Mediante los datos tabulados se obtiene una precisión de 93% en la función de levantar, de 98% al momento de iniciar la locomoción y de 82% en la función de sentar, lo cual permite determinar que dicho prototipo cumple con los valores de rango establecidos en cada movimiento.



Recomendaciones



- Se recomienda investigar otros tipos de materiales que permitan que el exoesqueleto sea más liviano pero que presente igual o mayor resistencia a las fallas, que el material seleccionado en el presente proyecto.
- Para autonomía del usuario se recomienda implementar un control que accione el prototipo mediante señales eléctricas generadas por el propio usuario en una determinada parte del cuerpo.
- Implementar nuevos grados de libertad para permitir que el usuario tenga mayor movilidad al momento de desplazarse.
- Se recomienda implementar un indicador de nivel de carga de la batería que alimenta el exoesqueleto de cadera para poder conocer en momento en el cual la misma llegue a 22,2V.



GRACIAS



Ingeniería Mecatrónica



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA