



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Ingeniería Mecatrónica

DEPARTAMENTO DE ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

**“INVESTIGACIÓN PARA EL DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN
EXOESQUELETO AJUSTABLE PARA PERSONAS CON AMPUTACIÓN
O MOVILIDAD REDUCIDA DEL BRAZO”**

ALBA LORENA MENA MENA
DAVID ALEXANDER VILLAMARIN ROBLES

TUTOR: ING. FAUSTO ACUÑA





INTRODUCCIÓN

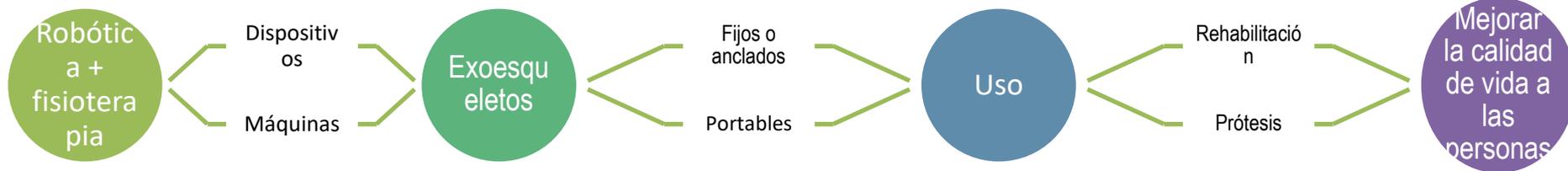
Discapacidad
del miembro
superior

Exoesqueletos

Dispositivos
robóticos

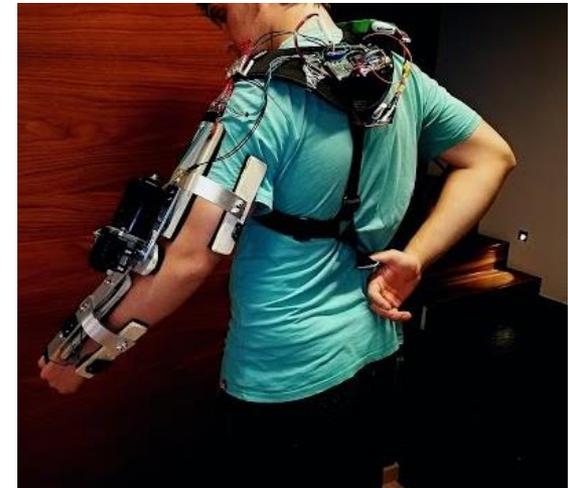
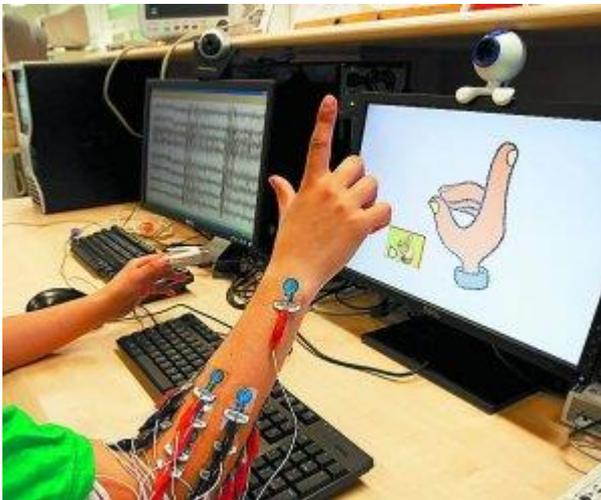


ANTECEDENTES



ANTECEDENTES

Actualmente en el país no existen empresas comerciales que ofrezcan este tipo de exoesqueletos, pero en las universidades se han desarrollado proyectos de este tipo, que cuentan con señales electromiográficas, que son producidas por la contracción y relajación del músculo y es característica de una sola persona, por lo que la ubicación de los sensores varía a diferentes usuarios.





JUSTIFICACIÓN

En el Ecuador, el índice de personas que sufren discapacidad física, han tenido un incremento significativo del 12,34% anual, por accidentes o problemas congénitos son aproximadamente 196758 personas que hay en nuestro país (CONADIS, 2017). Con un exoesqueleto ajustable de bajo costo, cómodo, durable, sostenible y se adapte a la anatomía del cuerpo humano, con el fin de mejorar la calidad de vida de las personas.



PROPUESTA

Ayudar a las personas que necesitan terapias físicas al implementar un exoesqueleto ajustable.





OBJETIVO GENERAL

- ❖ Investigar, diseñar y construir un exoesqueleto ajustable para personas con amputación o movilidad reducida del brazo.

OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Diseñar e implementar el exoesqueleto ajustable del miembro superior.
- ❖ Crear un accionamiento del exoesqueleto de brazo por medio de un mando remoto que garantice la movilidad.
- ❖ Realizar pruebas de funcionamiento del sistema completo.
- ❖ Realizar pruebas a diferentes personas.





DISEÑO DE LOS SISTEMAS Y SELECCIÓN DE COMPONENTES

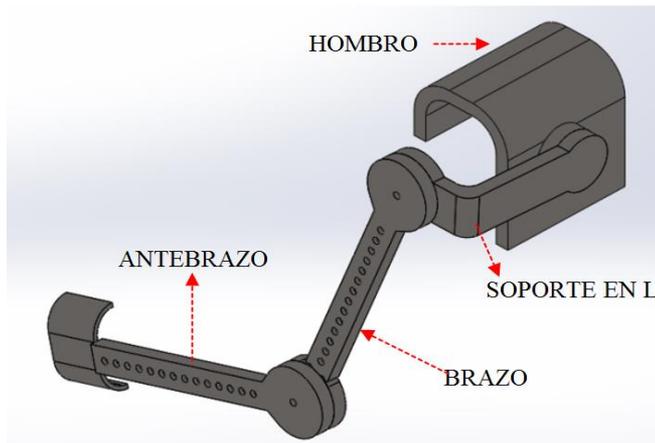
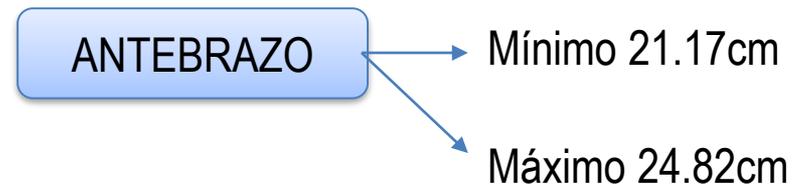
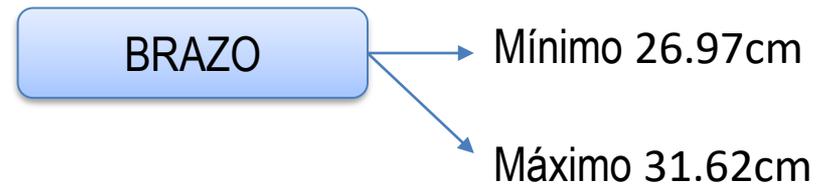


DISEÑO MECÁNICO

- **CÁLCULO DE LONGITUD DEL MIEMBRO SUPERIOR**

Para el cálculo de las distancias de los segmentos del miembro superior, se toma el rango de estatura de 145cm a 170cm.

Segmento	Distancia
Brazo (L1)	0.186H
Antebrazo (L2)	0.146H
Mano (L3)	0.108H



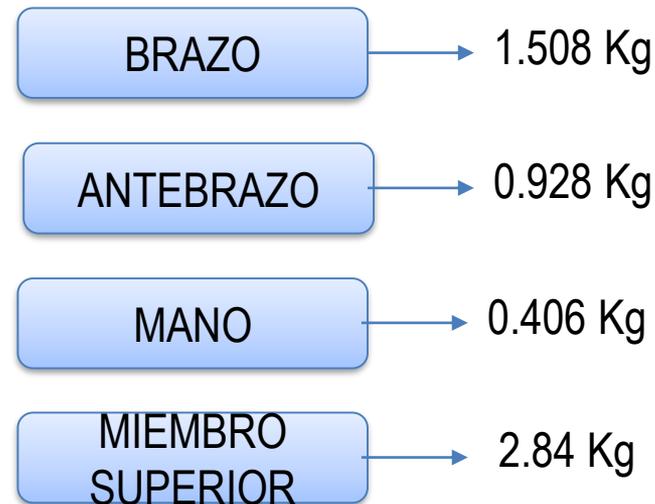
DISEÑO MECÁNICO

- **CÁLCULO DEL PESO DEL MIEMBRO SUPERIOR**

Para la obtención del peso del miembro superior, se hace referencia a un peso promedio de cada individuo de nuestro país, que aproximadamente es de 58Kg. (INEC, 2015)

Parámetros Inerciales generador por Clauster

SEGMENTO	MASA
Cabeza y cuello	7.3 %
Tronco	50.7 %
Brazo	2.6 %
Antebrazo y mano	2.3 %
Antebrazo	1.6 %
Brazo completo	5 %
Mano	0.7 %
Muslo	10.3 %
Pie	1.5 %

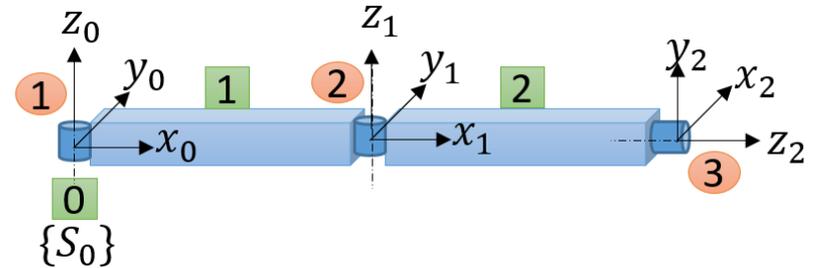


Fuente: (Soto & Gutiérrez, 1996)

ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL EXOESQUELETO

- **Modelo cinemático directo mediante el algoritmo de Denavit-Hartenberg**
Siguiendo el algoritmo de D-H

SITUAR LOS EJES



HALLAR LOS PARÁMETROS

Articulación	θ	d	a	α
1	q_1	0	l_1	0
2	q_2	0	l_2	0
3	q_3	0	l_3	-90



ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL EXOESQUELETO

- **Modelo cinemático directo mediante el algoritmo de Denavit-Hartenberg**
Siguiendo el algoritmo de D-H

Obtener las matrices A: de los cambios de bases

$${}^0A_1 \cdot {}^1A_2 \cdot {}^2A_3$$

$$= \begin{bmatrix} C_1 & -S_1 & 0 & L_1 C_1 \\ S_1 & C_1 & 0 & L_1 S_1 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_2 & -S_2 & 0 & L_2 C_2 \\ S_2 & C_2 & 0 & L_2 S_2 \\ 0 & 0 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} C_3 & 0 & -S_3 & L_3 C_3 \\ S_3 & 0 & C_3 & L_3 S_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$T = {}^0A_3$$

$$= \begin{bmatrix} C_{12}C_3 - S_{12}S_3 & 0 & -S_3C_{12} - C_3S_{12} & l_1C_1 + l_2C_{12} + C_{12}L_3C_3 - S_{12}l_3S_3 \\ C_3S_{12} + C_{12}S_3 & 0 & -S_3S_{12} + C_{12}C_3 & l_1S_1 + l_2S_{12} + S_{12}L_3C_3 + C_{12}l_3S_3 \\ 0 & -1 & 0 & 0 \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$





ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL EXOESQUELETO

- Modelo cinemático directo mediante el algoritmo de Denavit-Hartenberg

COMPROBACIÓN EN EL SOFTWARE DE MATLAB

T2 =

```
[ cos(q3)*(cos(q1)*cos(q2) - sin(q1)*sin(q2)) - sin(q3)*(cos(q1)*sin(q2) + cos(q2)*sin(q1)), 0,  
 [ cos(q3)*(cos(q1)*sin(q2) + cos(q2)*sin(q1)) + sin(q3)*(cos(q1)*cos(q2) - sin(q1)*sin(q2)), 0,  
 [ 0, -1,  
 [ 0, 0,  
  
- cos(q3)*(cos(q1)*sin(q2) + cos(q2)*sin(q1)) - sin(q3)*(cos(q1)*cos(q2) - sin(q1)*sin(q2)),  
 cos(q3)*(cos(q1)*cos(q2) - sin(q1)*sin(q2)) - sin(q3)*(cos(q1)*sin(q2) + cos(q2)*sin(q1)),  
 0,  
 0,
```

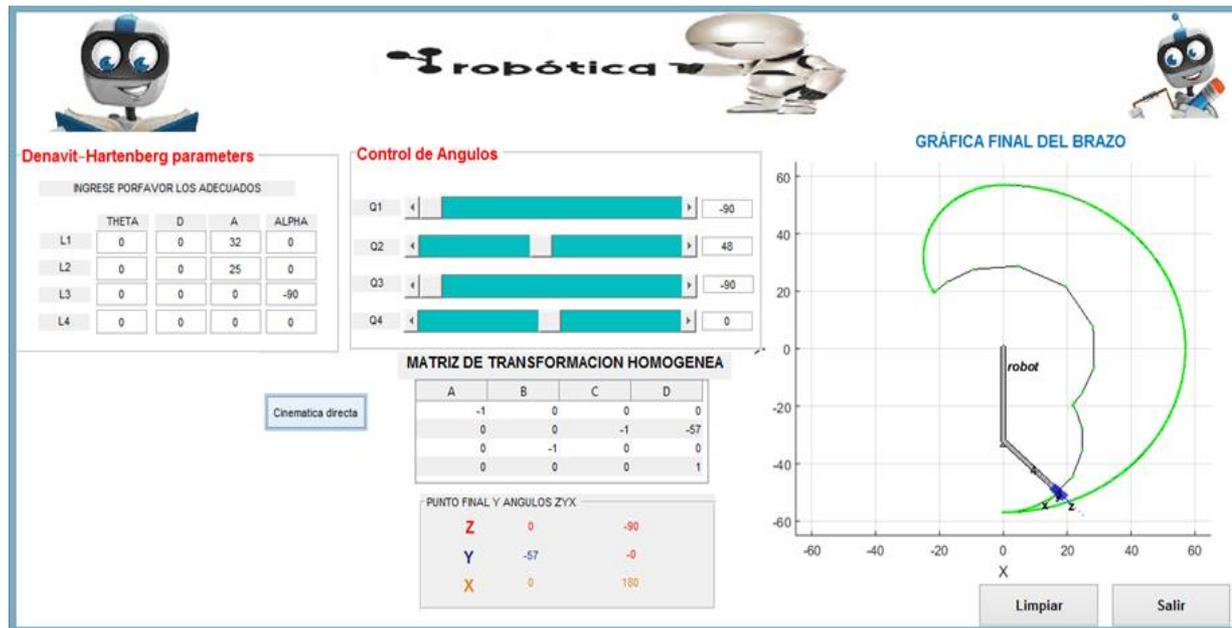
```
11*cos(q1) + 13*cos(q3)*(cos(q1)*cos(q2) - sin(q1)*sin(q2)) - 13*sin(q3)*(cos(q1)*sin(q2) + cos(q2)*sin(q1)) + 12*cos(q1)*cos(q2) - 12*sin(q1)*sin(q2)]  
11*sin(q1) + 13*cos(q3)*(cos(q1)*sin(q2) + cos(q2)*sin(q1)) + 13*sin(q3)*(cos(q1)*cos(q2) - sin(q1)*sin(q2)) + 12*cos(q1)*sin(q2) + 12*cos(q2)*sin(q1)]  
0]  
1]
```



ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL EXOESQUELETO

- Modelo cinemático directo mediante el algoritmo de Denavit-Hartenberg

ESPACIO DE TRABAJO DEL EXOESQUELETO EN EL PLANO XY
EN EL SOFTWARE DE MATLAB

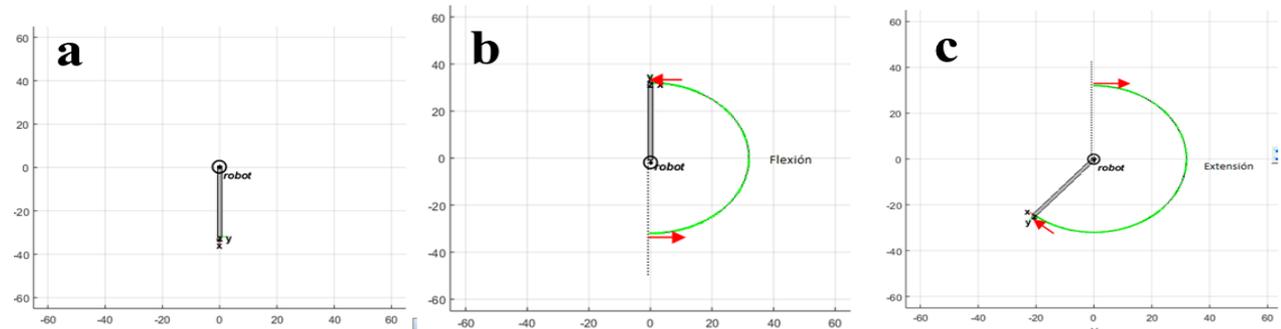


ANÁLISIS CINEMÁTICO DEL EXOESQUELETO

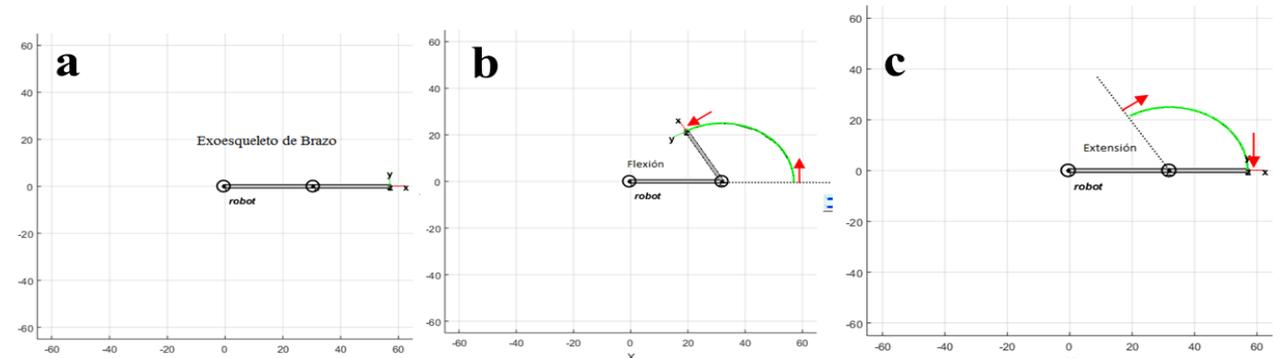
- Modelo cinemático directo mediante el algoritmo de Denavit-Hartenberg

ESPACIO DE TRABAJO DEL EXOESQUELETO EN EL PLANO XY
EN EL SOFTWARE DE MATLAB

a) Punto inicial del
brazo, b) Flexión,
c) Extensión



a) Punto inicial del
antebrazo, b) Flexión,
c) Extensión





ANÁLISIS DINÁMICO DEL EXOESQUELETO

- Modelo dinámico del exoesqueleto mediante la formulación de Lagrange

Coordenadas y velocidades de los centros de masa

$$\text{M1} \quad \begin{cases} x_1 = d_1 C_1 \\ y_1 = d_1 S_1 \end{cases} \Rightarrow \begin{cases} \dot{x}_1 = -d_1 S_1 \dot{q}_1 \\ \dot{y}_1 = d_1 C_1 \dot{q}_1 \end{cases} \Rightarrow v_1^2 = \dot{x}_1^2 + \dot{y}_1^2 \quad v_1^2 = d_1^2 \dot{q}_1^2$$

$$\text{M2} \quad \begin{cases} x_2 = l_1 C_1 + d_2 C_{12} \\ y_2 = l_1 S_1 + d_2 S_{12} \end{cases} \quad v_2^2 = (l_1^2 + d_2^2 + 2l_1 d_2 C_2) \dot{q}_1^2 + d_2^2 \dot{q}_2^2 + 2d_2(l_1 C_2 + d_2) \dot{q}_1 \dot{q}_2$$

$$\text{M3} \quad \begin{cases} x_3 = l_1 C_1 + l_2 C_{12} + d_3 C_{123} \\ y_3 = l_1 S_1 + l_2 S_{12} + d_3 S_{123} \end{cases}$$

$$v_3^2 = (l_1^2 + l_2^2 + d_3^2 + 2l_1 l_2 C_2 + 2l_1 d_3 C_{23} + 2l_2 d_3 C_3) \dot{q}_1^2 + (l_2^2 + d_3^2 + 2l_2 d_3 C_3) \dot{q}_2^2 + d_3^2 \dot{q}_3^2 + 2(l_1 l_2 C_2 + l_1 d_3 C_{23} + l_2^2 + d_3^2 + 2l_2 d_3 C_3) \dot{q}_1 \dot{q}_2 + 2(l_1 d_3 C_{23} + d_3^2 + l_2 d_3 C_3) \dot{q}_1 \dot{q}_3 + 2(d_3^2 + l_2 d_3 C_3) \dot{q}_2 \dot{q}_3$$



ANÁLISIS DINÁMICO DEL EXOESQUELETO

- Modelo dinámico del exoesqueleto mediante la formulación de Lagrange

La Energía cinética E_c , la Energía potencial E_p , Lagrange L

$$E_c = \frac{1}{2} (m_1 v_1^2 + m_2 v_2^2 + m_3 v_3^2)$$

$$E_p = g(m_1 h_1 + m_2 h_2 + m_3 h_3)$$

$$h_1 = y_1, h_2 = y_2, h_3 = y_3$$

$$L = E_c - E_p$$

$$\tau_i = \frac{d}{dt} \frac{\partial L}{\partial \dot{q}_i} - \frac{\partial L}{\partial q_i}$$

Hombro		
Flexión / extensión	11.75N.m	119.88Kg.cm
Codo		
Flexión / extensión	2.45N.m	25.08 Kg.cm
Muñeca		
Aducción / abducción	0.889N.m	9.06 Kg.cm

SELECCIÓN DE ACTUADORES

- La tabla indica los parámetros de selección para el actuador del hombro

Alternativas	Actuadores	Características	Ponderación	TOTAL
1	Servomotor HS-1005SGT	Torque 110Kg.cm	5	18
		Voltaje 12V	5	
		Costo \$435	3	
		Disponible en mercado	5	
2	Motor a pasos Nema17	Torque 52Kg.cm	2	11
		Voltaje 15-40V	2	
		Costo \$40	5	
		Disponibilidad bajo en el mercado	2	
3	Motor DC Gear	Torque 100Kg	4	16
		Voltaje 24V	2	
		Costo \$245	5	
		Disponible en el mercado	5	



SELECCIÓN DE ACTUADORES

- La tabla indica los parámetros de selección para el actuador del codo

Alternativas	Actuadores	Características	Ponderación	TOTAL
1	Motor Paso A Paso Nema 23	Torque 25Kg.cm	5	17
		Voltaje 4.2V	5	
		Costo \$105	2	
		Disponible en mercado	5	
2	Motores JGB37-550	Torque 25Kg.cm	5	13
		Voltaje 12V	2	
		Costo \$90	4	
		Disponibilidad bajo en el mercado	2	
3	Servomotor Brushlees Metal Gear One	Torque 25Kg	5	19
		Voltaje 7.4V	4	
		Costo \$85	5	
		Disponible en el mercado	5	



SELECCIÓN DE ACTUADORES

- La tabla indica los parámetros de selección para el actuador de la muñeca

Alternativas	Actuadores	Características	Ponderación	TOTAL
1	Motor Reductor Alto Torque	Torque 10Kg.cm	5	24
		Voltaje 12V	5	
		Velocidad 100rpm	4	
		Costo \$25	5	
		Disponible en mercado	5	
2	Motor reductor sin escobillas	Torque 10Kg.cm	5	25
		Voltaje 12V	5	
		Velocidad 10rpm	5	
		Costo \$27	5	
		Disponible en el mercado	5	
3	Uxcell JGB37-550 Motor DC	Torque 10Kg	5	21
		Voltaje 12V	5	
		Velocidad 150rpm	3	
		Costo \$70	3	
		Disponible en el mercado	5	



SELECCIÓN DEL MATERIAL

- La tabla indica los parámetros de selección del material.

Criterios de selección	ABS	TEFLÓN	NYLON	ALUMINIO	TITANIO
Modo de fabricación (aditiva/sustractiva)	5	3	3	3	3
Tiempo de manufactura	5	3	3	3	3
Densidad	5	3	4	2	1
Costo del material	5	3	3	2	1
Disponibilidad en el país	5	4	4	5	1
Valoración final	25	16	17	15	9





ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

- **Fuerza calculada a la altura del hombro del exoesqueleto**

Se realiza con el fin de comprobar que el diseño sea el adecuado y cumple con los requerimientos necesarios de peso y fuerzas aplicadas en el mismo.

En donde:

$$F = m * a$$

$$F = (m_b + m_a + m_n + m_{ub} + m_{ua} + m_s) * a$$

$$F = (3.494 * 9,8) = 34.241N$$

- m_b es la masa del brazo
- m_a es la masa del antebrazo
- m_n es la masa de la mano
- m_{ub} es la masa de unión de brazo
- m_{ua} es la masa de unión de antebrazo
- m_s masa servomotor genérico

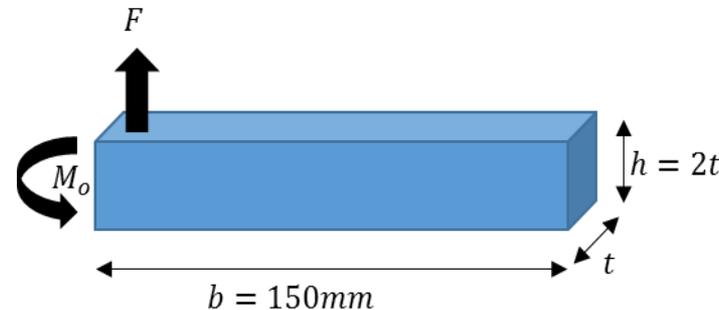


ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

- **Cálculo de la sección del brazo exoesqueleto**

El material que se va a ocupar es el ABS con $S_y = 34.96MPa$

El factor de diseño que se ocupa es de $N = 2$,



$$\sigma_d = \frac{S_y}{N} = \frac{34.96MPa}{2} = 17.48MPa$$

$$M_o = F \cdot b = (34.24N)(0.15m) = 5.136Nm = 5.136Nm$$

$$Z = \frac{M_o}{\sigma_d} = \frac{5.136Nm}{17.48MPa} = 0.29382 \times 10^{-6}m^3 \Rightarrow 293.82mm^3$$



ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

- **Cálculo de la sección del brazo exoesqueleto**

Módulo de sección, para una sección transversal $h = 2t$

$$Z = \frac{th^2}{6} = \frac{t(2t)^2}{6} = \frac{4t^3}{6} = 0.6674t^3$$

$$t = \sqrt[3]{\frac{Z}{0.667}} = \sqrt[3]{\frac{0.29382 \times 10^{-6} \text{m}^3}{0.667}} = 7.6088 \times 10^{-3} \text{m} \Rightarrow 7.6088 \text{mm}$$

$$h = 2t = 2(7.6088 \text{mm}) = 15.217 \text{mm}$$



ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

- Comprobar el Factor de Seguridad del brazo del exoesqueleto

Software MDSolid

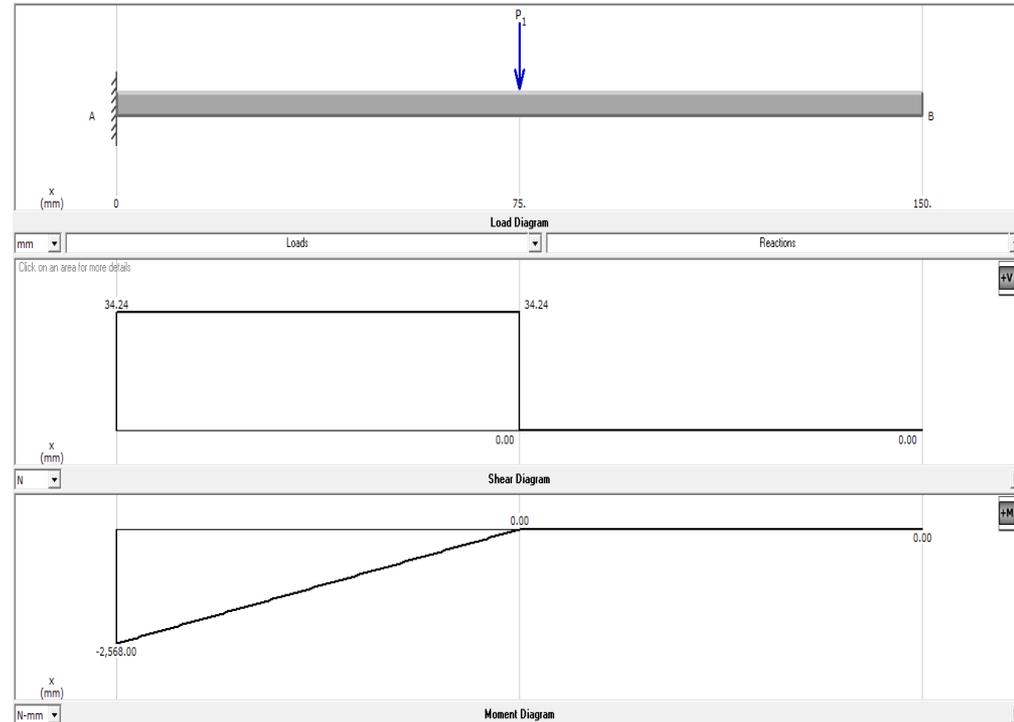
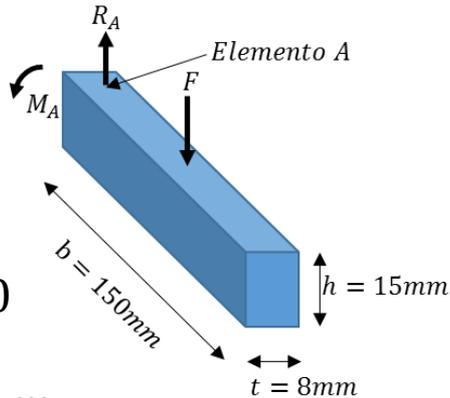
$$A = b * h = 120mm^2$$

$$+\uparrow \sum Fy = 0$$

$$R_A = 34.24N$$

$$+\curvearrowright \sum M_A = 0$$

$$M_A = 2.57N * m$$





ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

- Comprobar el Factor de Seguridad del brazo del exoesqueleto

TEORIA DE VON
MISES

$$\sigma' = 16.05MPa$$

ESFUERZO DE DISEÑO

$$\sigma_d = \frac{S_y}{N}$$

$$\sigma_d = \frac{34.96MPa}{2} = 17.48MPa$$

FACTOR DE DISEÑO

$$N = \frac{S_y}{\sigma'}$$

$$N = \frac{34.96MPa}{16.05MPa}$$

$$N = 2.17$$

$$\sigma' \leq \sigma_d$$

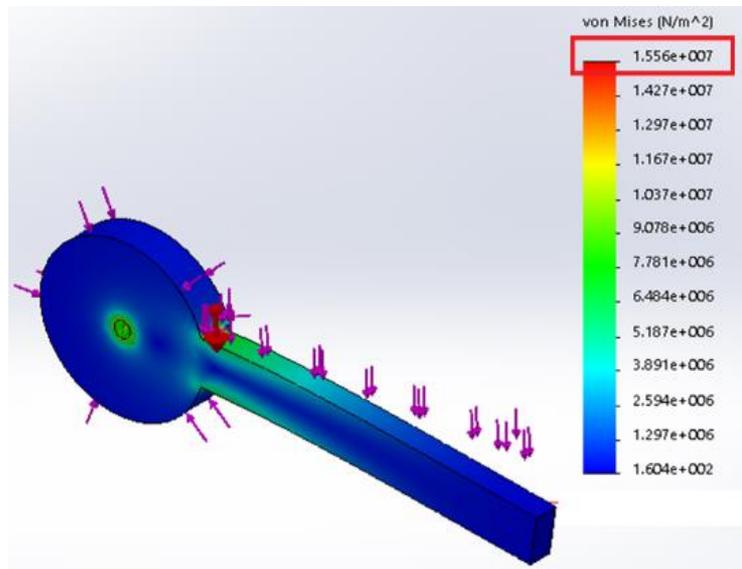
$$16.05 \leq 17.48$$



ANÁLISIS ESTÁTICO DE LA ESTRUCTURA DEL BRAZO

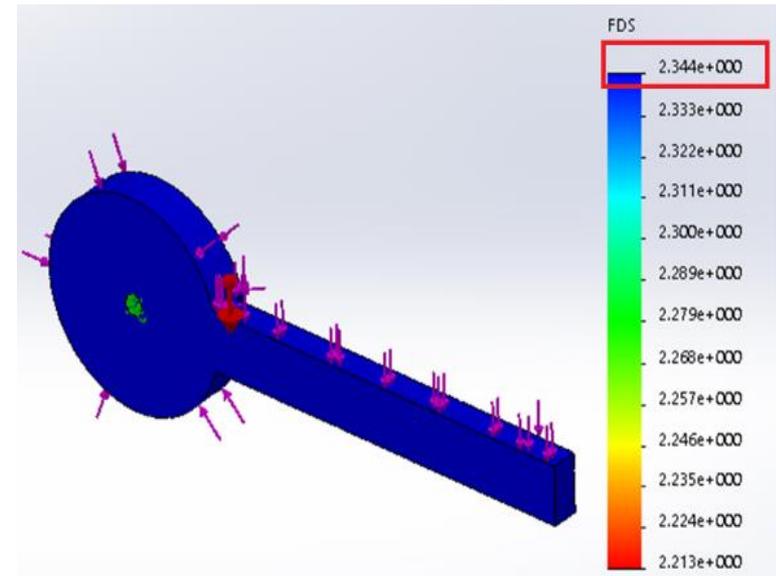
- Análisis por elementos finitos del brazo del exoesqueleto

VON MISES



Calculado: 16.05MPa
Con software: 15.56MPa

FDS

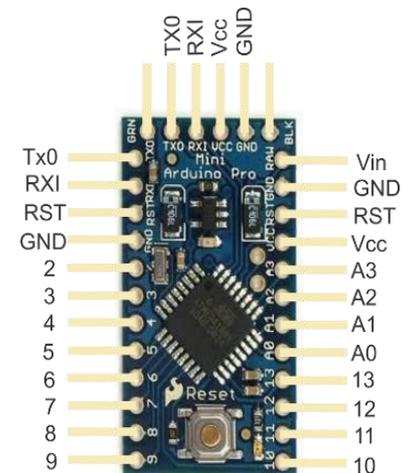


Calculado: 2.17
Con software: 2.34

SELECCIÓN DE LA TARJETA MICROCONTROLADORA

Alternativas	Tarjetas Microcontroladoras	Características	Ponderación	TOTAL
1	Arduino UNO	Entradas y salidas: 14 I/O(digitales) y 6 I(analógicas)	5	22
		Compatibilidad: Windows, Linux, Mac OS X	4	
		Voltaje de operación: 5V	4	
		Poseer la comunicación USB y UART	5	
		Costo: \$15	4	
2	Arduino MINI PRO	Entradas y salidas: 14 I/O(digitales) y 6 I(analógicas)	5	24
		Compatibilidad: Windows, Linux, Mac OS X	4	
		Voltaje de operación: [3.5 - 5]V	5	
		Poseer la comunicación USB y UART	5	
		Costo: \$9	5	
3	Raspberry Pi	Entradas y salidas: 40 I/O(digitales) y 15 I(analógicas)	5	21
		Compatibilidad: Windows, Linux, Mac OS X	5	
		Voltaje de operación: 5V	3	
		Poseer la comunicación USB y UART	5	
		Costo: \$36	3	

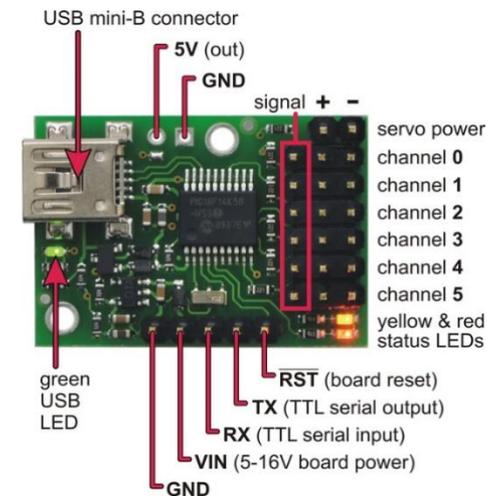
- La tabla indica los parámetros de selección para la tarjeta microcontroladora



SELECCIÓN DE LA TARJETA CONTROLADORA DE SERVOS

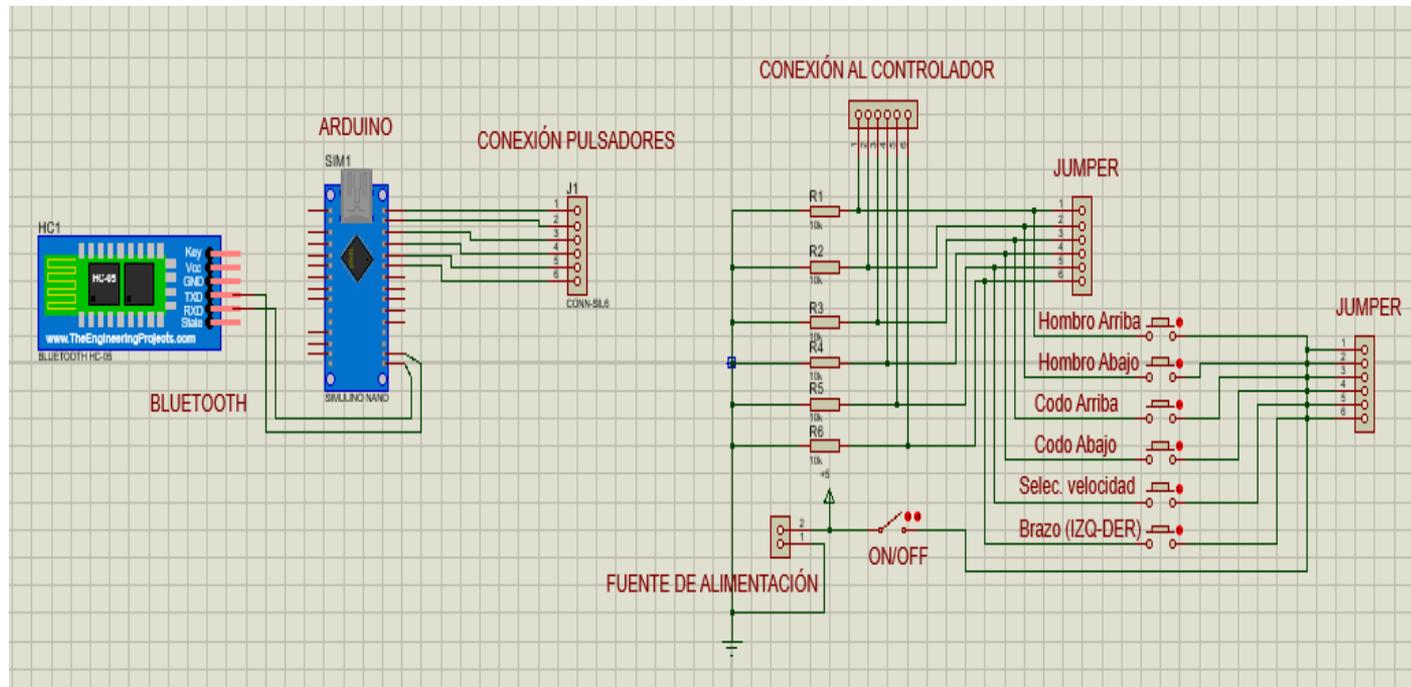
Alternativa	Tarjeta controladora para Servos	Características	Ponderación	TOTAL
1	Micro Maestro Pololu	Canales: 6	5	20
		Comunicación USB y UART	5	
		Voltaje de operación: [3 - 16]V	5	
		Control de velocidad individual para cada canal	5	
2	Controlador Pca9685	Canales: 16	5	17
		Comunicación USB y UART	5	
		Voltaje de operación: 5V	4	
		Control de velocidad individual para cada canal	3	
3	Controlador Elecmaster	Canales: 16	5	17
		Comunicación USB y UART	5	
		Voltaje de operación: 5V	4	
		Control de velocidad individual para cada canal	3	

- La tabla indica los parámetros de selección para la tarjeta controladora de servos



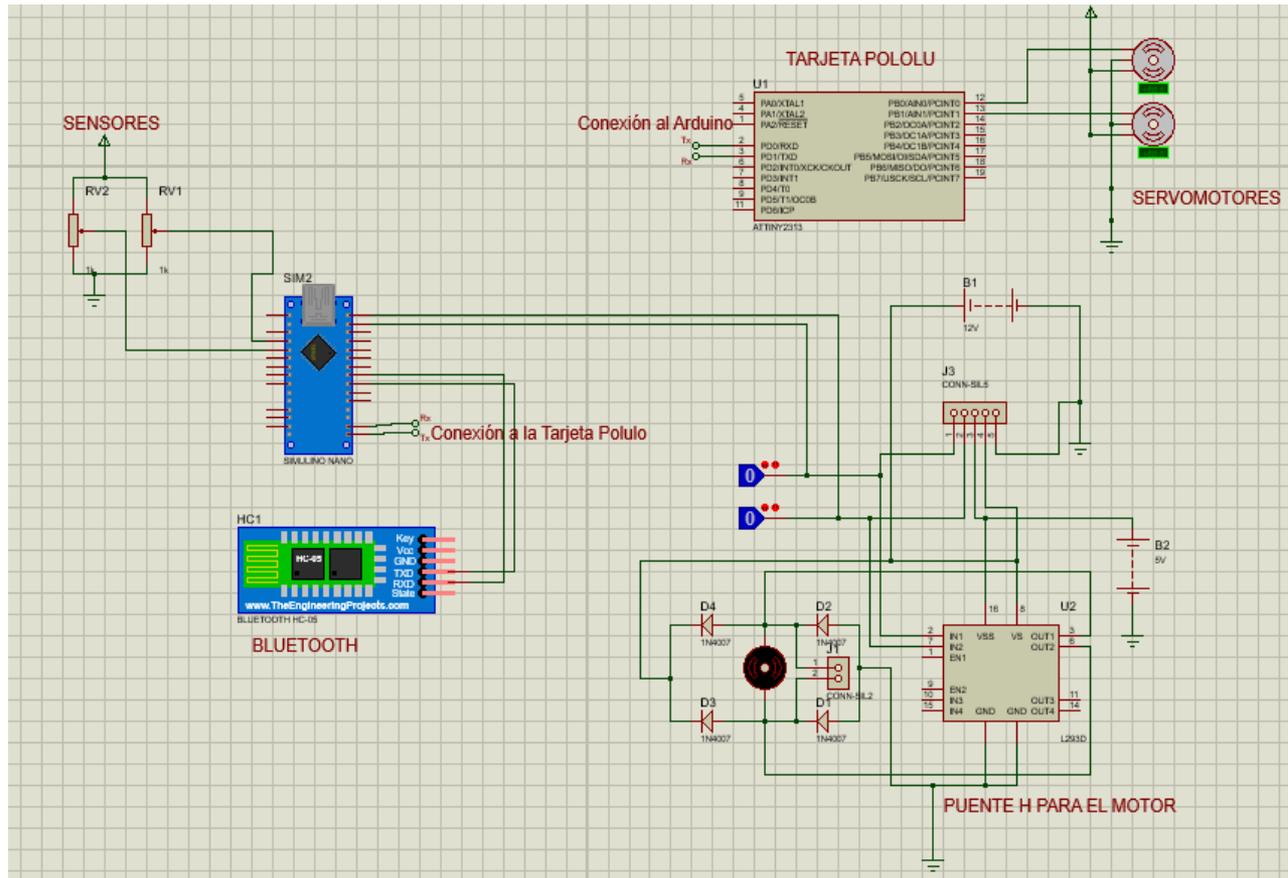
DISEÑO ELECTRÓNICO Y CONTROL

- Circuito de acondicionamiento del mando remoto



DISEÑO ELECTRÓNICO Y CONTROL

- Circuito de control

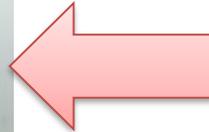
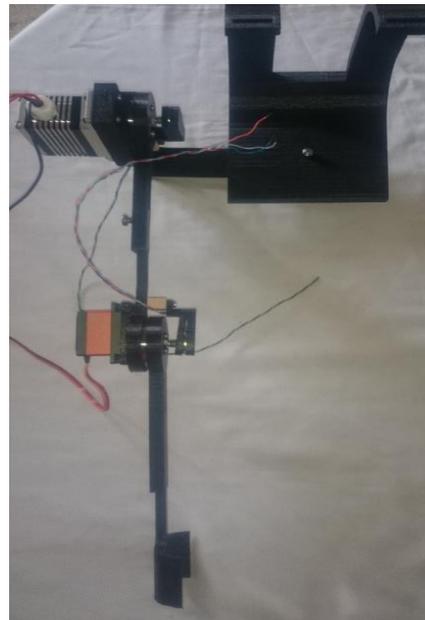
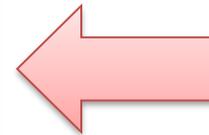
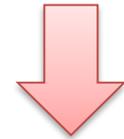
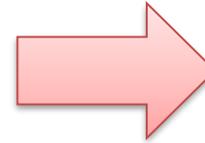




IMPLEMENTACIÓN, PRUEBAS Y RESULTADOS DEL PROYECTO

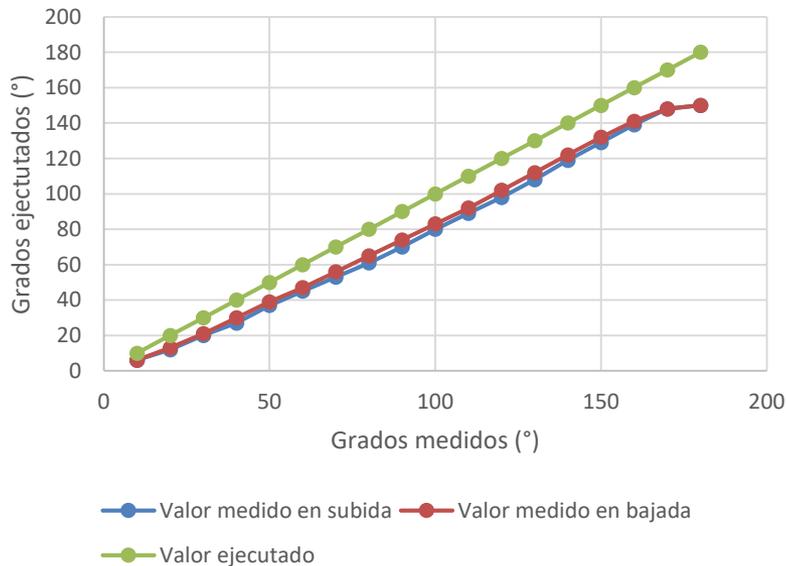


IMPLEMENTACIÓN DEL EXOESQUELETO

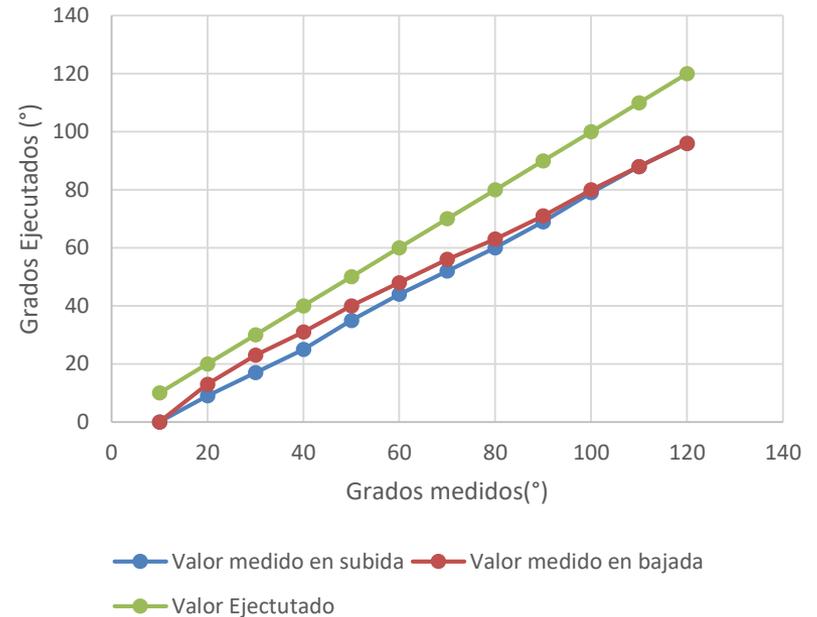


PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DEL EXOESQUELETO SIN CARGA

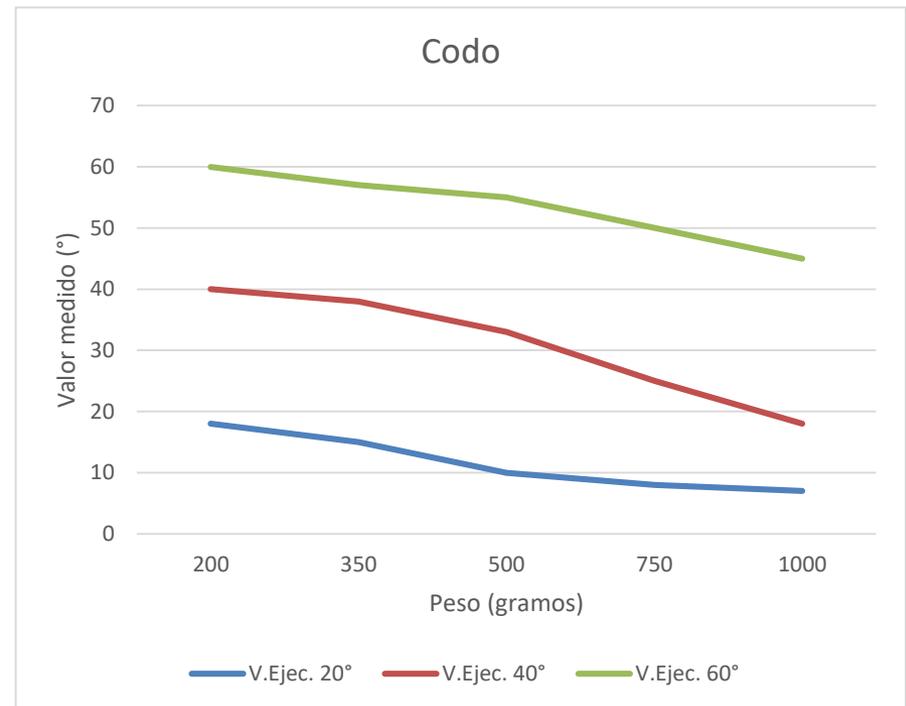
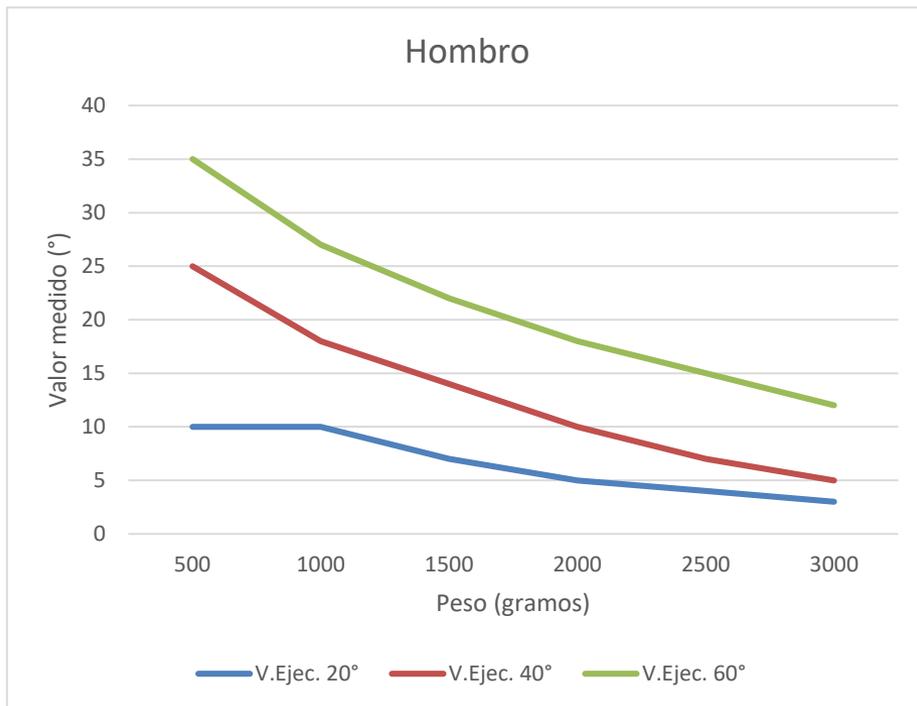
Valor ejecutado vs valores medidos del hombro



Valor Ejecutado vs Valor medidos del codo

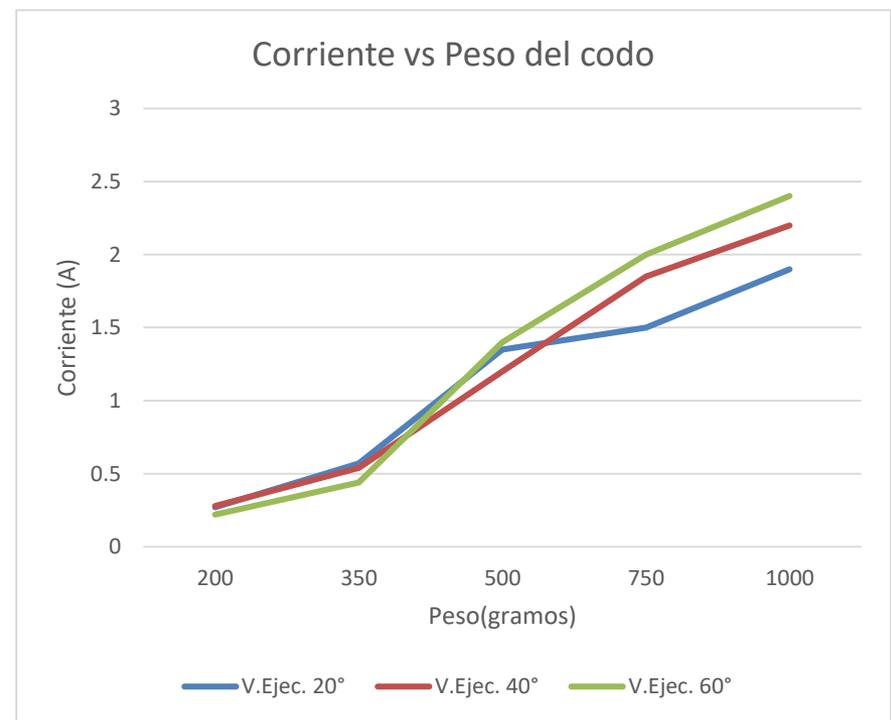
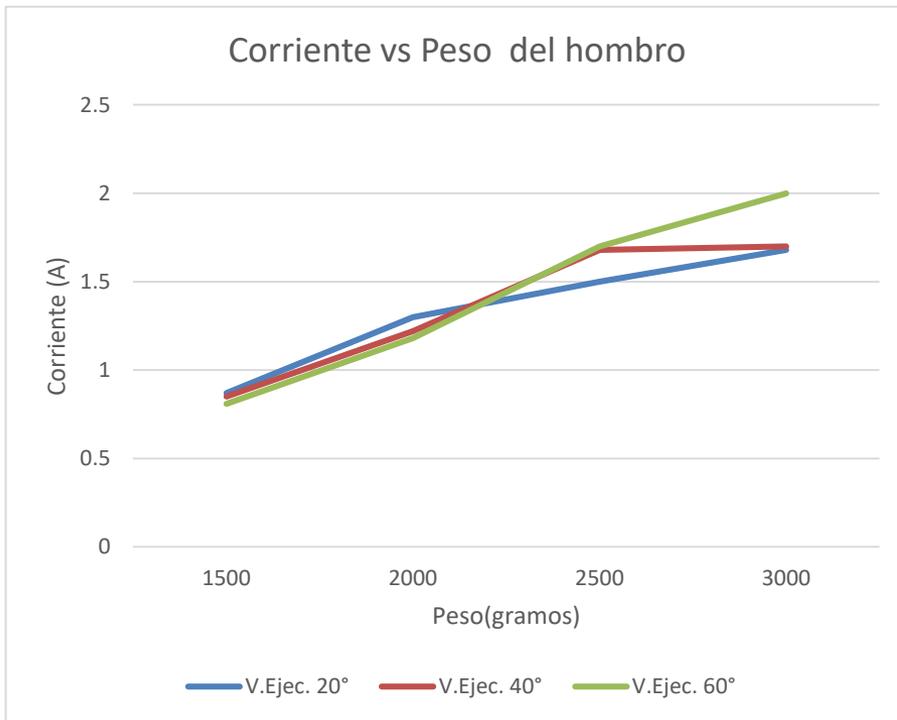


PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DEL EXOESQUELETO CON CARGA





PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DEL EXOESQUELETO CON CARGA



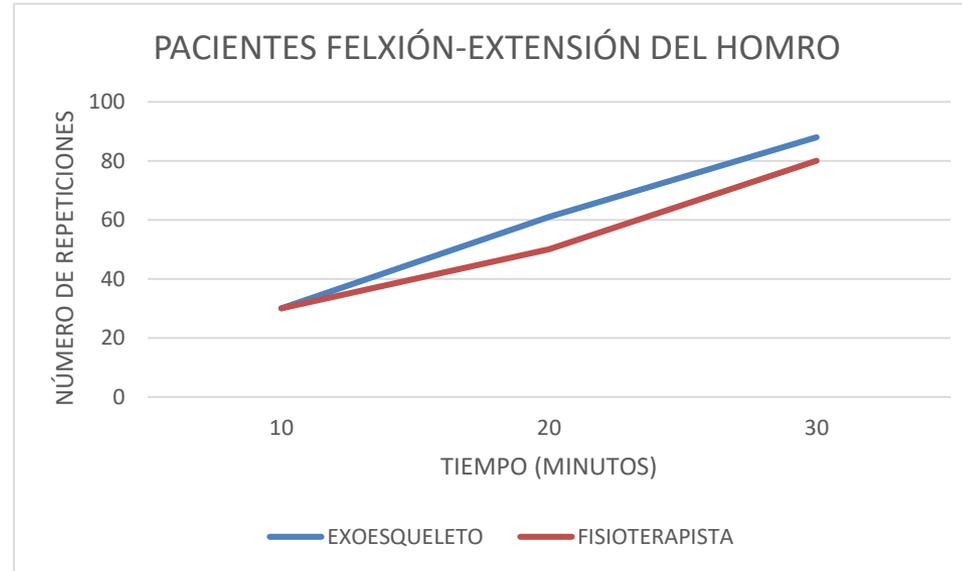


PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DEL EXOESQUELETO CON PACIENTES





PRUEBAS Y RESULTADOS DE FUNCIONAMIENTO DEL EXOESQUELETO CON PACIENTES

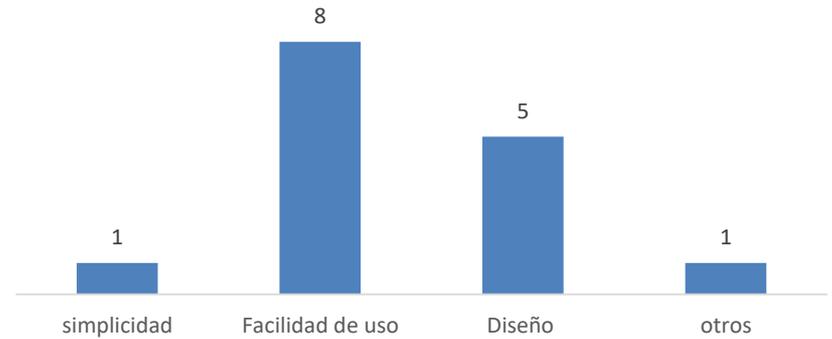


RESULTADOS DE LAS ENCUESTAS

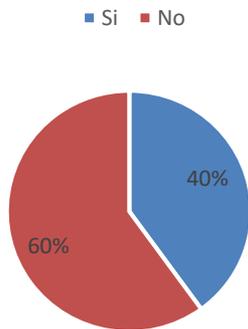
El exoesqueleto es interesante y si estan dispuestos a usarlo



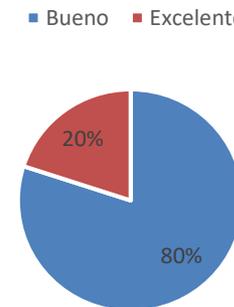
Aspectos que le atraen del Exoesqueleto



El exoesqueleto es pesado



Satisfacción al usar el exoesqueleto





ANÁLISIS DE COSTOS

Descripción	Cantidad	Precio Unitario	Precio Total
Arduino Mini Pro	2	9	18
Master Servo Controller	1	18	18
Módulo bluetooth hc05	2	7	14
Servomotor Brushless	1	100	100
Servomotor Hitec HS-1005SGT	1	400	400
Motor 10RPM	1	28	28
Impresión 3D			200
Fuente			50
Materiales electrónicos			30
Tornillos y rodamientos			20
Tela y velcro			20
Correas			10
TOTAL			\$ 908





CONCLUSIONES

- Se diseñó y se construyó un exoesqueleto ajustable con material ABS que tiene un peso de 2Kg, que se ajustará a personas que tengan una estatura entre (145-170) cm y no tengan un peso mayor a 58Kg, este exoesqueleto cuenta con servomotores que tienen un rango de movilidad que facilitó el control de los movimientos de flexión-extensión del hombro y del codo. Para la parte de control se utilizó una tarjeta arduino Mini Pro conjuntamente con la tarjeta pololu que facilitó el control de servomotores.
- Para la activación del exoesqueleto se utilizó un mando remoto, el cual tiene conexión bluetooth para comunicarse con el controlador, que está acoplado a un guante y puede ser utilizado por un paciente, un fisioterapeuta u otra persona.
- El exoesqueleto ajustable es cómodo y agradable para las personas, ya que cuenta con un peso aproximado de 2Kg facilitando su portabilidad, además el mando remoto hace que el exoesqueleto sea de fácil uso por los pacientes.





CONCLUSIONES

- En las pruebas con carga del exoesqueleto, se obtuvo que a mayor peso se produce mayor dificultad para alcanzar el valor del grado ejecutado, lo que denota que se tendrá una mayor potencia y por ende un mayor consumo de corriente, lo cual se tiene que el consumo del servomotor para el hombro es de 2A que será aceptable, que por especificaciones del fabricante su consumo llegará a ser de 6A, mientras que en el servomotor para el codo el consumo de corriente es de 2,4A, que se aproximaría al consumo de corriente especificado por el fabricante que es de 3A, por lo que al utilizarlo con el peso máximo especificado se tendrá un recalentamiento del mismo debido a que se tendría una mayor potencia para ejecutar el movimiento.
- Este proyecto desarrollado solo sirve para pacientes que necesitan completar o mejorar los rangos de movilidad y también para pacientes con flacidez que tengan grado 3 de fuerza muscular para mejorar la fuerza, también deben estar en el rango de estatura y peso, todos estos pacientes no deben tener lesiones neurológicas y espasticidad de igual manera no deben poseer sillas de ruedas.





RECOMENDACIONES

- Se recomienda cambiar el servomotor HS-1005SGT, que por las condiciones mecánicas solo realiza el movimiento de 0° a 160° , motivo por el cual este proyecto se requiere de 0° a 180° para la flexión-extensión del hombro. Y también, se recomienda cambiar el acople entre el servomotor del codo con el exoesqueleto, por lo que está hecho en plástico y cuando se ejecuta el movimiento de flexión-extensión del codo para cargas pesadas tiene mayor desgaste y el tiempo de vida útil del será menor.
- Se recomienda que al momento de utilizar el exoesqueleto para terapias de flexión-extensión del codo, no exceda de los 30 minutos debido a que existe recalentamiento por su uso prolongado.
- Se recomienda rediseñar el arnés de sujeción al hombro, que cuente con compensación de peso, así el peso del exoesqueleto se distribuirá en toda la parte del torso o de la espalda, o se pueda anclar a una silla.





RECOMENDACIONES

- Se debe tomar en cuenta que existen diversos tipos de patología que generan la pérdida de movilidad del miembro superior, lo cual se recomienda elegir el tipo de patología para el desarrollo de un proyecto, motivo por el cual al momento de la realización de las pruebas con pacientes con problemas neurológicos se obtuvo que el exoesqueleto no realizó la flexión-extensión del hombro y del codo, debido a que los pacientes no tienen control de los músculos, que al ejecutar un movimiento generan una contra fuerza mayor a los actuadores.
- Se recomienda que para el desarrollo de proyectos que ayuden a la terapia física como parte de la rehabilitación para los pacientes, se debe trabajar conjuntamente con los fisioterapeutas para mejores resultados del proyecto.
- Es esencial estudiar biomecánica del miembro superior con la finalidad de conocer sus grados de libertad, y límites de movilidad es decir en la ergonomía, biomecánica y limitación médica del brazo.
- Se recomienda realizar proyectos de exoesqueletos, enfocados a los niños ya que por el momento no existen en el Ecuador.





GRACIAS POR
SU ATENCIÓN

