



ESPE

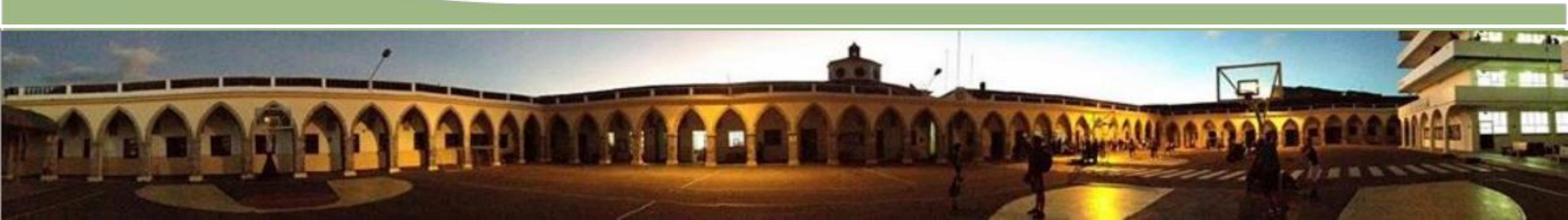
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

La ciencia sin religión está coja y la religión sin ciencia está ciega

Albert Einstein

Así como el hierro se oxida por falta de uso, así también la inactividad destruye el intelecto

Leonardo da Vinci





ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACION PARA LA EXCELENCIA

UNIDAD DE RELACIONES DE COOPERACION INTERINSTITUCIONAL



DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DISPOSITIVO ROBÓTICO, PARA TERAPIA DE LOS DEDOS DE LA MANO ASISTIDO POR COMPUTADOR, PARA PACIENTES CON DAÑO CEREBRAL ADQUIRIDO (DCA)."

POR:

GUIDO RAFAEL TORRES LLERENA
ANDRÉS MAQUEAVELO HIDROVO LOOR

DIRECTOR:

HÉTOR COCHISE TERÁN HERRERA



RESUMEN

El trabajo de titulación se encuentra enfocado al diseño y construcción de un dispositivo para la terapia de los dedos de la mano izquierda, para pacientes con daño cerebral adquirido; con el fin de mejorar el déficit de movilidad. Este trabajo va a intervenir en las fases 2 y 3 de la terapia ocupacional, logrando mejorías parciales en un tiempo limitado, de esta manera se está promoviendo a la transferencia, desarrollo e innovación tecnológica como lo plantea el plan del buen vivir.

El trabajo relaciona las ciencias de la computación, salud y mecatrónica, ya que el equipo se encuentra conformado por elementos mecánicos, eléctricos y un sistema de control asistido por un computador



JUSTIFICACIÓN

- En el trabajo planteado se pretende ayudar en las terapias de rehabilitación física, a personas que con daño cerebral adquirido. Logrando mejorar su habilidad sensorial y motriz, siempre y cuando esta se realice de forma continua.
- Se empleará un sistema robotizado para realizar la maniobrabilidad de los dedos de la mano a través del equipo, considerando las tolerancias que deben existir sobre la flexibilidad de las falanges, ejecutados por sensores y actuadores los mismos que son controladas y monitoreadas por un computador



JUSTIFICACIÓN

- Y al no existen centros especializados en la rehabilitación de la terapia muscular de los dedos de la mano en forma autónoma, esto es un equipo mecatrónica, que tenga la capacidad de flexionar las falanges de los dedos mediante un control electrónico; razón indispensable para generar una investigación relacionada sobre este tema.



ANTECEDENTES

La no existencia de un equipo en centros especializado para tratar la terapia muscular de los dedos de la mano, producido por el ictus, el cual abarca la zona sierra centro del país respecto al DCA, por lo que se decidió en diseñará y desarrollar el proyecto. El cual está enfocado al diseño y construcción de un dispositivo robótico para la terapia muscular de los dedos de la mano izquierda; para una mejora rápida del paciente



OBJETIVO GENERAL

Diseñar y construir un dispositivo robótico para la terapia de los dedos del mano asistido por computador, para pacientes con Daño Cerebral Adquirido (DCA)



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Características de los dedos de la mano humana

- **Dedo pulgar**, permite realizar el agarre firme de objetos, lograr sostenerlos o transportarlos, esto debido a que se encuentra en ángulo rectos con respecto a los demás dedos.
- **Dedo índice y medio**, siendo unos de los dedos más fuertes y largos de la mano, poseen la habilidad de poder transmitir una mayor fuerza de agarre, considerando que esto último se encuentra estrechamente ligado con el dedo pulgar.
- **Dedo anular y meñique**, estos poseen la característica de flexibilidad permitiendo realizar agarres de objetos de configuración diferentes, además de desplazar el objeto hacia el centro de la mano y el pulgar en dicha posición.



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Ictus

Se denomina ictus cuando ACV tiene una duración mayor de 24 horas, si posee una duración menor se le llama accidente isquémico transitorio (AIT) que comúnmente tiene una duración de entre 2 y 15 minutos

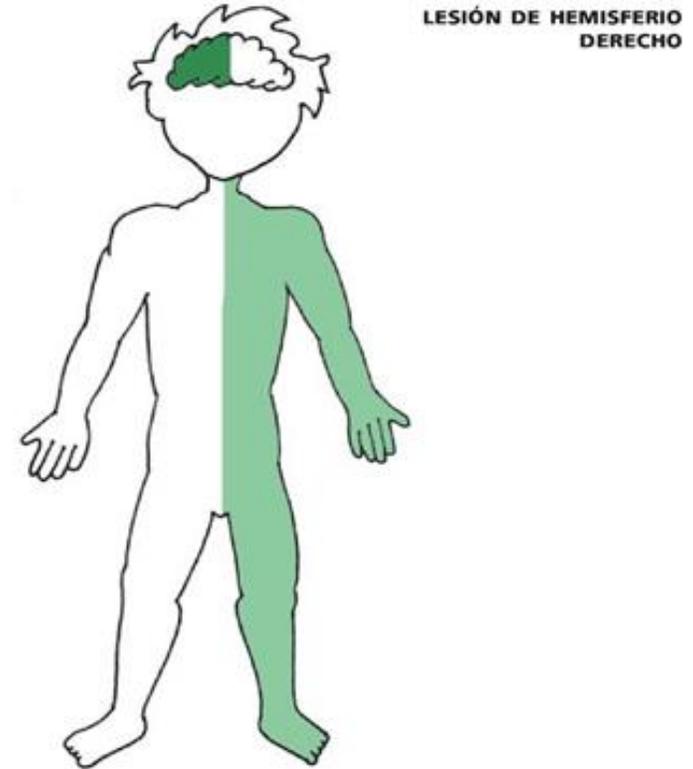
Esta definición engloba muchos casos de infarto cerebral, hemorragia cerebral y hemorragia subaracnoidea, tomando en consideración que no se toman los casos en donde la recuperación se produce dentro de las 24 horas.



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Lesión de hemisferio Derecho

- La parte comprometida del cuerpo es la izquierda la cual observamos en la figura , los síndromes son:
- Heminegligencia izquierda.
- Pérdida de memoria.
- **Parálisis del lado izquierdo del cuerpo.**
- Comportamiento inquisitivo, acelerado.
- Alteraciones sensitivas.



FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Análisis del equipo AMADEO .

AMADEO[®] es un sistema moderno mecatrónico para la terapia de los dedos de la mano, cuyo propósito es la rehabilitación de pacientes con disfunción motora en la extremidad superior

Consta de mecanismo de movimientos eléctricos, apoya brazo, apoya mano, apoya dedo, es ajustable la altura de la mesa, panel de control basado en PC y la unidad operativa para configuración de los parámetros de la terapia

La rutina de movimiento de los dedos de la mano; que pueden ejecutar movimientos tales como extensión y flexión de forma individual o grupal de los dedos



DISEÑO MECÁNICO

- El análisis del mecanismo (biela – manivela- corredera); se lo realizará por medio de las ecuaciones de LAZO CERRADO establecidas y resueltas a través de un software matlab considerando las siguientes variables.

r_1 = Longitud entre el eslabón 1 y la corredera (vertical)

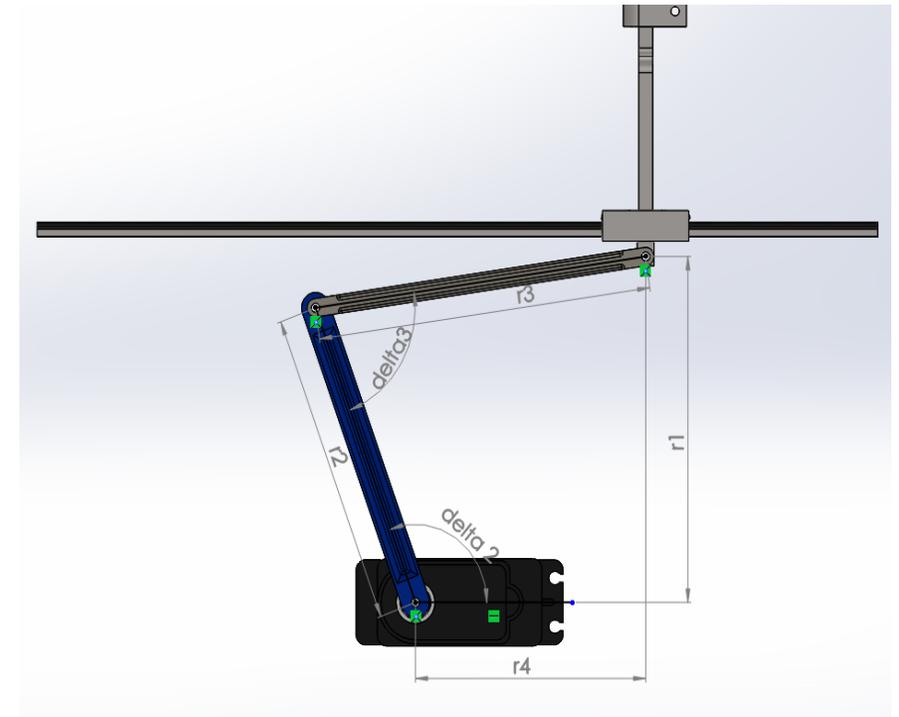
r_2 = Longitud de la manivela

r_3 = Longitud biela

r_4 = Longitud entre el eslabón 1 y la corredera
(horizontal)

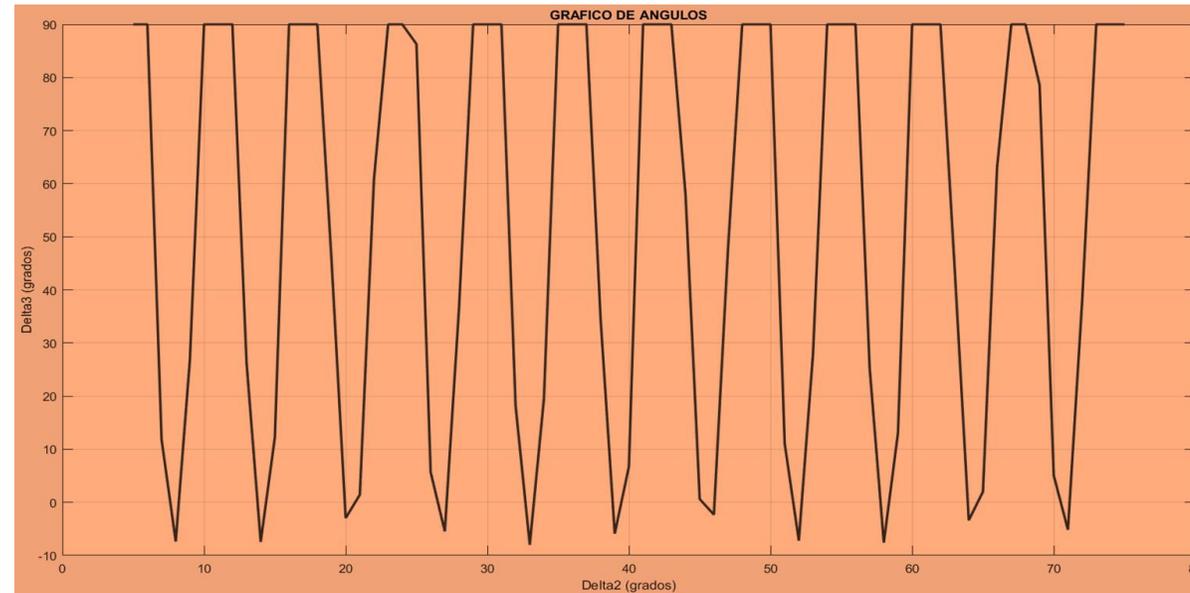
$\delta 2(\theta_2)$ = Angulo entre eslabón 1 y la manivela

$\delta 3(\theta_3)$ = Angulo entre manivela y la biela



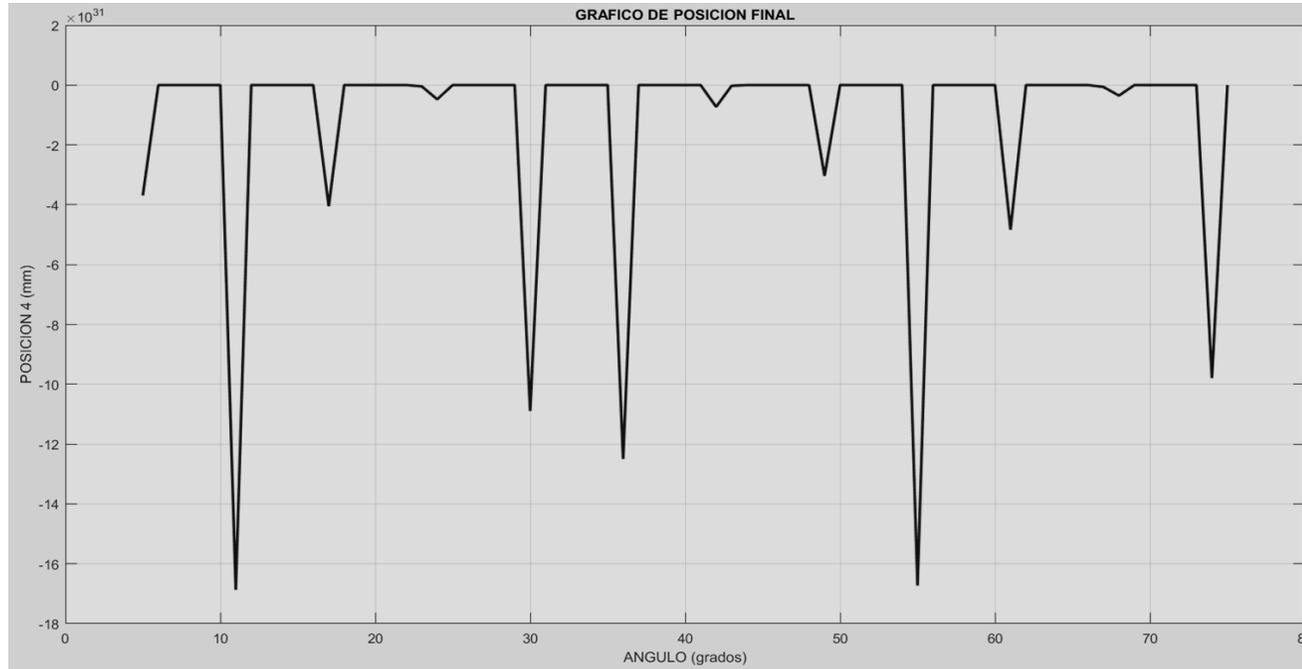
DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRONICO

Relación entre los ángulos de la biela y la manivela del mecanismo los cuales varían de 5 a 75 grados



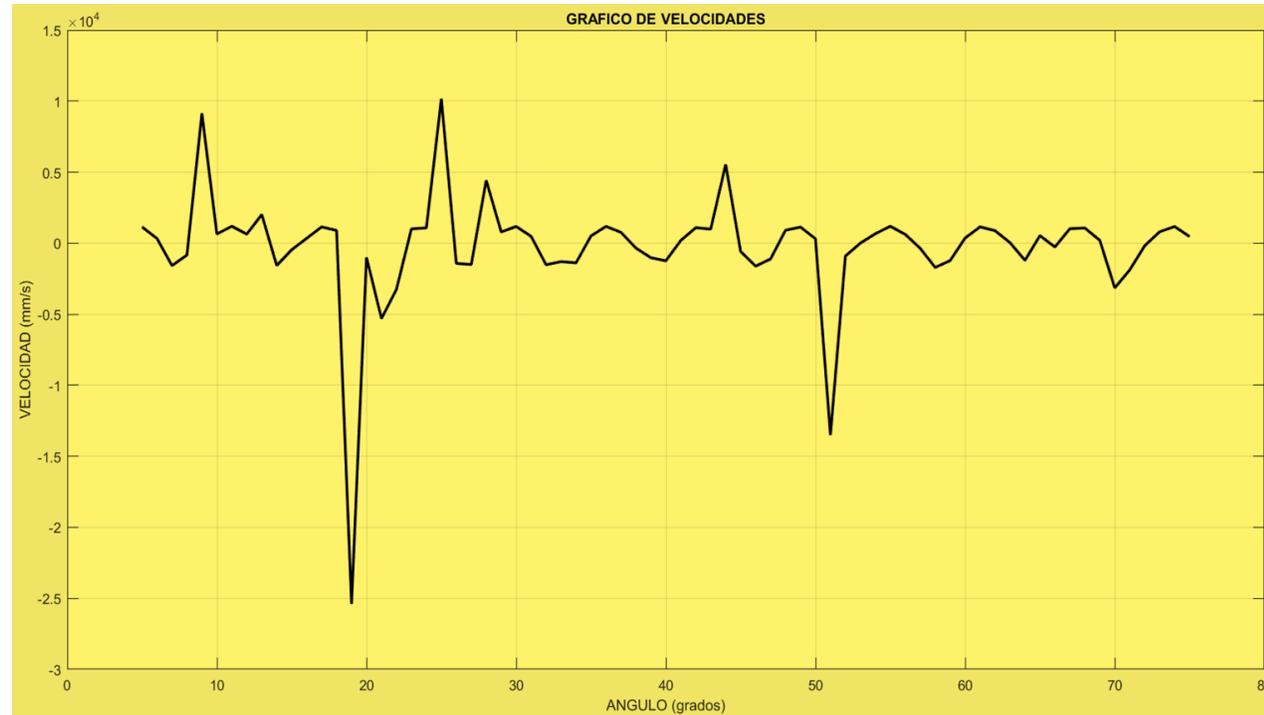
DISEÑO MECÁNICO

Representación de la posición de la corredera vs el ángulo de giro de la manivela producido por el motor, con un recorrido máximo de 17,3 cm, Longitud suficiente para el desplazamiento de los dedos.



DISEÑO MECÁNICO

Grafica de la velocidad del servo motor vs en el ángulo de la manivela, con una *velocidad máxima del mecanismo es de 0,23 rev/s con $(\theta_2)=60^\circ$* , soportable para la rehabilitación muscular de los dedos.

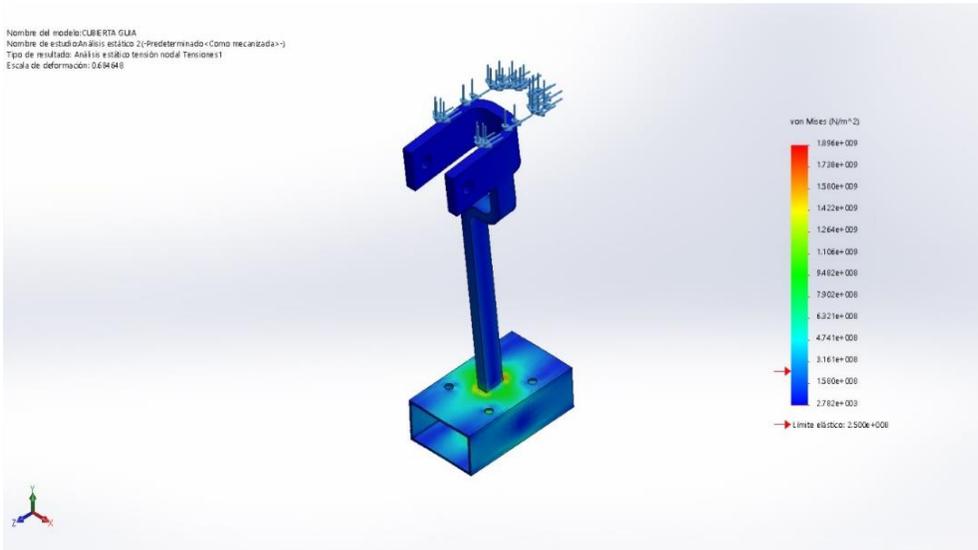


DISEÑO MECÁNICO

BASE DEL DEDO

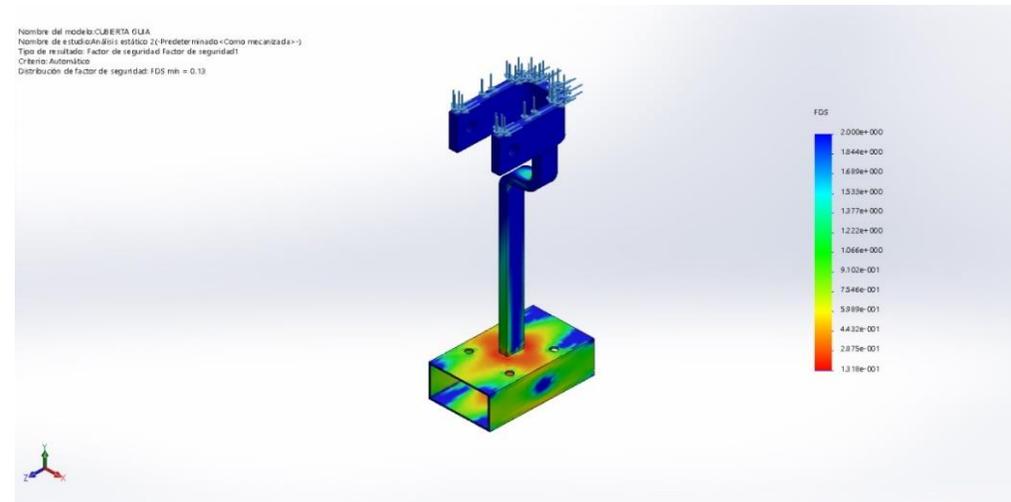
Análisis de esfuerzos

El valor máximo de 1.896 KPa y un mínimo de 2.782 KPa a compresión, el valor máximo del equivalente de Von mises no llega a superar el límite elástico del acero de ASTM A36 de 250 MPa



Factor de seguridad

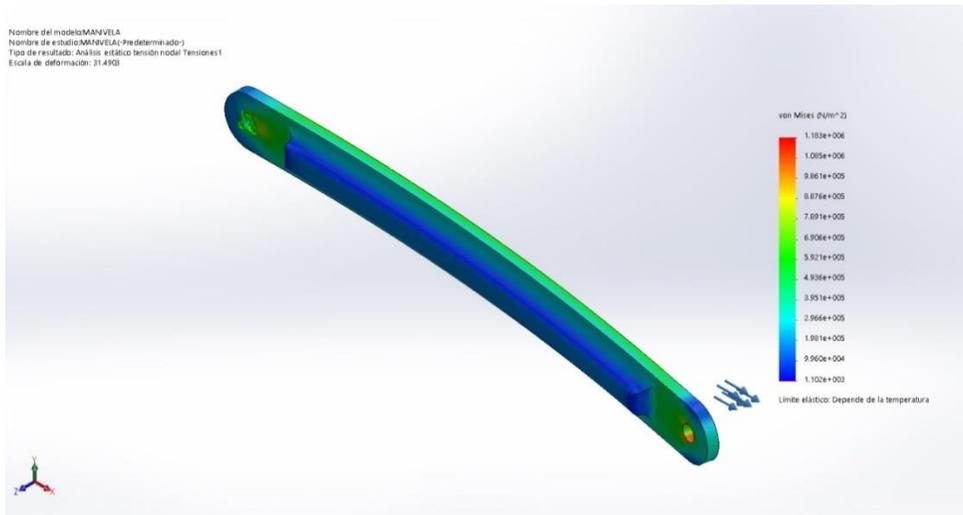
El factor de seguridad mínimo en toda la barra a compresión con un valor de 1,318 el cual cumple con el criterio de ingeniería $n > 1$



DISEÑO MECÁNICO

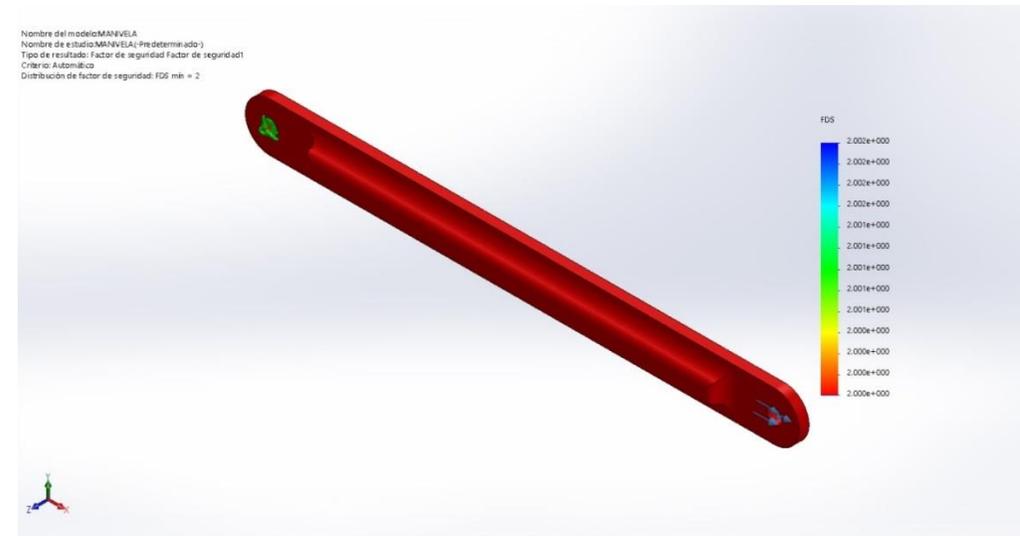
Análisis de esfuerzos

El valor máximo del elemento es de 1.183 MPa de Von mises no llega a superar el límite elástico del plástico de impresión 3D ABS es de 30 MPa.



Factor de seguridad

El factor de seguridad estático en toda la barra a compresión con un valor de 2



DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Pin de arduino al que corresponde con respecto al servomotor y el dedo a mover

Pin del arduino	Dedo al que corresponde el servomotor
3	Índice
5	Medio
6	Anular
9	Meñique
10	Pulgar

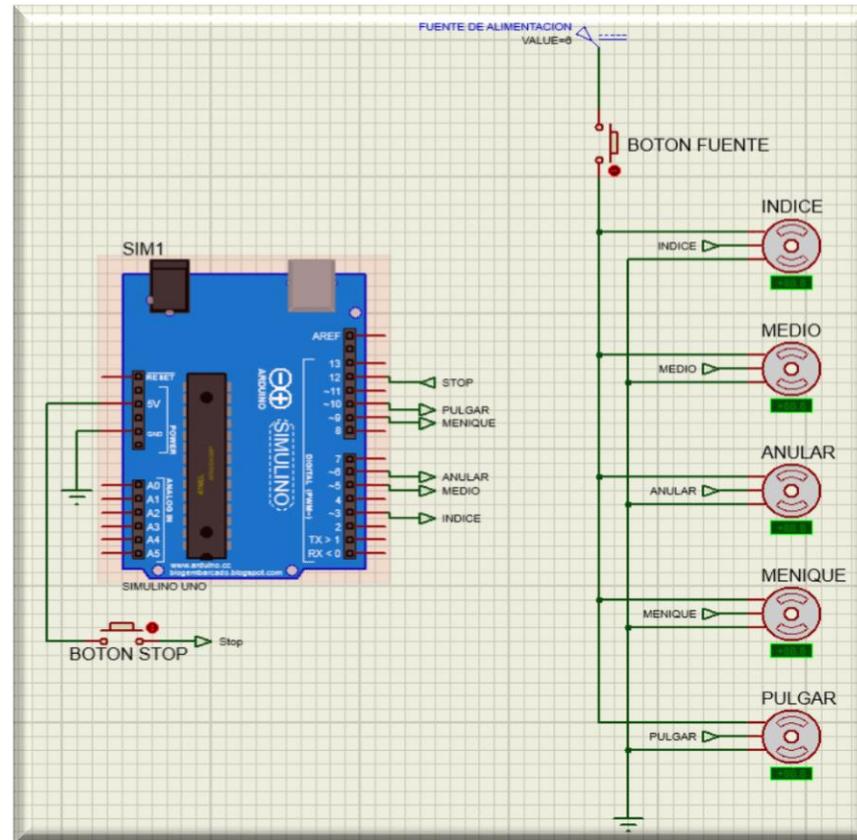
El pin 12 del arduino, corresponde a la entrada de una señal del botón “Paro de emergencia”. La cual se encuentra establecida en la Tabla 30, de la siguiente manera:

Señal de entrada	Interpretación en la programación
5 V (Alta)	Paro de emergencia activo
0 V (Baja)	Paro de emergencia inactivo



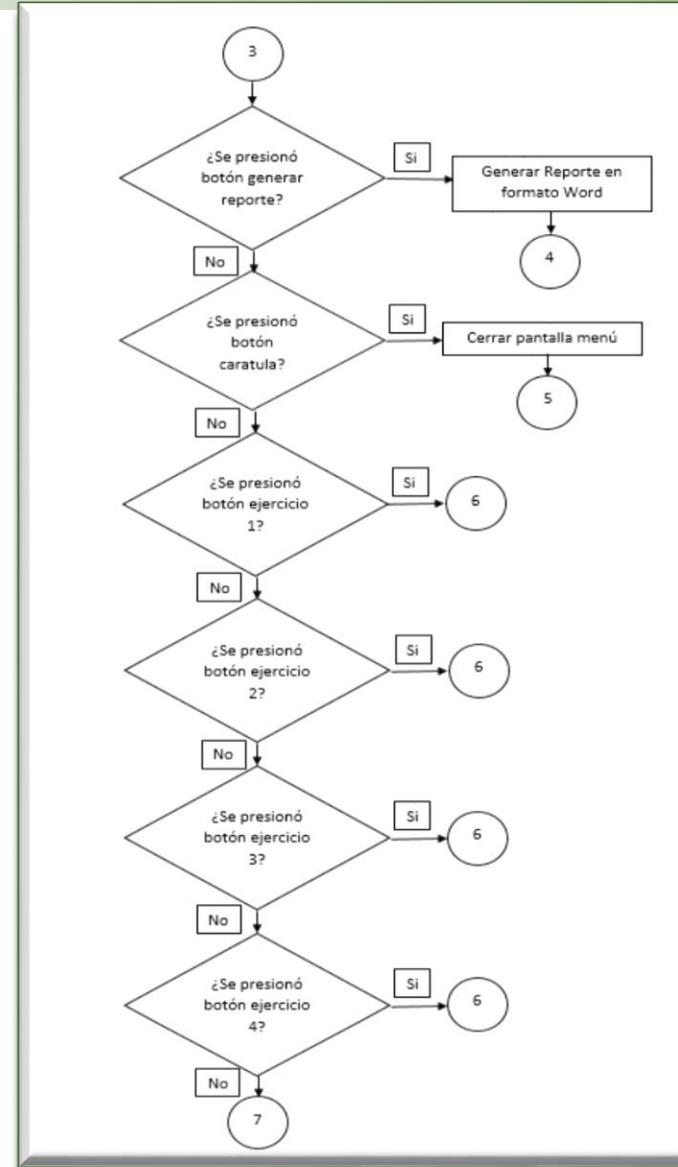
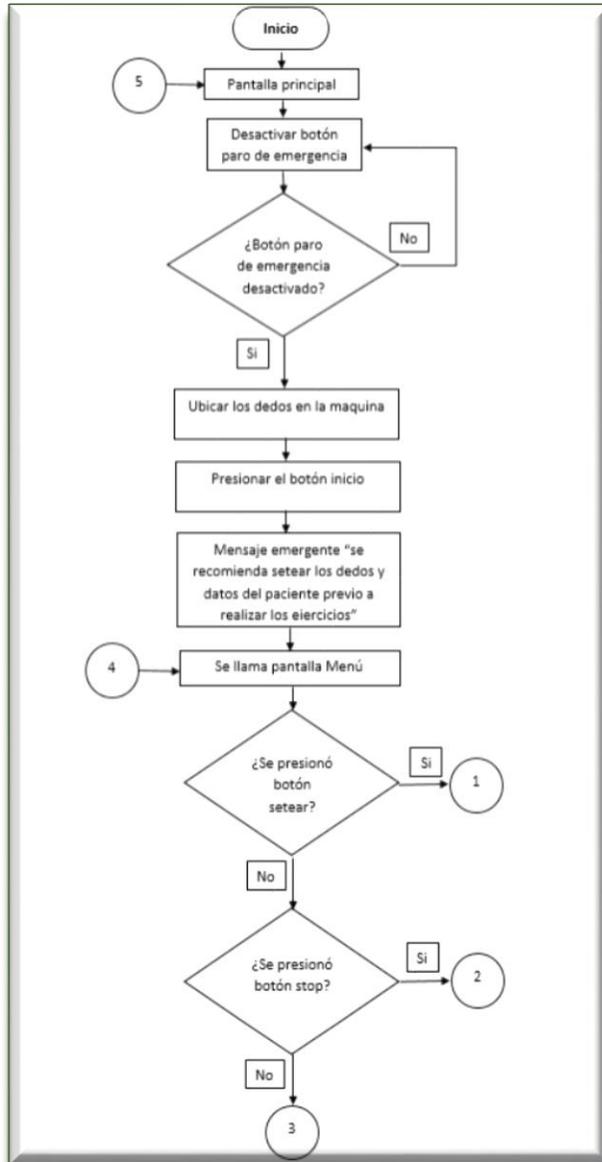
DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

El pin GND de la placa arduino se encuentra conectado con la salida GND de la fuente de alimentación. En la figura 42 observamos la conexión del circuito eléctrico.

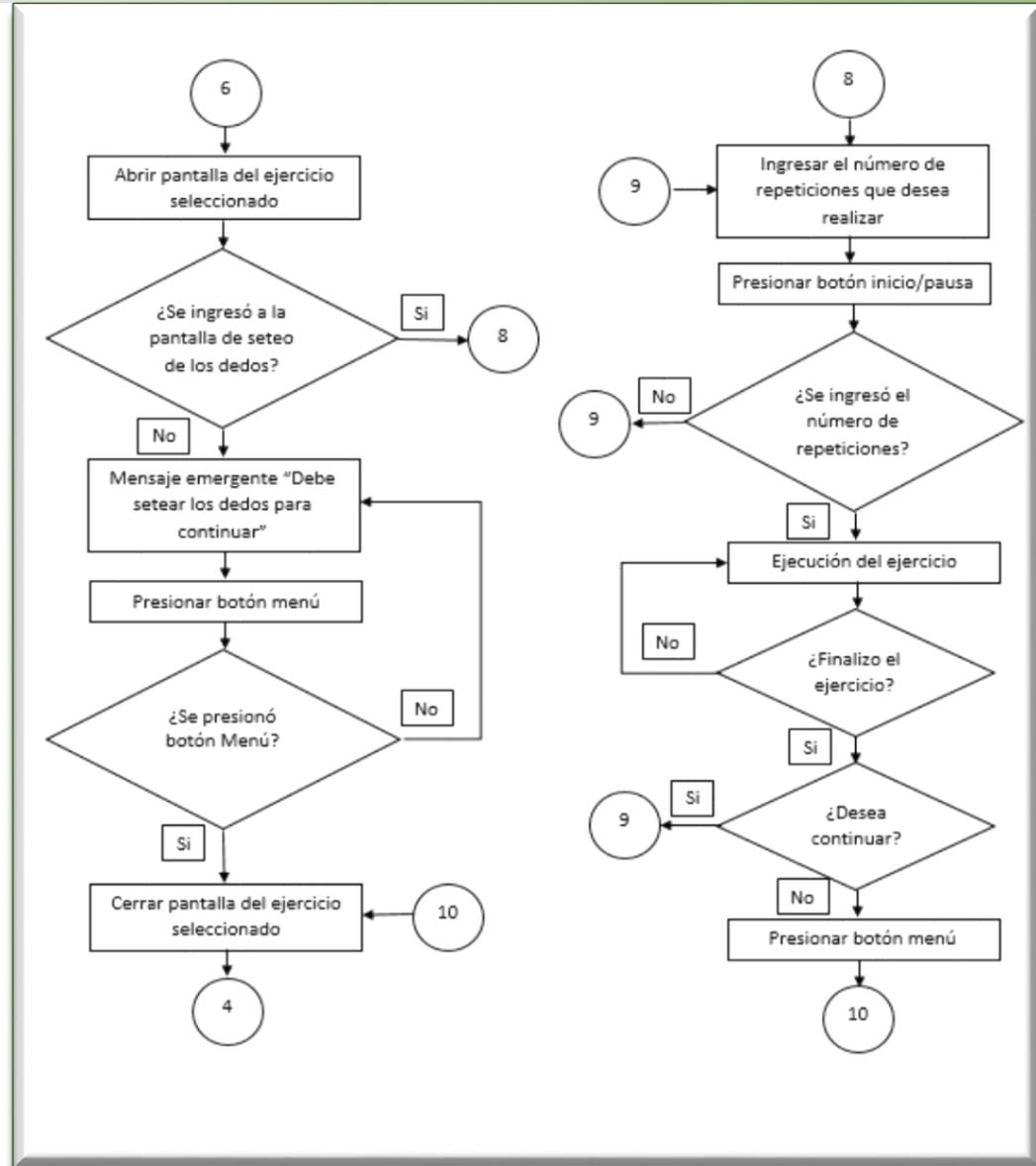
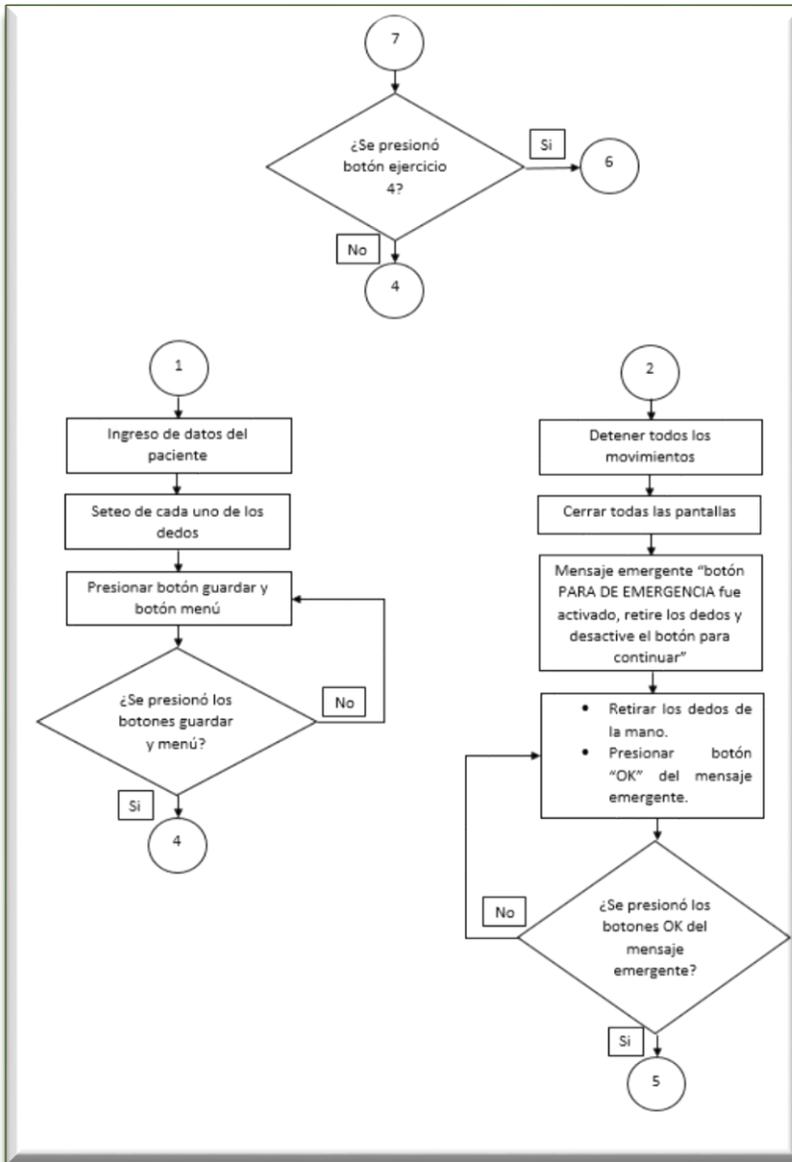


DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Diagrama de flujo de la programación



DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO



DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Panel principal



DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Datos del paciente

PANEL DE CALIBRACIÓN

MENU

STOP

GUARDAR CAMBIOS

POSICIÓN INICIAL

NUEVO

DATOS PACIENTE	DEDO INDICE	DEDO MEDIO	DEDO ANULA	DEDO MENIQUE	DEDO PULGAR
Nombre: <input type="text"/>					
No. Cedula: <input type="text"/>					
Edad: <input type="text"/>					
Ciudad: <input type="text"/>					
e-mail: <input type="text"/>					

Seteo de los dedos

PANEL DE CALIBRACIÓN

MENU

STOP

GUARDAR CAMBIOS

POSICIÓN INICIAL

Cal Min indice Inicio

Posición Min indice

Cal Max indice Inicio

Posición Max indice

Desplazamiento dedo índice:

DEDO ÍNDICE



DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Indicadores



INDICADORES

REPETICIONES REALIZADAS

0

TIEMPO DE EJECUCIÓN

0 0

min : seg

Ajustes



AJUSTES

VELOCIDAD

200 225 250 275 300 325 350

DEDO CONDICIONADO

DEDO PULGAR

Control del ejercicio



CONTROL

REPETICIONES A REALIZAR

0

PROGRESO

0



CONSTRUCCIÓN

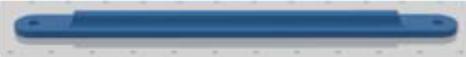
Partes del soporte.

NOMBRE	PARTE	CANTIDAD	DESCRIPCIÓN
BASE		1	Platinas ASTM A36, PLT 12x3.
	Base		
SOPORTE DE MOTORES		8	Planchas de acero ASTM A36 de 380X210.
	Soporte de motores		



CONSTRUCCIÓN

Elementos del mecanismo biela- manivela -corredera

NOMBRE	PARTE	CANTIDAD	DESCRIPCION
MANIVELA	 Manivela	5	Impresión 3D en ABS de 112.5*5 mm
BIELA	 Biela	5	Impresión 3D en ABS de 112.5*5 MM
GUÍA CORREDERA	 Guía Corredera	5	SELECCION
BASE DE DEDOS	 Base de dedos	5	Platina de acero ASTM A36 de PLT 12x3



APOYA BRAZO

NOMBRE	PARTE	CANTIDAD	DESCRIPCION
BASE PRINCIPAL		1	Plancha acero inoxidable tipo 304
	Base principal		
BASE SECUNDARIA		1	Acero inoxidable tipo 304
	Base secundaria		
BASE AUXILIAR Y LENGÜETA		1	Acero inoxidable tipo 304
	Base auxiliar y lengüeta		



CONSTRUCCIÓN

APOYA BRAZO

NOMBRE	PARTE	CANTIDA D	DESCRIPCION
BASE DE LA MUÑECA		1	acero inoxidable tipo 304
	Base de la muñeca		
BASE DEL ANTEBRAZO		1	
	Base del antebrazo		
EXTENSOR 2		1	tubos ASTM A36
	Extensor 2		
EXTENSOR 1		1	tubos ASTM A36
	Extensor 1		



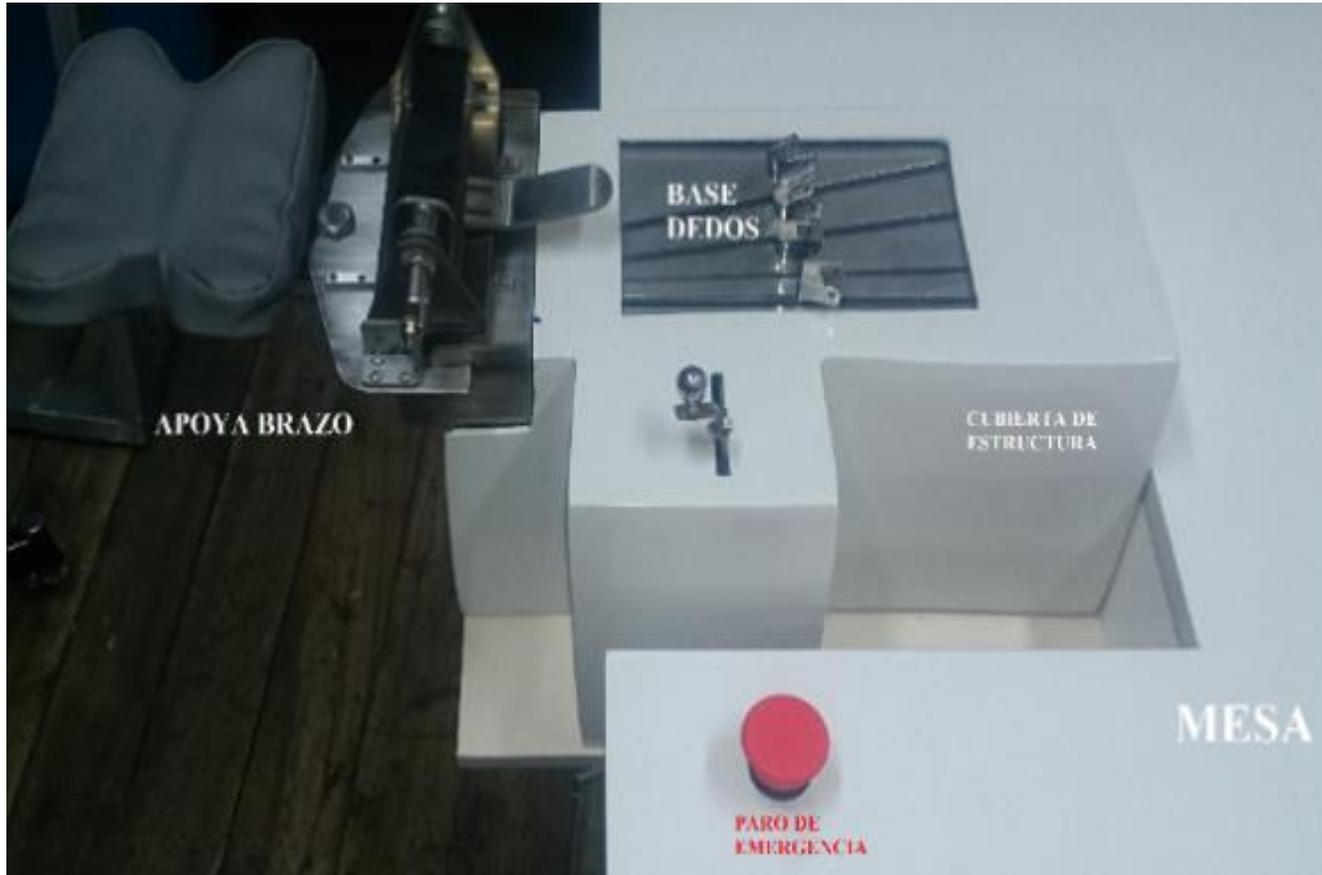
MONTAJE

Ensamblaje de bases

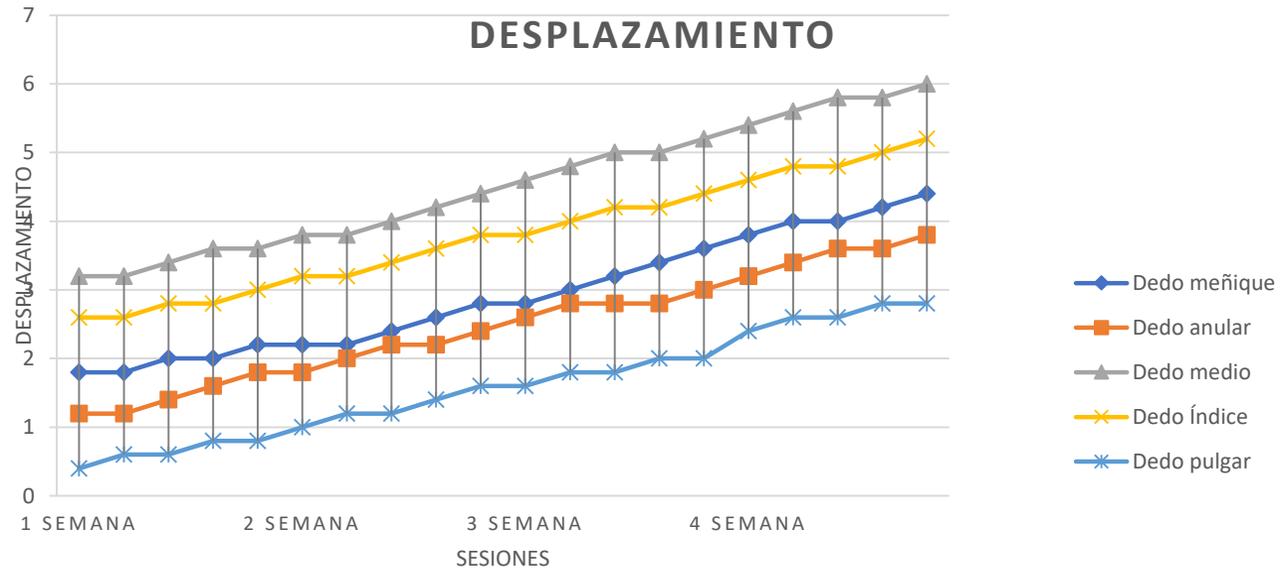


MONTAJE

Equipo de rehabilitación

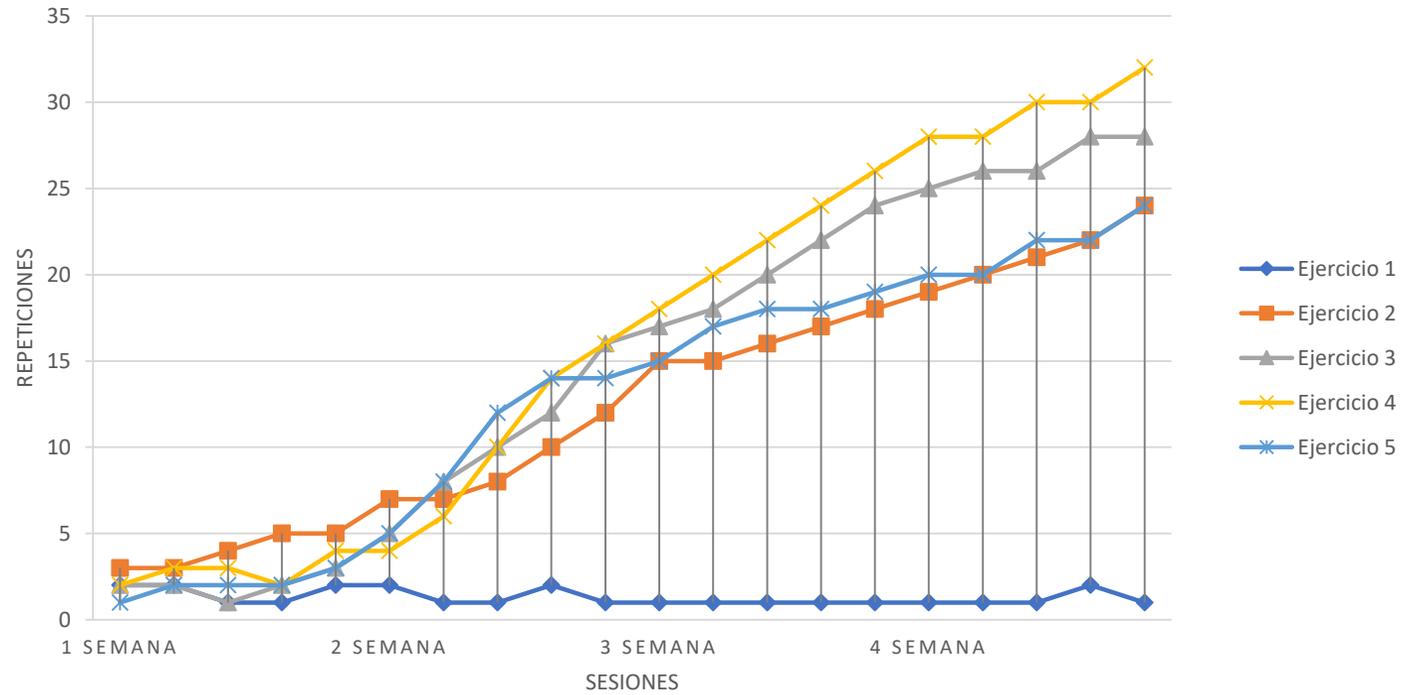


PRUEBAS



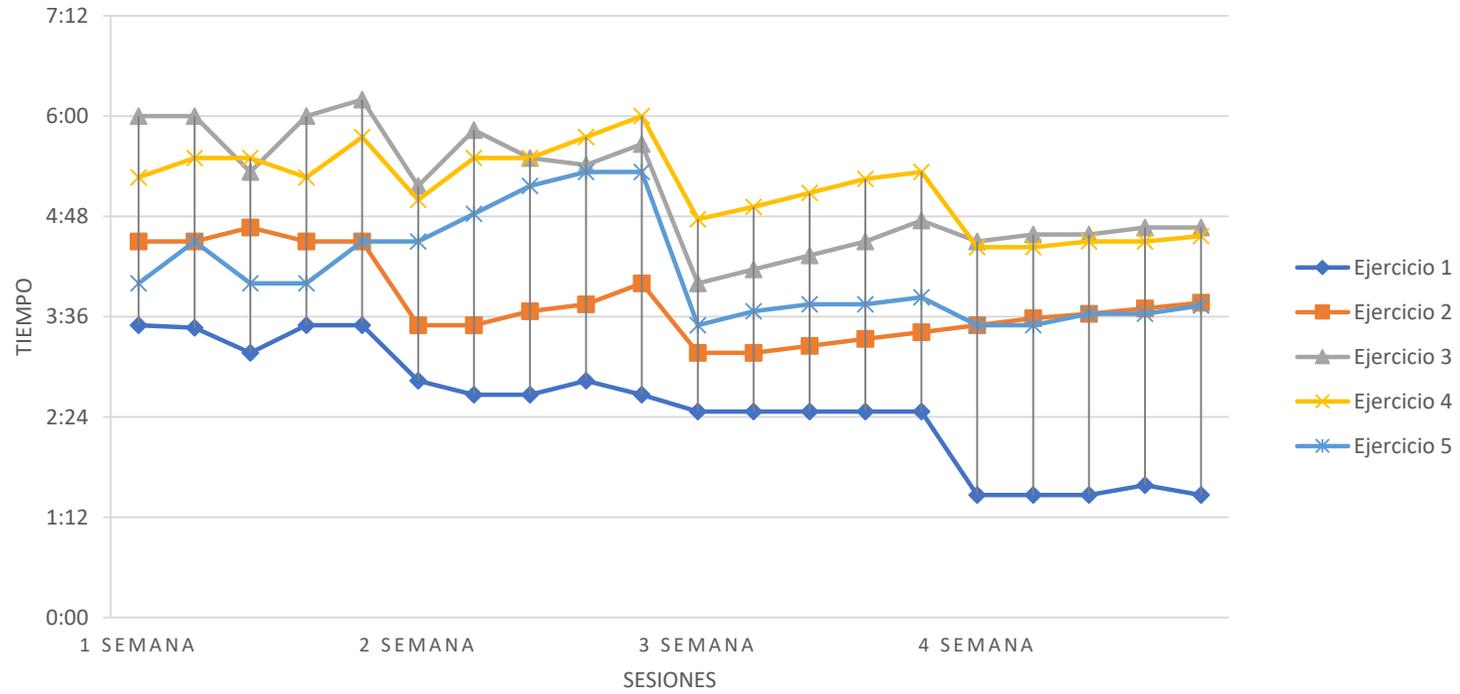
PRUEBAS

REPETICIONES



PRUEBAS

TIEMPO DE EJECUCIÓN



ANÁLISIS ECONÓMICO DEL TRABAJO

Estructura

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Plancha	acero A36, 3mm	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	Platinas	ASTM A36, PLT 12x3.	\$ 30,00	1	\$ 30,00
				Sub Total	\$ 60,00

N°	Procesos	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Suelda	MIG	\$ 30,00	1	\$ 30,00
				Sub Total	\$ 30,00

Mecanismo biela-manivela-corredera

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Biela y manivela	ABS	\$ 5,00	8	\$ 40,00
2	Guías lineales	MGN-H 250 mm	\$ 70,00	4	\$ 280,00
3	Platina de acero	ASTM A36 PLT 12x3	\$ 30,00	1	\$ 30,00
4	Eje de bronce	D=3 mm	\$ 30,00	1	\$ 30,00
1	Pernos (10*2 mm)	Acero inoxidable	\$ 0,04	70	\$ 2,80
2	Tuercas (2*2 mm)	Acero inoxidable	\$ 0,04	70	\$ 2,80
				Sub Total	\$ 385,60

N°	Procesos	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Suelda	MIG	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	impresos en 3D		\$ 5,00	8	\$ 40,00
3	Corte	Sierra	\$ 5,00	10	\$ 50,00
4	perforacion	Taladro	\$ 5,00	10	\$ 50,00
				Sub Total	\$ 170,00



Equipos y dispositivos eléctricos

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Computadora		\$1.800,00	1	\$ 1.800,00
2	Servo Motor	Hiter 755HB	\$ 70,00	5	\$ 350,00
3	Fuente de alimentación		\$ 900,00	1	\$ 900,00
4	Arduino	Atmega 328P	\$ 25,00	1	\$ 25,00
5	Cables		\$ 30,00	1	\$ 30,00
6	Seguros	plastico	\$ 10,00	1	\$ 10,00
7	Pernos	acero inoxidable	\$ 0,04	20	\$ 0,80
8	Tuerca	acero inoxidable	\$ 0,04	20	\$ 0,80
9	Placa de conexión	Baquelita	\$ 3,00	1	\$ 3,00
				Sub Total	\$ 3.119,60
N°	Procesos	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Suelda	MIG	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	Impresión vaquelita		\$ 10,00	1	\$ 10,00
3	Corte	Sierra	\$ 10,00	1	\$ 10,00
4	perforacion	Taladro	\$ 10,00	1	\$ 10,00
				Sub Total	\$ 60,00

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Computadora		\$1.800,00	1	\$ 1.800,00
2	Servo Motor	Hiter 755HB	\$ 70,00	5	\$ 350,00
3	Fuente de alimentación		\$ 900,00	1	\$ 900,00
4	Arduino	Atmega 328P	\$ 25,00	1	\$ 25,00
5	Cables		\$ 30,00	1	\$ 30,00
6	Seguros	plastico	\$ 10,00	1	\$ 10,00
7	Pernos	acero inoxidable	\$ 0,04	20	\$ 0,80
8	Tuerca	acero inoxidable	\$ 0,04	20	\$ 0,80
9	Placa de conexión	Baquelita	\$ 3,00	1	\$ 3,00
				Sub Total	\$ 3.119,60

N°	Procesos	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Suelda	MIG	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	Impresión vaquelita		\$ 10,00	1	\$ 10,00
3	Corte	Sierra	\$ 10,00	1	\$ 10,00
4	Perforacion	Taladro	\$ 10,00	1	\$ 10,00
				Sub Total	\$ 60,00



N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Plancha	acero inoxidable 304	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	Cuero		\$ 30,00	1	\$ 30,00
3	tubos	ASTM A36	\$ 30,00	1	\$ 30,00
4	Guias lineales	acero inoxidable	\$ 30,00	1	\$ 30,00
5	Pernos	acero inoxidable	\$ 0,50	20	\$ 10,00
6	Rodelas	acero inoxidable	\$ 0,15	20	\$ 3,00
7	Tuerca	acero inoxidable	\$ 0,30	40	\$ 12,00
				Sub Total	\$ 145,00

N°	Procesos	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Suelda	MIG	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	Confeccion		\$ 30,00	1	\$ 30,00
3	Corte	Chorro de agua	\$ 9,00	10	\$ 90,00
4	perforacion	Taladro	\$ 10,00	1	\$ 10,00
				Sub Total	\$ 160,00

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Plancha	acero inoxidable 304	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	Cuero		\$ 30,00	1	\$ 30,00
3	tubos	ASTM A36	\$ 30,00	1	\$ 30,00
4	Guias lineales	acero inoxidable	\$ 30,00	1	\$ 30,00
5	Pernos	acero inoxidable	\$ 0,50	20	\$ 10,00
6	Rodelas	acero inoxidable	\$ 0,15	20	\$ 3,00
7	Tuerca	acero inoxidable	\$ 0,30	40	\$ 12,00
				Sub Total	\$ 145,00

N°	Procesos	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Suelda	MIG	\$ 30,00	1	\$ 30,00
2	Confeccion		\$ 30,00	1	\$ 30,00
3	Corte	Chorro de agua	\$ 9,00	10	\$ 90,00
4	perforacion	Taladro	\$ 10,00	1	\$ 10,00
				Sub Total	\$ 160,00



Mesa

N°	Materiales	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Madera		\$ 60,00	1	\$ 60,00
2	Lija 1500		\$ 5,00	1	\$ 5,00
3	Pintura fondo		\$ 20,00	1	\$ 20,00
4	Tornillos		\$ 0,10	20	\$ 2,00
5	Pintura	Blanca	\$ 20,00	1	\$ 20,00
6	Pegamento		\$ 10,00	1	\$ 10,00
Sub Total					\$ 117,00

N°	Procesos	Descripción	C/U	Cant	Sub Total
1	Corte	Sierra	\$ 10,00	1	\$ 10,00
2	Unión de partes		\$ 20,00	1	\$ 20,00
3	Mano de obra		\$ 40,00	1	\$ 40,00
Sub Total					\$70,00

COSTO TOTAL DEL EQUIPO \$ 4.317,20



CONCLUSIONES

- Se diseñó y construyó el equipo para la rehabilitación muscular de los dedos de la mano izquierda, bajo normas estándares de calidad INEN, considerando un percentil 95% del tamaño de las manos y sus dedos de personas adultas. Obteniendo una óptima fiabilidad de funcionamiento, el mismo que utiliza una interfaz gráfica para el control equipo-computador para la ejecución y control de los ejercicios implementados.
- La longitud máxima del recorrido de la corredera es 140 mm, de acuerdo al cálculo generado por la ecuación del mecanismo, biela– manivela- corredera, de laso cerrado con un ángulo de manivela entre 3 y 87º, mayor a lo establecido (Binvignat, Lizana, & Olave, 2012) que es 114,6 mm, lo que permite que el equipo sea ajustado a diferentes medidas de dedos de la mano, para el correcto desenvolvimiento de los ejercicios dispuestos en el equipo de rehabilitación.



CONCLUSIONES

- El diseño de los elementos cumple con los estándares establecidos de higiene y seguridad, para conservar las normas sanitarias se emplea acero inoxidable 304 para facilitar su limpieza y aumentar su vida útil. En cuanto a la seguridad se busca un factor de seguridad mayor a 1 en sus elementos del que se encuentra constituido. Referente a la fuerza máxima que aplica para rehabilitación se consideró de 70N (Mayordomo, 2011), asegurando de esta manera que el equipo no va a fallar cuando el mismo se encuentre en funcionamiento pleno.
- El factor de seguridad de la manivela es de 2, utilizado un material ABS; según la teoría de Von Mises al estar bajo esfuerzos combinados. Por lo que es satisfactorio al ser mayor que 1.
- El factor de seguridad de la biela de 2, utilizado un material ABS; según la teoría de Von Mises al estar bajo esfuerzos combinados. Por lo que es satisfactorio al ser mayor que 1.



CONCLUSIONES

- Los ejercicios de rehabilitación muscular de los dedos de la mano, se lo realiza a través de esfuerzos sometidos a tensión o compresión, variando la alternabilidad de los dedos, así como; su velocidad, número de repeticiones, dedos que se desea tener en reposo, o en su defecto en movimiento. Este tipo de movimientos se lo establece de acuerdo a las técnicas dictadas por (Verazaluce-Rodríguez, P. R., Rodríguez-Martínez, P., Neri-Gámez, S., & Hernández-Aquino, R. M. (2014)), generando una confiabilidad del 97,5% de acuerdo a la validación de la hipótesis.
- El torque máximo calculado es de 11,9 kg-cm en la manivela, para una carga máxima aplicada por los dedos de 70 N, (Mayordomo, 2011), por lo que el servomotor seleccionado es Hitec 755HB, que provee un torque de (12-14) kg-cm, de acuerdo al voltaje suministrado entre (4- 6) V, superior al calculado cuando el equipo se encuentra en plena carga con respecto a los dedos de la mano asegurando el movimiento tanto en avance como en retroceso de los mismos.



CONCLUSIONES

- El empleo del microcontrolador Arduino Uno permite adquirir y enviar señales entre el equipo de rehabilitación y la interface gráfica de LabView, el intercambio de comunicación entre el microcontrolador y computador es a través de comunicación serial USB y toolkit de Arduino para Labview con lo que se puede modificar los periféricos de salida y conocer el estado de las entradas de manera ágil para el desarrollo de software.



CONCLUSIONES

- El dimensionamiento del equipo de rehabilitación cumple con las normas y estándares de calidad de acuerdo a la norma INEN, considerando un percentil del 95%, con lo que el dispositivo es compatible con la mayoría de la población adulta ecuatoriana, permitiendo su estandarización para tratamientos fisioterapéuticos en general de mano y dedos.
- La ubicación de los dedos sobre los “porta dedos del equipo” se lo realiza por medio de sujeción magnética, determinada por imanes de neodimio tanto en la base de la porta dedos como en la falange del dedo, permitiendo un posicionamiento y retiro rápido de los mismos, además que provee seguridad al paciente permitiéndole reaccionar cuando las condiciones del equipo no sean normales.



RECOMENDACIONES

- Se podría investigar sobre el uso de actuadores lineales u otros métodos de desplazamiento del mecanismo para mejorar las dimensiones del equipo, su accionamiento de movimiento y el modelo de control.
- Recordar hacer una rampa de aceleración y desaceleración cuando el mecanismo llegue al punto de retorno para evitar daños en los eslabones del equipo, y en la caja de engranes del servomotor.
- Investigar otros métodos de sujeción de dedos que sea mucho más cómodo para el paciente como un apreté automático, por ventosas, entre otros.
- Al retirar o colocar los eslabones asegurar que el ajuste de sus articulaciones no se encuentre con mucha holgura, asegurando de esta manera que el movimiento sea lo más suave posible.



RECOMENDACIONES

- Articulación apretada, se produciría un movimiento forzado del mecanismo, impidiendo un correcto funcionamiento.
- Articulación con mucha holgura, los eslabones podrían seguir una trayectoria errónea, ocasionando que el mecanismo se trabe.
- Usar conectores polarizados de tal manera que no exista errores en la conexión y evitar daños por mala polarización.
- Recordar siempre el uso de fusibles, para la fuente de alimentación de una corriente superior a la que consumen los servomotores dispuestos en el equipo, evitando daños por sobre corriente cuando el mecanismo se obstruya.

