

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO MAESTRO DE  
BRAZO PARA CONTROLAR UN MANIPULADOR VIRTUAL TIPO  
ANTROPOMÓRFICO DE 5 GRADOS DE LIBERTAD.**

**JAVIER ALBERTO SILVA GUALDRÓN**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA - UNAB  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS  
INGENIERÍA MECATRÓNICA  
BUCARAMANGA 2014**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN EXOESQUELETO MAESTRO DE  
BRAZO PARA CONTROLAR UN MANIPULADOR VIRTUAL TIPO  
ANTROPOMÓRFICO DE 5 GRADOS DE LIBERTAD.**

**AUTOR:**

**JAVIER ALBERTO SILVA GUALDRÓN**

**INFORME FINAL**

**PROYECTO DE GRADO**

**DIRECTOR:**

**CARLOS ADOLFO FORERO GONZÁLEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA - UNAB**

**FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECÁNICAS**

**INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**BUCARAMANGA 2014**

## Contenido

1. OBJETIVOS .....	9
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	9
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN .....	10
3. INTRODUCCIÓN .....	11
4. MARCO TEÓRICO.....	12
4.1 ¿QUE ES UN MANIPULADOR?.....	12
4.2 TIPOS DE ROBOTS SEGÚN SUS EJES .....	12
4.3 TIPOS DE ARTICULACIONES ROBÓTICAS.....	14
4.4 MODELO DEL BRAZO HUMANO .....	15
4.5 MOVIMIENTOS REALIZADOS POR EL BRAZO HUMANO.....	17
4.6 ¿QUE ES UN EXOESQUELETO?.....	18
4.7 CLASIFICACIÓN DE LOS EXOESQUELETOS.....	19
4.8 APLICACIONES DE LOS EXOESQUELETOS ROBÓTICOS .....	20
4.9 QUE ES HÁPTICA?.....	20
4.10 ANTROPOMETRÍA .....	21
4.11 ACTUADORES Y SENSORES .....	21
4.11.1 ACTUADORES:.....	21
4.11.2 ACTUADORES ELÉCTRICOS .....	22
4.11.2.1 TIPOS DE SERVOMOTORES.....	23
4.11.2.2 PARTES DE UN SERVOMOTOR .....	23
4.11.3 SENSORES .....	25
5. SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES.....	29
6. INSTRUMENTACIÓN SELECCIONADA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO.....	31
6.1 SERVOMOTOR CDS5516 .....	31

6.2	SENSOR DE FUERZA PIEZO CUADRADO 10 KG .....	32
6.3	LCD ALFANUMÉRICA 4*20 AZUL .....	32
6.4	ACELERÓMETRO DE 3 EJES MMA7361 .....	33
7.	ESTADO DEL ARTE .....	34
7.1	MANIPULADORES.....	34
7.2	EXOESQUELETOS .....	35
8.	Hand Exoskeleton Haptic Display:.....	35
9.	GUANTES CON FEEDBACK DE FUERZA CYBERGRASP IMMERSION CO: .....	36
10.	REWALK: .....	36
11.	REX: .....	37
12.	HAL (HYBRID ASSISTIVE LIMB):.....	37
12.1	DISPOSITIVOS HÁPTICOS .....	39
13.	DISPOSITIVO HÁPTICO NOVINT FALCON.....	39
14.	DISPOSITIVO HÁPTICO PHANTOM OMNI.....	39
15.	GUANTE TACTIL CYBERTOUCH .....	40
16.	EXOESQUELETO HÁPTICO SARCOS .....	40
17.	DISEÑO METODOLÓGICO.....	42
18.	ESQUEMA METODOLÓGICO.....	43
19.	CRONOGRAMA.....	44
20.	DESARROLLO DEL PROYECTO.....	45
20.1	Boceto .....	45
20.2	DISEÑO EN CAD .....	47
20.3	DISEÑO FINAL.....	54
20.4	Cinemática directa.....	68
20.5	ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO .....	70

20.6	RECEPCIÓN DE LA SEÑAL DE LOS SENSORES Y ENVIÓ DE LOS DATOS PARA REALIZAR EL MOVIMIENTO EN EL ENTORNO VIRTUAL.	71
20.7	C-SHARP (RECEPCIÓN DE LOS DATOS DE ARDUINO)	72
20.8	MODELO DE REALIDAD VIRTUAL EN BLENDER	72
20.9	SOFTWARE UNITY	73
21.	CONCLUSIONES	75
22.	BIBLIOGRAFÍA	76
23.	ANEXOS	78
23.1	PLANOS	78
23.2	CONEXIÓN CIRCUITO ELÉCTRICO	92
23.3	CODIGO ARDUINO	94
23.4	CODIGO C SHARP	99

## TABLA DE ILUSTRACIONES

Ilustración 1: PARTES BÁSICAS DE UN MANIPULADOR DE 5 GRADOS DE LIBERTAD. ....	12
Ilustración 2 : CONFIGURACIONES FRECUENTES DE ROBOTS INDUSTRIALES.....	14
Ilustración 3: TIPOS DE ARTICULACIONES ROBÓTICAS.....	14
Ilustración 4: SIMILITUD BRAZO ROBÓTICO CON EXTREMIDADES SUPERIORES DEL CUERPO HUMANO. ....	15
Ilustración 5: MODELO DEL BRAZO HUMANO .....	15
Ilustración 6: ARTICULACIONES .....	16
Ilustración 7: CLASIFICACIÓN DE LOS EXOESQUELETOS SEGÚN SU PORTABILIDAD.....	19
Ilustración 8 : TELE OPERACIÓN HAPTICA.....	21
Ilustración 9: ANTROPOMETRÍA .....	21
Ilustración 10: ESTRUCTURA TÍPICA DE UN SERVOMOTOR.....	23
Ilustración 11: CIRCUITO DE CONTROL.....	24
Ilustración 12 : "CONEXIÓN EXTERNA DEL SERVO" .....	25
Ilustración 13: SERVOMOTOR CDS5516 .....	31
Ilustración 14 : SENSOR DE FUERZA PIEZO CUADRADO 10 KG .....	32
Ilustración 15 : LCD ALFANUMÉRICA 4*20 AZUL .....	33
Ilustración 16 : ACELERÓMETRO MMA7561 .....	33
Ilustración 17 : MANIPULADOR ROBÓTICO TITÁN 4. ....	34
Ilustración 18 : MANIPULADOR ROBÓTICO ATLAS 7R.....	35
Ilustración 19 : HAND EXOSKELETON HAPTIC DISPLAY.....	36
Ilustración 20 : CYBERGRASP .....	36
Ilustración 21 : REWALK, EXOESQUELETO PARA PARALÍTICOS.....	37
Ilustración 22 : EXOESQUELETO REX.....	37
Ilustración 23 : TRAJE ROBÓTICO HAL. ....	38
Ilustración 24 : EXOESQUELETO DICICCO .....	38
Ilustración 25 : DISPOSITIVO HÁPTICO NOVINT FALCON.....	39
Ilustración 26 : DISPOSITIVO HÁPTICO PHANTOM OMNI.....	40
Ilustración 27 : GUANTE HÁPTICO TACTIL CYBERTOUCH.....	40
Ilustración 28 : EXOESQUELETO HÁPTICO RAYTHEON SARCOS .....	41
Ilustración 29 : EXOESQUELETO DE BRAZO COMPLETO.....	45
Ilustración 30 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA LATERAL. ....	46
Ilustración 31 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA MUÑECA-GRIPPER. ....	46
Ilustración 32 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA FRONTAL CAD. ....	47
Ilustración 33 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA POSTERIOR CAD. ....	47
Ilustración 34 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA IZQUIERDA CAD.....	48
Ilustración 35 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA DERECHA CAD.....	48
Ilustración 36 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA ISOMÉTRICA CAD.....	48
Ilustración 37 : PROTOTIPO PARA PRUBAS VISTA FRONTAL .....	49
Ilustración 38 : PROTOTIPO PARA PRUEBAS VISTA SUPERIOR .....	49

Ilustración 39 : PROTOTIPO PARA PRUEBAS VISTA HOMBRO .....	50
Ilustración 40 : PROTOTIPO PARA PRUEBAS VISTA ANTEBRAZO.....	50
Ilustración 41 : DISEÑO DE EXOESQUELETO PREVIO A SUGERENCIAS (IZQUIERDA) Y DISEÑO FINAL (DERECHA) .....	51
Ilustración 42 : ESTRUCTURA PRINCIPAL .....	51
Ilustración 43 : UNIÓN ESPALDA – HOMBRO.....	52
Ilustración 44 : UNIÓN CODO .....	52
Ilustración 45 : PROTOTIPO FINAL .....	53
Ilustración 46 : LAMINAS CORTADAS PARA LOS SERVOS .....	54
Ilustración 47 : SERVOMOTORES ACOPLADOS.....	54
Ilustración 48 : BLOQUES Y LAMINAS CORTADAS .....	55
Ilustración 49 : BLOQUE ESPALDA-HOMBRO .....	55
Ilustración 50 : BLOQUE HOMBRO-BRAZO .....	56
Ilustración 51 : PERFORACIÓN PARA LA LÁMINA .....	56
Ilustración 52 : PERFORACIÓN PARA UNIONES .....	57
Ilustración 53 : PERFORACIÓN PARA UNIÓN .....	57
Ilustración 54 : ACOPLA SERVOMOTORES Y UNIÓN.....	58
Ilustración 55 : LÁMINAS Y BLOQUES .....	58
Ilustración 56 : UNIÓN SERVOMOTOR HOMBRO .....	59
Ilustración 57 : DOBLEZ LAMINA PARA BRAZO .....	59
Ilustración 58 : EJEMPLO DE ENSAMBLE DE PIEZAS .....	60
Ilustración 59 : EJEMPLO DE ENSAMBLE DE PIEZAS .....	60
Ilustración 60 : ENSAMBLAJE FINAL VISTA SUPERIOR .....	61
Ilustración 61 : ENSAMBLAJE FINAL ACOPLA PRINCIPAL.....	61
Ilustración 62 : ENSAMBLAJE FINAL ACOPLA .....	62
Ilustración 63 : ENSAMBLAJE FINAL PARTE SUPERIOR .....	62
Ilustración 64 : ENSAMBLAJE FINAL ACOPLA SERVO-MOTORES.....	63
Ilustración 65 : ENSAMBLAJE FINAL ANTEBRAZO .....	63
Ilustración 66 : COMUNICACIÓN SERVOMOTORES Y ARDUINO .....	64
Ilustración 67 : COMUNICACIÓN SERVOMOTORES Y ARDUINO .....	64
Ilustración 68 : PIEZAS QUE INTEGRAN EL EXOESQUELETO .....	65
Ilustración 69 : ENSAMBLE FINAL PROTOTIPO .....	65
Ilustración 70 : PROTOTIPO FINAL VISTA ANTERIOR.....	66
Ilustración 71 PROTOTIPO FINAL VISTA LATERAL .....	66
Ilustración 72: PROTOTIPO FINAL VISTA FRONTAL .....	67
Ilustración 73: PROTOTIPO FINAL VISTA LATERAL .....	67
Ilustración 74 : BRAZO KUKA - BLENDER.....	73

## **TABLA DE FLUJOGRAMAS**

Flujograma 1 : ESQUEMA METODOLÓGICO.....	43
Flujograma 2 : CRONOGRAMA DE TRABAJO .....	44
Flujograma 3 : DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN.....	70
Flujograma 4 : ALGORITMO ARDUINO .....	72
Flujograma 5 : INTERFAZ GRAFICA.....	74

## **1. OBJETIVOS**

### **1.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir un exoesqueleto maestro de brazo para controlar un manipulador virtual tipo antropomórfico de 5 grados de libertad.

### **1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Seleccionar la instrumentación que se utilizara en el prototipo del exoesqueleto maestro
- Desarrollar los diseños del exoesqueleto maestro por medio de la herramienta CAD SolidWorks.
- Realizar la simulación del prototipo para el análisis de materiales a utilizar.
- Realizar la interfaz gráfica del manipulador virtual tipo antropomórfico de 5 grados de libertad.
- Realizar la cinemática directa del exoesqueleto maestro de brazo de 5 grados de libertad.
- Realizar la construcción y pruebas del prototipo.

## 2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA Y JUSTIFICACIÓN

Desde la época de los cavernícolas se vio la necesidad de remplazar algunas partes o extremidades del cuerpo humano que fueron perdidas al momento de obtener los alimentos para la supervivencia o incluso en peleas con otros cavernícolas, debido a estos acontecimientos se desarrollan las primeras prótesis que se hicieron en madera de manera muy rustica, a lo largo de los años las prótesis se fueron mejorando; combinando madera y metales como el acero y el bronce, para crear instrumentos similares en su forma a la extremidad perdida ( brazos o piernas) pero con limitaciones de movimiento. De esta manera llegamos a la actualidad donde podemos encontrar prótesis de manos electrónicas o “inteligentes”, al igual que piernas, oídos, ojos, entre otros.

Un brazo manipulador o brazo robótico se define como el conjunto de elementos electromecánicos que propician el movimiento de un elemento terminal (gripper o herramienta). La constitución física de la mayor parte de estos manipuladores debe guardar cierta similitud con la anatomía de las extremidades superiores del cuerpo humano. Una especificación general de un brazo robótico comprende: sus grados de libertad, su configuración y su cinemática directa e inversa.

Las prótesis de brazos robóticas pretenden reemplazar en el afectado ese miembro perdido y facilitarle algo de movilidad, comodidad y sobre todo seguir siendo ese individuo independiente y útil para la sociedad.

Este proyecto está dirigido hacia el área del estudio del comportamiento y movimiento del brazo derecho, que a futuro tiene posibles aplicaciones en el área de la biomedicina y a la fisioterapia para facilitar la recuperación de este miembro superior y mejorar la calidad de vida. Basado en el diseño y la construcción de un exoesqueleto maestro de brazo para controlar un manipulador tipo antropomórfico de 5 grados de libertad virtual, en el cual se ofrece un diseño adaptable a la anatomía de un brazo humano, controlado y visualizado a través de una interfaz gráfica implementada a un ordenador.

Esto se logra con la ayuda de distintas disciplinas como la medicina, la electrónica, la física y la mecánica. Dentro del campo de la electrónica, se reconocen a la instrumentación electrónica y al control como partes fundamentales del sistema; la instrumentación, se encarga de recolectar la información útil para ser enviada a un procesador central, el cual contiene las estrategias de control necesarias para tomar una decisión de acuerdo con la información recibida. En la electrónica de exoesqueletos, se distinguen distintas formas de realizar la adquisición de la información y distintas estrategias de control que se adoptan dependiendo de cada desarrollo, teniendo en cuenta que lo acordado y lo implementado siempre tienen que estar en concordancia

con los desarrollos de las demás áreas aplicadas a la construcción del exoesqueleto.

### 3. INTRODUCCIÓN

La integración de humanos y dispositivos robóticos en un sistema híbrido en la actualidad nos ofrece una amplia gama de oportunidades para desarrollar una nueva generación de tecnologías para usar en aplicaciones biomédicas, espaciales, industriales y de investigación.

Esta integración se ha potenciado con los avances en la miniaturización de sensores, la computación móvil, y el desarrollo de sistemas de actuación optimizados, además, con el desarrollo de elementos de almacenamiento de energía que proporcionan gran autonomía, se ha fomentado un creciente interés en tecnologías portátiles basadas en sistemas robóticos. La incorporación de nuevas estrategias de control biológicamente inspiradas, basadas en el modelo humano, para el control de dichos dispositivos robóticos posibilitará la interacción humano-robot de forma más natural.

Este proyecto propone la construcción de un exoesqueleto maestro de brazo para controlar un manipulador virtual de tipo antropomórfico con 5 grados de libertad, el exoesqueleto de brazo será diseñado en SOLIDWORKS, este contara con un sensor de peso y un display LCD en la parte de la mano, el cual mostrara el peso del objeto que esta sostenga, también se contara con servomotores digitales con retroalimentación ya que estos tienen la capacidad de controlar su velocidad, posición, entre otras.

El algoritmo de control de posición de cada servo puede ajustarse individualmente, permitiendo control retroalimentado de variables como la velocidad y la Carga y Cada servomotor tiene un micro-controlador con el cual se fijan o leen parámetros que definen su comportamiento. El manipulador es virtual de tipo antropomórfico de 5 grados de libertad el cual cuenta con una interfaz gráfica desarrollada en BLENDER, el cual es un programa informático que permite modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales.

En conclusión el exoesqueleto deberá enviar al ordenador la lectura de su posición y que esta posición sea mostrada en la interfaz virtual del manipulador desarrollada, es decir es un exoesqueleto según su aplicación de tipo dispositivo maestro de tele-operación que comprende el conjunto de tecnologías que permiten a un operador la realización de tareas a distancia, teniendo su aplicación específica en el desarrollo de tareas en entornos que conlleven un riesgo al operador o bien sean inaccesibles por éste.

Un exoesqueleto utilizado como dispositivo maestro en un sistema de tele-operación, configurado en modo bilateral, permite al operador unido al

exoesqueleto (maestro) controlar un brazo robótico (esclavo) que este caso sería virtual. Las fuerzas aplicadas sobre el brazo robótico por el entorno son reflejadas al maestro y aplicadas por la estructura y actuadores del manipulador virtual.

## 4. MARCO TEÓRICO

### 4.1 ¿QUE ES UN MANIPULADOR?

Un manipulador mecánico consiste en una secuencia de cuerpos rígidos llamados elementos, conectados mediante articulaciones prismáticas o de revolución. Cada par articulación-elemento constituye un grado de libertad.

Es importante definir que el efector final no se considera un grado de libertad, entre mayor grado de libertad, es mayor la dificultad para controlarlo debido a que su cinemática es más compleja.

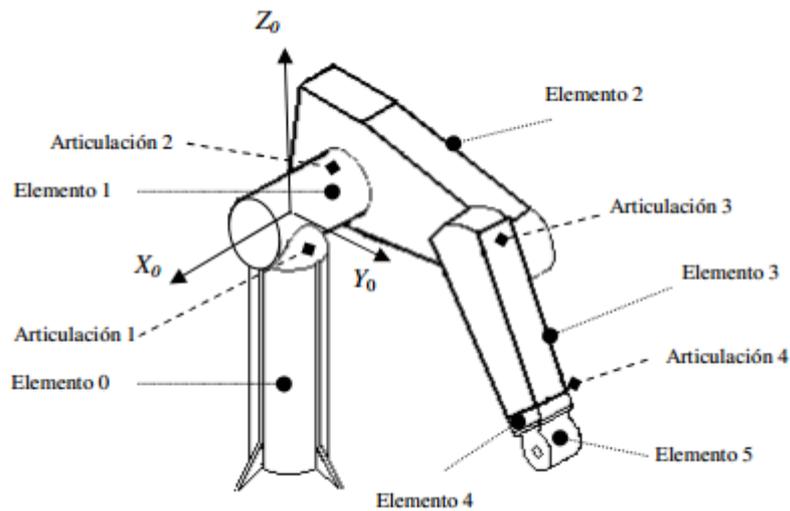


Ilustración 1: PARTES BÁSICAS DE UN MANIPULADOR DE 5 GRADOS DE LIBERTAD.

### 4.2 TIPOS DE ROBOTS SEGÚN SUS EJES

- Robot Cartesiano

Sus tres articulaciones principales son prismáticas, los ejes son ortogonales entre si y los desplazamientos sobre ellos dan las coordenadas cartesianas X, Y, Z, de los puntos de trabajo, la estructura puede ser de tipo cantiléver o en pórtico, sus características es que son precisos, rápidos, de fácil control y su elevada capacidad de carga

- Robot cilíndrico

Utiliza un giro en la base y dos desplazamientos perpendiculares entre si para determinar la posición de los puntos por medio de coordenadas cilíndricas se usa donde no haya obstáculos en su zona de trabajo.

- Robot esférico o polar

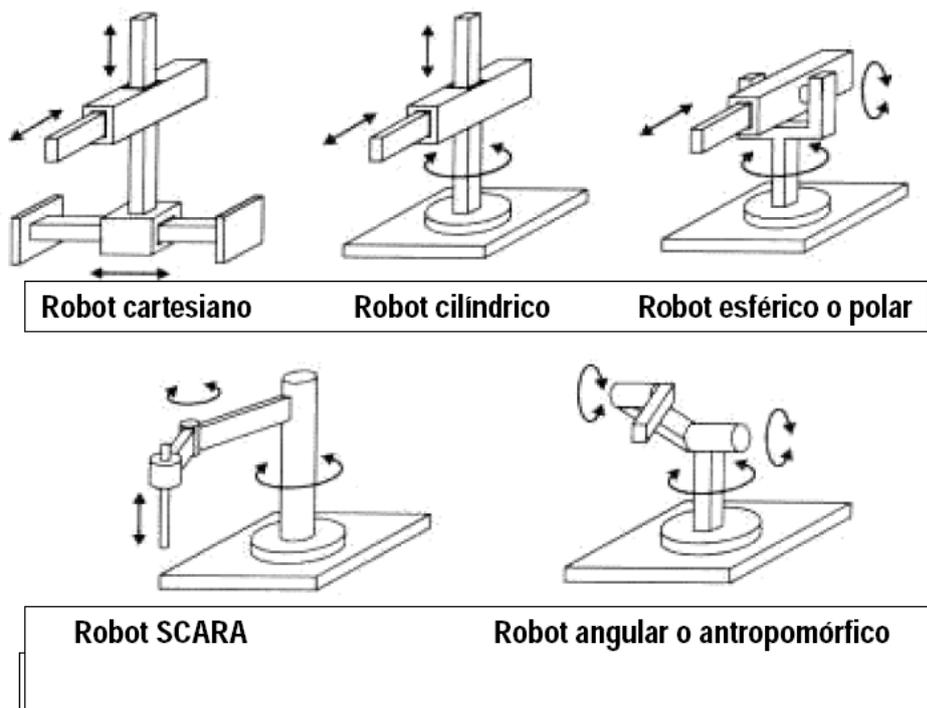
Las dos primeras articulaciones son ejes de rotación perpendiculares entre si, la tercera es prismática, los primeros robots fueron de este tipo y tienen accionamientos hidráulicos pero esto cambio debido a que se hace complicado controlar sus movimientos

- Robot SCARA

Es un robot con dos articulaciones R y una P, con las dos R se controla la posición respecto al plano X-Y y con la P la coordenada Z. Es rápido, barato y preciso, pero solo tiene accesibilidad a zonas de trabajo que estén en planos perpendiculares a su eje vertical. Se emplea fundamentalmente en operaciones de ensamblado o inserción de componentes electrónicos y en otros trabajos similares.

- Robot angular o antropomórfico

Tiene sus tres principales articulaciones de tipo R, (y también las restantes), con lo cual emplea las coordenadas angulares para determinar las posiciones de su elemento terminal. Se llama antropomórfico porque simula los movimientos de un brazo humano. Este robot posee gran accesibilidad y maniobrabilidad, es rápido y ocupa poco espacio en relación al campo de trabajo que abarca. Debido a sus características es el modelo más versátil en aplicaciones y se ha impuesto a los demás, sobre todo en celdas de Fabricación Flexible.



## Ilustración 2 : CONFIGURACIONES FRECUENTES DE ROBOTS INDUSTRIALES.

### 4.3 TIPOS DE ARTICULACIONES ROBÓTICAS

Las articulaciones permiten que entre las partes que unen, se pueda producir un movimiento de desplazamiento, de giro o una combinación de ambos. Hay varios tipos de articulaciones, las dos que más emplean los robots, son la prismática y la de rotación, teniendo en cuenta que ambas permiten un solo Grado De Libertad (GDL), o movimiento independiente entre las partes que unen. La prismática permite únicamente un movimiento relativo de desplazamiento o traslación en una sola dirección o eje; la de rotación permite únicamente un movimiento relativo de giro alrededor de un solo eje; por este motivo, podemos decir en general que el número de GDL en un robot es igual al número de sus articulaciones o al número de ejes. Generalmente los robots consiguen el posicionado por medio de sus tres primeras articulaciones a partir de la base y la orientación de su elemento terminal o herramienta con el resto de articulaciones. No es necesario que un robot tenga los 6 GDL para todas las aplicaciones, hay robots con solo 3 GDL; por el contrario también se habla de robots con más de 6 articulaciones y GDL, que permiten aumentar la accesibilidad a ciertas zonas de trabajo en este caso y para un solo brazo-robot, no se tienen más de 6 GDL, pues alguna de las articulaciones o ejes proporcionan falsos GDL que son repetidos de los proporcionados por otras articulaciones.

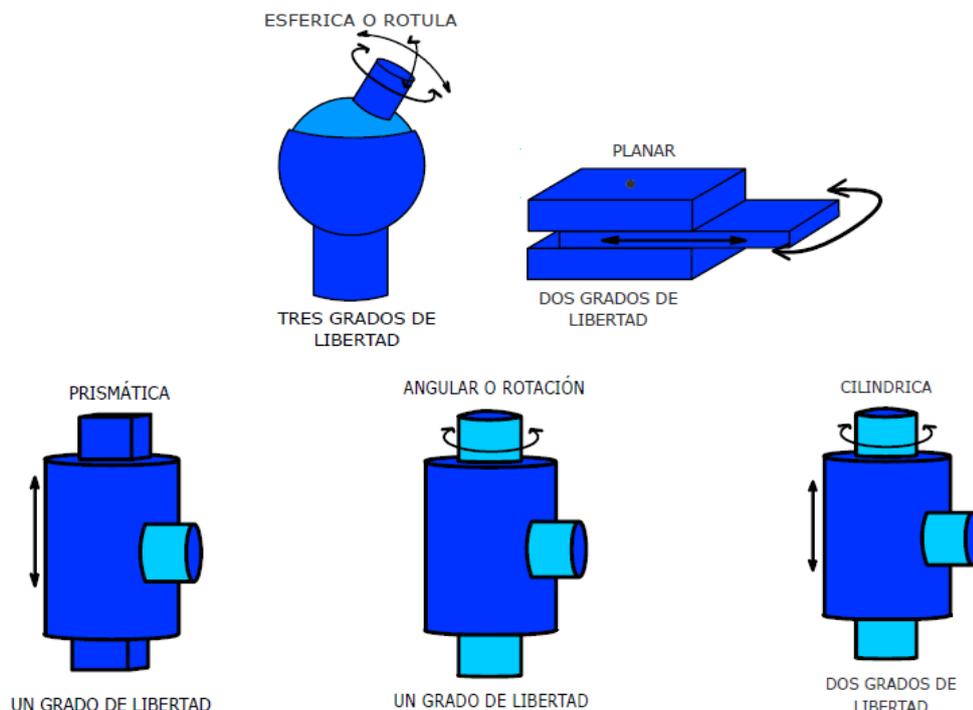


Ilustración 3: TIPOS DE ARTICULACIONES ROBÓTICAS

#### 4.4 MODELO DEL BRAZO HUMANO

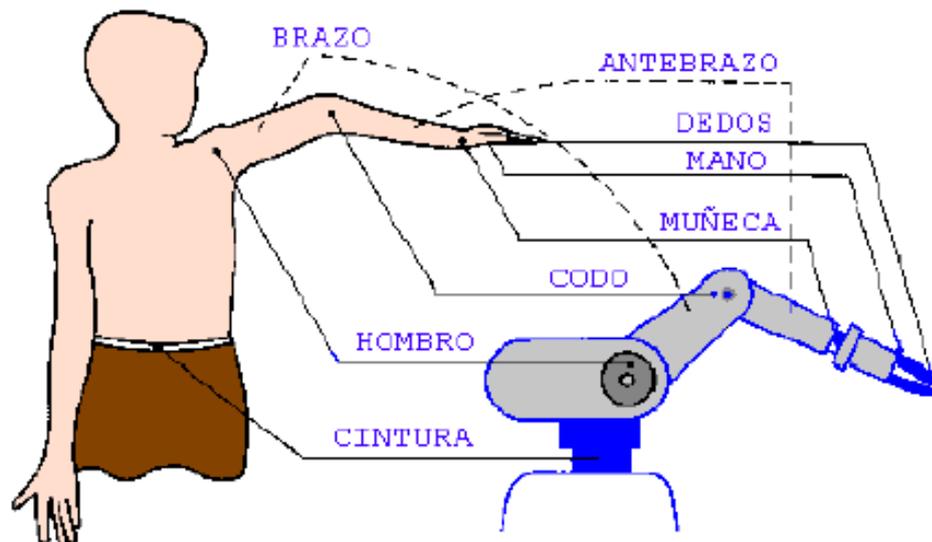


Ilustración 4: SIMILITUD BRAZO ROBÓTICO CON EXTREMIDADES SUPERIORES DEL CUERPO HUMANO.

El modelo biomecánico de la extremidad superior (Ilustración 4) se define como una cadena abierta de 5 segmentos rígidos, conectados entre sí por 4 uniones articulares simples.

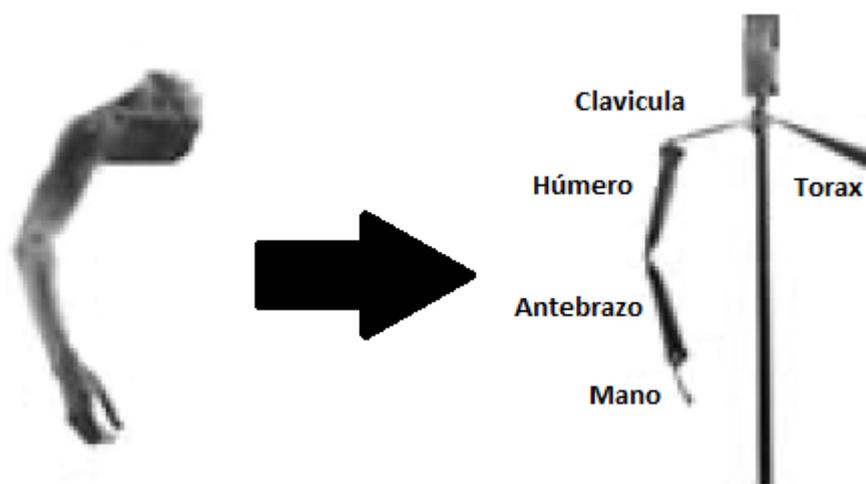


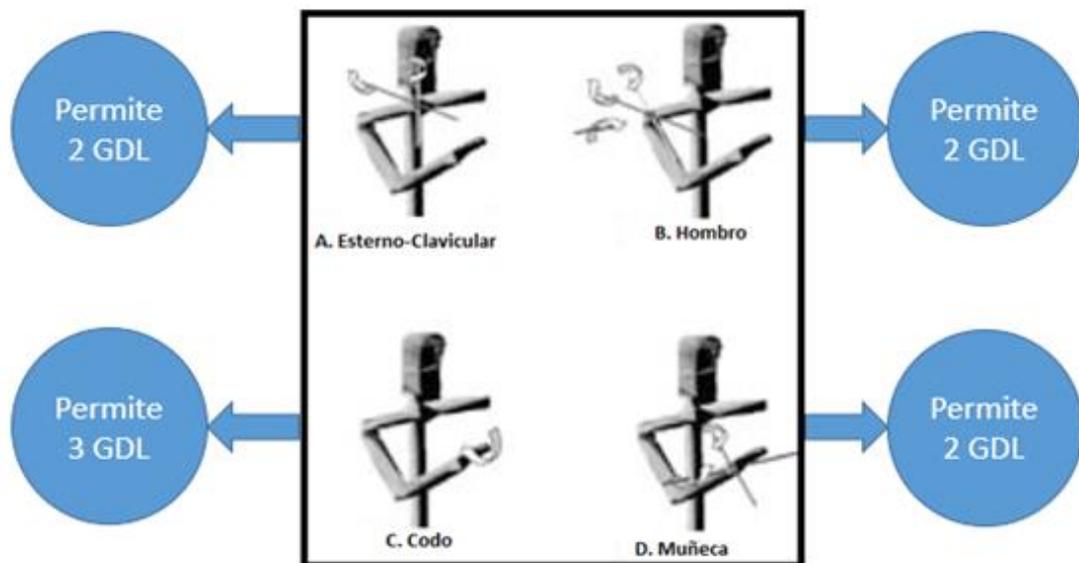
Ilustración 5: MODELO DEL BRAZO HUMANO

Los segmentos que componen el modelo serán tratados como cuerpos rígidos y se definen en la Tabla 1:

SEGMENTO	DEFINICIÓN
Tórax	Origen del sistema articulado (Tierra).
Clavícula	Desde la articulación esterno-clavicular hasta la acromio-clavicular.
Húmero	Desde la articulación gleno-humeral hasta la articulación de codo.
Antebrazo	Desde el codo hasta la muñeca.
Mano	A partir de la muñeca.

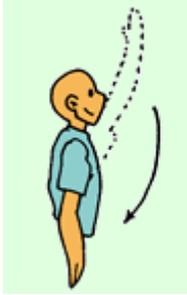
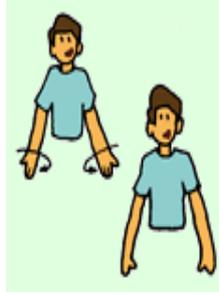
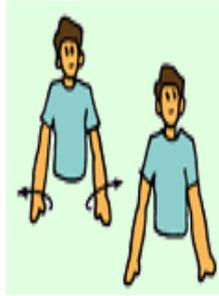
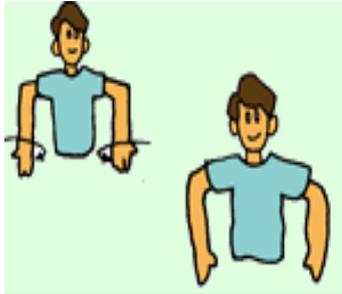
**Tabla 1: DEFINICIÓN DE SEGMENTOS DEL MODELO DEL BRAZO HUMANO**

Estos segmentos se unen por medio de cuatro articulaciones que proveen un total de 9 grados de libertad distribuidos de la siguiente manera:



**Ilustración 6: ARTICULACIONES**

## 4.5 MOVIMIENTOS REALIZADOS POR EL BRAZO HUMANO

<b>Movimientos articulares para los hombros</b>						
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flexión</li> <li>2. Abducción o alejamiento</li> <li>3. Rotación interna</li> <li>4. Extensión</li> <li>5. Aducción o acercamiento</li> <li>6. Rotación externa.</li> </ol>	<b>1.</b> 	<b>2.</b> 	<b>3.</b> 	<b>4.</b> 	<b>5.</b> 	<b>6.</b> 
<b>Movimientos articulares para los codos</b>						
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Flexión</li> <li>2. Extensión</li> <li>3. Rotación interna</li> <li>4. Rotación externa.</li> </ol>	<b>1.</b> 	<b>3.</b> 	<b>2.</b>	<b>4.</b>		

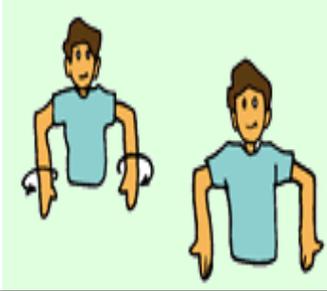
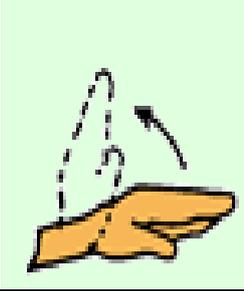
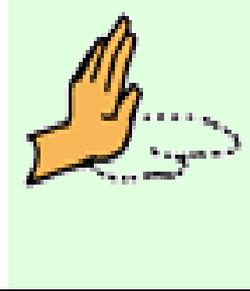
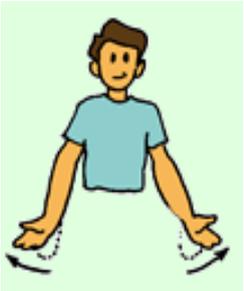
		
<b>Movimientos articulares para las muñecas</b>		
1. Dorsiflexión o flexión dorsal 2. Palmiflexión o flexión palmar 3. Abducción o alejamiento 4. Aducción o acercamiento	<b>1.</b> 	<b>2.</b> 
	<b>3.</b> 	<b>4.</b> 

Tabla 2: MOVIMIENTOS REALIZADOS POR EL BRAZO HUMANO

#### 4.6 ¿QUE ES UN EXOESQUELETO?

Un exoesqueleto, también conocido como exomarco o exotraje, es una máquina móvil consistente principalmente en un armazón externo que lleva puesto una persona, y un sistema de potencia de motores que proporciona al menos parte de la energía para el movimiento de los miembros. Ayuda a moverse a su portador y a realizar cierto tipo de actividades, como lo es el cargar peso.

El término exoesqueleto significa esqueleto externo y se utiliza en biología para describir la estructura exterior y rígida de insectos o crustáceos. Por extensión, en el campo de la robótica se utiliza este término para describir las estructuras externas rígidas que proporcionan soporte a las funciones motoras de la persona.

De esta manera, podemos definir un exoesqueleto robótico como un mecanismo estructural externo cuyos segmentos y articulaciones se corresponden con las del cuerpo humano (estructura antropomórfica). Se adapta o acopla a una persona de modo que el contacto físico entre el operador y el exoesqueleto permite una transmisión directa de potencia mecánica y señales de información. Por tanto, el exoesqueleto debe ser ajustable o adaptable con el fin de alinear sus articulaciones con los centros de rotación de las articulaciones del cuerpo humano tales como hombro, codo y muñeca.

#### 4.7 CLASIFICACIÓN DE LOS EXOESQUELETOS

Existen varias clasificaciones de estos dispositivos en función del tipo de actuadores utilizados (eléctrico, hidráulico, neumático, etc.), el tipo de control, la cadena cinemática y la aplicación u objetivo. La mayoría de los dispositivos actuales son interfaces sujetas a una base externa. Otra clasificación se puede hacer teniendo en cuenta su portabilidad. Basándonos en su portabilidad podemos clasificar a los exoesqueletos como no portátiles y portátiles como lo podemos observar en la siguiente figura [7].

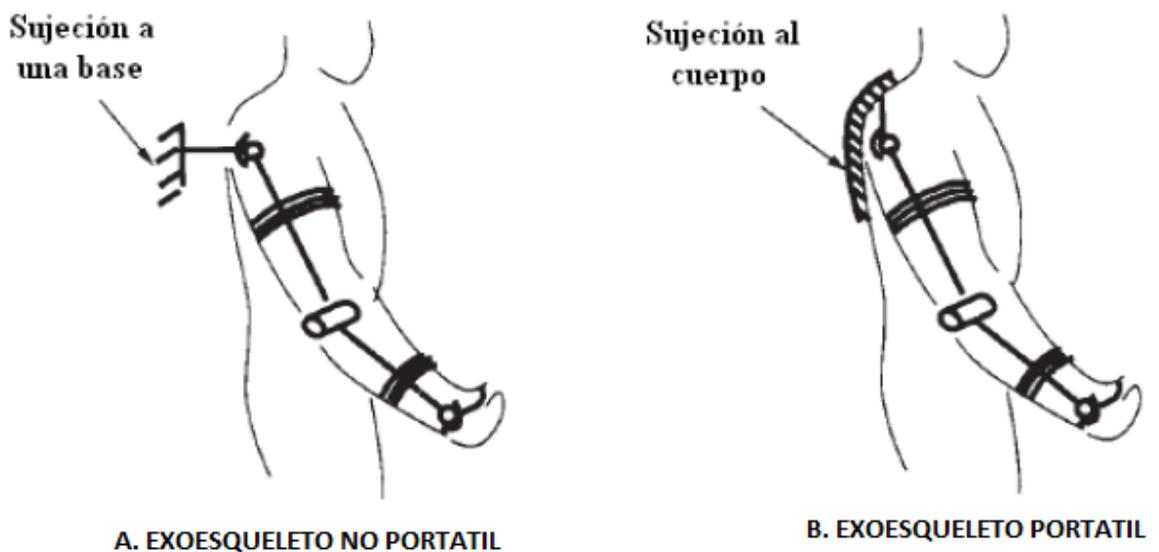


Ilustración 7: CLASIFICACIÓN DE LOS EXOESQUELETOS SEGÚN SU PORTABILIDAD.

EXOESQUELETO NO PORTÁTIL	EXOESQUELETO PORTÁTIL
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Son estructuras exoesqueléticas ancladas a una base fija.</li> <li>• Sus estructuras son más pesadas y complejas.</li> <li>• Tienen la capacidad de producir fuerzas de salida mayores.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• El soporte sobre el que se apoya todo el peso del exoesqueleto es el propio usuario o un dispositivo móvil.</li> <li>• Ejercen fuerzas de reacción sobre el usuario en los puntos de sujeción</li> </ul>

<ul style="list-style-type: none"> <li>• La seguridad en el diseño juega un papel muy importante.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Sus estructuras deben ser de bajo peso y volumen.</li> </ul>
--	---

**Tabla 3: CUADRO COMPARATIVO**

## **4.8 APLICACIONES DE LOS EXOESQUELETOS ROBÓTICOS**

Estos dispositivos robóticos han sido usados en tele-manipulación, para aumentar la capacidad de levantar cargas, para rehabilitación, como asistencia a personas con lesiones motoras y en investigación neuromotora. Conceptualmente, los sistemas exoesqueléticos pueden usarse para las siguientes aplicaciones:

- Amplificadores de potencia.
  - Asistencia y compensación funcional.
- Dispositivos para realimentación háptica y de fuerzas.
  - Maestros de un sistema de tele-operación maestro/esclavo.
  - Dispositivos hápticos.
- Rehabilitación y entrenamiento motor.
- Estudio e investigación.

## **4.9 QUE ES HÁPTICA?**

El termino háptico (del griego *haptesthai*, que “significa tocar”) es el adjetivo usado para describir algo relacionado con el sentido del tacto, la tecnología háptica se refiere al conjunto de interfaces tecnológicos que interaccionan con el ser humano por medio del sentido del tacto, estos mecanismos son operadores que controlan herramientas de forma remota o realizando actividades en entornos virtuales.

Los dispositivos hápticos más comunes son las pantallas táctiles de los teléfonos móviles, estas pantallas permiten obtener la posición del dedo y según dicha posición realizar una tarea o actividad solicitada por el usuario, estos dispositivos son considerados únicamente de entrada ya que solo interactúa de manera visual, sonora. Cuando se presenta vibración en estos dispositivos se considera una respuesta háptica básica.



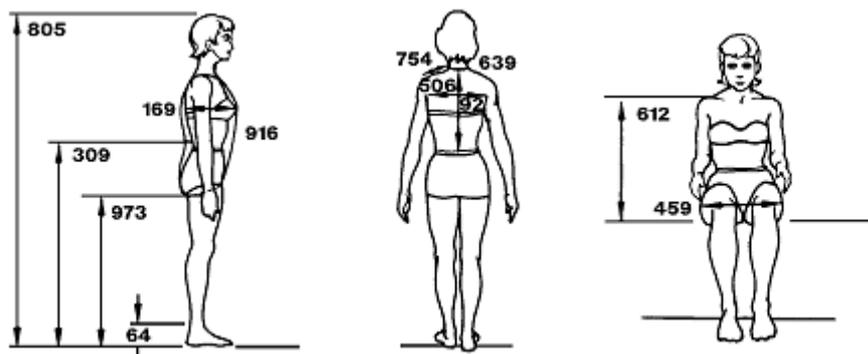
**Ilustración 8 : TELE OPERACIÓN HAPTICA**

#### **4.10 ANTROPOMETRÍA**

La antropometría es la sub-rama de la antropología biológica o física que estudia las medidas del hombre que mide lo que son las medidas del cuerpo del hombre y las estudia referentemente sin ningún tipo de porcentaje de error mínimo, ya que las medidas han de ser exactas a la par que se tomen.

En el presente, la antropometría cumple una función importante en el diseño industrial, en la industria de diseños de indumentaria, en la ergonomía, la biomecánica y en la arquitectura, donde se emplean datos estadísticos sobre la distribución de medidas corporales de la población para optimizar los productos.

Los cambios ocurridos en los estilos de vida, en la nutrición y en la composición racial y/o étnica de las poblaciones, conllevan a cambios en la distribución de las dimensiones corporales (por ejemplo: obesidad) y con ellos surge la necesidad de actualizar constantemente la base de datos antropométricos.



**Ilustración 9: ANTROPOMETRÍA**

Las medidas del exoesqueleto están sujetas a las medidas del individuo que lo va a portar, por lo que la antropometría y la ergonomía del diseño juegan un papel primordial en la fase de diseño.

#### **4.11 ACTUADORES Y SENSORES**

##### **4.11.1 ACTUADORES:**

Los actuadores tienen como misión generar el movimiento de los elementos del robot según las órdenes dadas por la unidad de control. Los actuadores utilizados en robótica pueden emplear energía neumática, hidráulica o eléctrica. Cada uno de estos sistemas presenta características diferentes, siendo preciso evaluarlas a la hora de seleccionar el tipo de actuador más conveniente. Las características a considerar son entre otras:

- Potencia.
- Controlabilidad.
- Peso y volumen.
- Precisión.
- Velocidad.
- Mantenimiento.
- Costo.

Se clasifican en tres grandes grupos, según la energía que utilizan:

- Neumáticos.
- Hidráulicos.
- Eléctricos.

#### 4.11.2 ACTUADORES ELÉCTRICOS

Las características de control, sencillez y precisión de los accionamientos eléctricos han hecho que sean los más usados en los robots industriales actuales.

Dentro de los actuadores eléctricos pueden distinguirse tres tipos diferentes:

- **Motores de corriente continua (DC):**
  - Controlados por inducción.
  - Controlados por excitación.
- **Motores de corriente alterna (AC):**
  - Síncronos.
  - Asíncronos.
- **Motores pasó a paso.**

Para este proyecto se van a utilizar como actuadores los servomotores para esto vemos diferentes tipos y con base en este estudio se escoge el más adecuado para el desarrollo de nuestro diseño.

Un servomotor es un dispositivo similar a un motor de corriente continua, que tiene la capacidad de ubicarse en cualquier posición dentro de su rango de operación, y mantenerse estable en dicha posición. Está conformado por un motor, una caja reductora y un circuito de control. Los servos se utilizan frecuentemente en sistemas de radio control y en robótica, pero su uso no está limitado a estos. Es posible modificar un servomotor para obtener un motor de corriente continua que, si bien ya no tiene la capacidad de control del servo,

conserva la fuerza, velocidad y baja inercia que caracteriza a estos dispositivos.

Un servo normal o Standard tiene 3kg por cm. de torque que es bastante fuerte para su tamaño. También potencia proporcional para cargas mecánicas. Un servo, por consiguiente, no consume mucha energía.

#### 4.11.2.1 TIPOS DE SERVOMOTORES

Hay tres tipos de servomotores:

- Servomotores de CC
- Servomotores de AC
- Servomotores de imanes permanentes o Brushless

#### 4.10.2.2 PARTES DE UN SERVOMOTOR

El servomotor consta de diferentes partes tanto mecánicas como eléctricas para su funcionamiento, en la siguiente ilustración se puede detallar sus diferentes componentes.

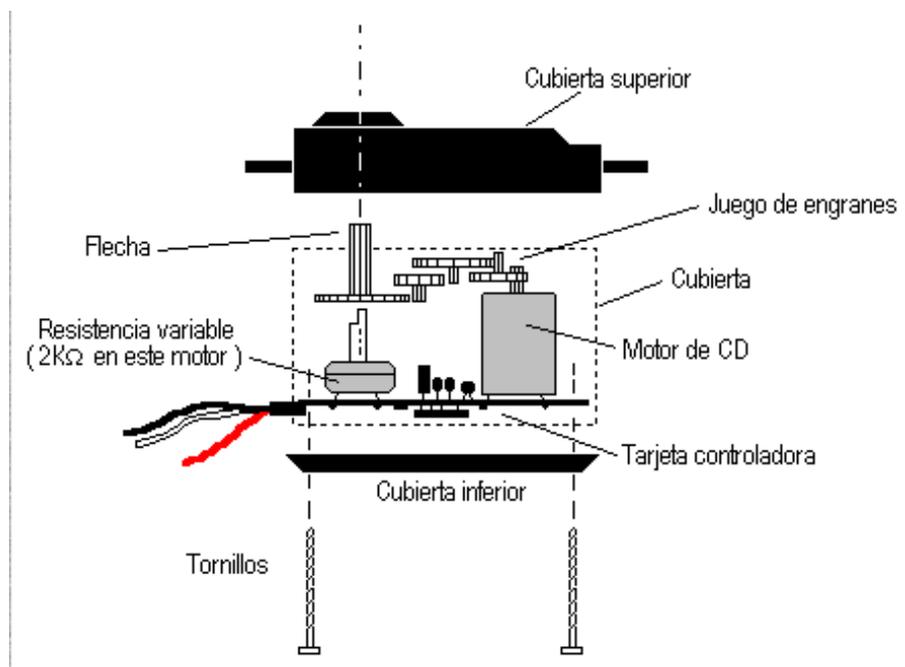


Ilustración 10: ESTRUCTURA TÍPICA DE UN SERVOMOTOR

- **Motor de corriente continua**

Es el elemento que le brinda movilidad al servo. Cuando se aplica un potencial a sus dos terminales, este motor gira en un sentido a su velocidad máxima. Si el voltaje aplicado sus dos terminales es inverso, el sentido de giro también se invierte.

- **Engranajes reductores**

Se encargan de convertir gran parte de la velocidad de giro del motor de corriente continua en torque.

- **Circuito de control**

Este circuito es el encargado del control de la posición del motor. Recibe los pulsos de entrada y ubica al motor en su nueva posición dependiendo de los pulsos recibidos.



**Ilustración 11: CIRCUITO DE CONTROL**

Tiene además de los circuitos de control un potenciómetro conectado al eje central del motor. Este potenciómetro permite a la circuitería de control, supervisar el ángulo actual del servo motor. Si el eje está en el ángulo correcto, entonces el motor está apagado. Si el circuito chequea que el ángulo no es correcto, el motor volverá a la dirección correcta, hasta llegar al ángulo que es correcto. El eje del servo es capaz de llegar alrededor de los 180 grados. Normalmente, en algunos llega a los 210 grados, pero varía según el fabricante.

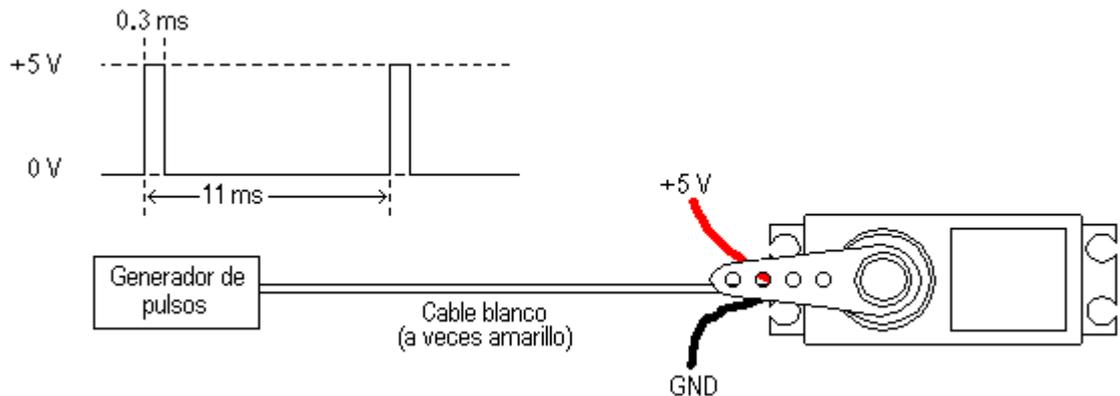
Un servo normal se usa para controlar un movimiento angular de entre 0 y 180 grados. Un servo normal no es mecánicamente capaz de retornar a su lugar, si hay un mayor peso que el sugerido por las especificaciones del fabricante.

Los servomotores tienen 3 terminales:

- **Terminal positivo:** Recibe la alimentación del motor (4 a 8 voltios)
- **Terminal negativo:** Referencia tierra del motor (0 voltios)

- **Entrada de señal:** Recibe la señal de control del motor

Los colores del cable de cada terminal varían con cada fabricante: el cable del terminal positivo siempre es rojo; el del terminal negativo puede ser marrón o negro; y el del terminal de entrada de señal suele ser de color blanco, naranja o amarillo.



**Ilustración 12 : "CONEXIÓN EXTERNA DEL SERVO"**

- **Potenciómetros Lineales**

- Los potenciómetros lineales son transductores de distancia y posición con contacto y rozamiento. La medida se obtiene mediante el deslizamiento de unas escobillas sobre una pista plástica resistiva, que en función del punto donde se encuentre, dará un valor proporcional en resistencia.
- El montaje es muy sencillo, ya que incorpora todo lo necesario para realizarlo de una forma fácil.
- Dispone de diferentes opciones mecánicas, como son las rótulas, punta palpadora, muelle, etc.
- Todo ello pensado para cubrir las diferentes aplicaciones de montaje posibles.

### 4.11.3 SENSORES

Un sensor o captador, como prefiera llamársele, no es más que un dispositivo diseñado para recibir información de una magnitud del exterior y transformarla en otra magnitud, normalmente eléctrica, que seamos capaces de cuantificar y manipular.

Normalmente estos dispositivos se encuentran realizados mediante el uso de componentes pasivos (resistencias variables, PTC, NTC, LDR, etc... todos aquellos componentes que varían su magnitud en función de alguna variable), y el uso de componentes activos.

### DESCRIPCIÓN DE ALGUNOS SENSORES:

### **Sensores de posición:**

Su función es medir o detectar la posición de un determinado objeto en el espacio, dentro de este grupo, podemos encontrar los siguientes tipos de captadores;

### **Sensores fotoeléctricos:**

La construcción de este tipo de sensores, se encuentra basada en el empleo de una fuente de señal luminosa (lámparas, diodos LED, diodos láser etc...) y una célula receptora de dicha señal, como pueden ser fotodiodos, fototransistores o LDR etc.

Este tipo de sensores, se encuentra basado en la emisión de luz, y en la detección de esta emisión realizada por los foto-detectores.

Según la forma en que se produzca esta emisión y detección de luz, podemos dividir este tipo de captadores en: captadores por barrera, o captadores por reflexión.

- Captadores por barrera: Estos detectan la existencia de un objeto, porque interfiere la recepción de la señal luminosa.
- Captadores por reflexión: La señal luminosa es reflejada por el objeto, y esta luz reflejada es captada por el captador fotoeléctrico, lo que indica al sistema la presencia de un objeto.

### **Sensores de contacto:**

Estos dispositivos, son los más simples, ya que son interruptores que se activan o desactivan si se encuentran en contacto con un objeto, por lo que de esta manera se reconoce la presencia de un objeto en un determinado lugar.

Su simplicidad de construcción añadido a su robustez, los hacen muy empleados en robótica.

### **Sensores de circuitos oscilantes:**

Este tipo de captadores, se encuentran basados en la existencia de un circuito en el mismo que genera una determinada oscilación a una frecuencia prefijada, cuando en el campo de detección del sensor no existe ningún objeto, el circuito mantiene su oscilación de un manera fija, pero cuando un objeto se encuentra dentro de la zona de detección del mismo, la oscilación deja de producirse, por lo que el objeto es detectado.

Estos tipos de sensores son muy utilizados como detectores de presencia, ya que al no tener partes mecánicas, su robustez al mismo tiempo que su vida útil es elevada.

### **Sensores por ultrasonidos:**

Este tipo de sensores, se basa en el mismo funcionamiento que los de tipo fotoeléctrico, ya que se emite una señal, esta vez de tipo ultrasónica, y esta señal es recibida por un receptor. De la misma manera, dependiendo del camino que realice la señal emitida podremos diferenciarlos entre los que son de barrera o los de reflexión.

### **Sensores de esfuerzos:**

Este tipo de sensores, se encuentran basados en su mayor parte en el empleo de galgas extenso-métrica, que son unos dispositivos que cuando se les aplica una fuerza, ya puede ser una tracción o una compresión, varía su resistencia eléctrica, de esta forma podemos medir la fuerza que se está aplicando sobre un determinado objeto.

### **Sensores de Movimientos:**

Este tipo de sensores es uno de los más importantes en robótica, ya que nos da información sobre las evoluciones de las distintas partes que forman el robot, y de esta manera podemos controlar con un grado de precisión elevada la evolución del robot en su entorno de trabajo.

Dentro de este tipo de sensores podemos encontrar los siguientes:

- **Sensores de deslizamiento:** Este tipo de sensores se utiliza para indicar al robot con que fuerza ha de coger un objeto para que este no se rompa al aplicarle una fuerza excesiva, o por el contrario que no se caiga de las pinzas del robot por no sujetarlo debidamente.

Su funcionamiento general es simple, ya que este tipo de sensores se encuentran instalados en el órgano aprehensor (pinzas), cuando el robot decide coger el objeto, las pinzas lo agarran con una determinada fuerza y lo intentan levantar, si se produce un pequeño deslizamiento del objeto entre las pinzas, inmediatamente es incrementada la presión de las pinzas sobre el objeto, y esta operación se repite hasta que el deslizamiento del objeto se ha eliminado gracias a aplicar la fuerza de agarre suficiente.

- **Sensores de Velocidad:** Estos sensores pueden detectar la velocidad de un objeto tanto sea lineal como angular, pero la aplicación más conocida de este tipo de sensores es la medición de la velocidad angular de los motores que mueven las distintas partes del robot. La forma más popular de conocer la velocidad del giro de un motor, es utilizar para ello una dinamo tacho-métrica acoplada al eje del que queremos saber su velocidad angular, ya que este dispositivo nos genera un nivel determinado de tensión continua en función de la velocidad de giro de su eje, pues si conocemos a que valor de tensión corresponde una

determinada velocidad, podremos averiguar de forma muy fiable a qué velocidad gira un motor. De todas maneras, este tipo de sensores al ser mecánicos se deterioran, y pueden generar errores en las medidas.

Existen también otros tipos de sensores para controlar la velocidad, basados en el corte de un haz luminoso a través de un disco perforado sujetado al eje del motor, dependiendo de la frecuencia con la que el disco corte el haz luminoso indicará la velocidad del motor.

- **Sensores de Aceleración:** Este tipo de sensores es muy importante, ya que la información de la aceleración sufrida por un objeto o parte de un robot es de vital importancia, ya que si se produce una aceleración en un objeto, este experimenta una fuerza que tiende a hacer poner el objeto en movimiento.

Supongamos el caso en que un brazo robot industrial sujeta con una determinada presión un objeto en su órgano terminal, si al producirse un giro del mismo sobre su base a una determinada velocidad, se provoca una aceleración en todo el brazo, y en especial sobre su órgano terminal, si esta aceleración provoca una fuerza en determinado sentido sobre el objeto que sujeta el robot y esta fuerza no se ve contrarrestada por otra, se corre el riesgo de que el objeto salga despedido del órgano aprehensor con una trayectoria determinada, por lo que el control en cada momento de las aceleraciones a que se encuentran sometidas determinadas partes del robot son muy importantes.

## 5. SELECCIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES

Para la selección de los diferentes dispositivos para captar y realizar los movimientos, se le dio una calificación entre cero y cinco, tomando un cero como un valor mínimo y cinco al máximo valor de aplicación al proyecto.

Para el caso de los servomotores se tomaron piñonaría, ángulo de operación, torque, retroalimentación y el precio como características principales para su selección y el porcentaje se dividió según las necesidades tomando un mayor valor el precio debido a que en este caso las características mecánicas no van a influir en mayor medida debido a que se va a tomar como receptor del movimiento; el CDS5516 fue el seleccionado ya que se adapta mejor a los requerimientos y presupuesto dispuesto para la construcción total del brazo.

SERVO-MOTORES						
NOMBRE	PIÑONERA (15%)	ANGULO DE OPERACIÓN (15%)	TORQUE (15%)	RETRO- ALIMENTACIÓN (15%)	PRECIO (40%)	TOTAL
CDS5516 DINAMIXEL	4.0	4.0	4.6	4.0	4.5	4.3
HERKULEX DRS-0101	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0	4.0
CDS55 SERVO	4.0	4.0	3.0	4.0	4.0	3.8
HERKULEX DRS-0601	4.5	4.5	2.0	4.5	1.0	2.7

Tabla 4: SELECCIÓN DEL SERVOMOTOR

Para el sensor de peso se tomaron características como la capacidad máxima, el área de contacto y el precio, para el porcentaje se tomó mayor valor para la capacidad de carga y su superficie de contacto y menor para el precio, llegando a seleccionar el sensor piezo resistivo de 10 kg de carga, ya que es un peso que se puede trabajar en el área donde va a ser ensamblado.

SENSORES DE ESFUERZO				
NOMBRE	PESO SENSADO (35%)	ÁREA DE CONTACTO (35%)	PRECIO (25%)	TOTAL
Sensor de fuerza piezo resistivo 50 kg	50 kg= 2.0	22 cm = 2.0	\$ 66.500= 2.0	2.0
Sensor de fuerza piezo resistivo 10 kg	10 kg= 4.0	3.8 cm = 2.5	\$ 15.600= 4.0	3,5

Sensor de fuerza piezo cuadrado 10 kg	10 kg= 4.0	3.8 cm <sup>2</sup> = 4.5	\$ 24.000= 3.5	4,0
---------------------------------------	------------	---------------------------	----------------	-----

**Tabla 5: SELECCIÓN DEL SENSOR DE CARGA**

El display LCD es el que permite visualizar el peso que se encuentra en la mano, para la selección se realizó según la necesidad requerida, para esto se eligió el alfanumérico de 4x20 azul

DISPLAYS LCD				
NOMBRE	TAMAÑO (30%)	TIPO (20%)	PRECIO (50%)	TOTAL
LCD TFT TACTIL 2.8" SHIELD	7.25* 5.47 cm= 3.0	4.0	\$ 170.000= 1.5	2.75
LCD ALFANUMERICA 2*16 VERDE	2*16 cm= 3.5	3.5	\$ 13.000= 4.0	4.1
LCD ALFANUMERICA 4*20 AZUL	4*20 cm= 4.5	3.5	\$ 32.000= 3.5	4.25

**Tabla 6 : SELECCIÓN DISPLAY LCD**

Para la selección de los sensores encargados de medir el movimiento de la muñeca se analizaron diferentes opciones como potenciómetros acoplados mecánicamente y acelerómetros. Los potenciómetros por su fácil manejo se consideraron la principal opción pero su mecánica aumentaba en mayor medida el costo de la construcción y se reemplazó el mecanismo por el acelerómetro, a pesar de tener un costo más elevado que los potenciómetros, su acople es más sencillo a las aplicaciones requeridas.

POTENCIÓMETROS					
NOMBRE	RESISTENCIA (20%)	FÁCIL ACOPLA AL MECANISMO	TAMAÑO (30%)	PRECIO (30%)	TOTAL
Acelerómetro MMA 7361	4.5	5.0	4.5	4.0	4.5
Potenciómetro lineal 10k 10 vueltas	5.0	1.0	3.5	3.5	3.3
Potenciómetro lineal 10k 1 vuelta	4.8	1.0	3.5	4.0	3.3

**Tabla 7: SELECCIÓN DE POTENCIÓMETROS**

## 6. INSTRUMENTACIÓN SELECCIONADA PARA LA REALIZACIÓN DEL PROYECTO

### 6.1 SERVOMOTOR CDS5516

Robot Servo CDS5516 son mucho más que servos digitales, son sistemas robóticos sofisticados, ya que cada servo tiene la capacidad de controlar su velocidad, posición, entre otras, El algoritmo de control de posición de cada servo puede ajustarse individualmente, permitiendo control retroalimentado de variables como la velocidad y la Carga. Cada servomotor tiene un microcontrolador que entiende 50 comandos, la mayoría de los cuales fijan o leen parámetros que definen su comportamiento, el típico servo de radio-control solo puede configurar el ángulo de giro entre 0-180° por medio de una señal de PWM, mientras los Robot servo permiten utilizarlos como un actuador profesional con sensores de retroalimentación.



Ilustración 13: SERVOMOTOR CDS5516

- **Piñonería:** Engranajes metálicos
- **Voltaje nominal:** 6-16V
- **Velocidad:** 0.18sec/60°
- **Torque** 16kg.cm
- **Interfases:** Red serial TTL ( 7343bps ~ 1Mbps) (soporta controlador AX-12)
- **Ángulo de operación:** 300°
- **En modo de 360°** 1024 velocidades configurables
- **Resolución:** 0.32°

- **Peso** 55g
- **Tamaño:** 50 x 32 x 38 mm
- **Retroalimentación** de Posición, Temperatura (Par) y tensión de entrada

## 6.2 SENSOR DE FUERZA PIEZO CUADRADO 10 KG

Sensor de fuerza piezo resistivo , el cual se implementa en pinzas robóticas o sistemas de electromecánicos para saber si se está aplicando fuerza sobre una superficie, la señal de salida es un cambio en la resistencia medida entre los dos pines de salida, y entre más fuerza se ejerza menor será la resistencia.

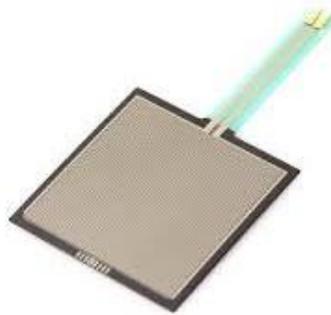


Ilustración 14 : SENSOR DE FUERZA PIEZO CUADRADO 10 KG

### Características:

- Peso sensado 100gr-10Kg
- Área de sensado : 3.8cmx3.8cm
- Tipo de salida 2 pines cambio resistivo

## 6.3 LCD ALFANUMÉRICA 4\*20 AZUL

LCD alfanumérica 4x20 con caracteres en color blanco y fondo azul con back Light, controlador equivalente al HD44780, con 4 u 8 líneas de datos, y 3 de control, estas lcds de bajo costo son ideales para cualquier proyecto académico o comercial en el cual se deban desplegar pocos datos, la pantalla viene con caracteres ASCII pre programados, y se tiene la posibilidad de programar otros, sus aplicaciones son diversas.



Ilustración 15 : LCD ALFANUMERICA 4\*20 AZUL

### Características

- Pantalla LCD 4x20
- Backligh azul
- Tipo Alfanumérica

### 6.4 ACELERÓMETRO DE 3 EJES MMA7361

Acelerómetro de 3 ejes MMA7361, con sensibilidad ajustable a +/-1.5g o +/-6g. Este acelerómetro en board está listo para usar, integra a su vez filtro pasa bajos de un polo en cada una de sus salidas y un regulador de 3.3V, lo que hace más fácil su integración con sistemas de 5V.

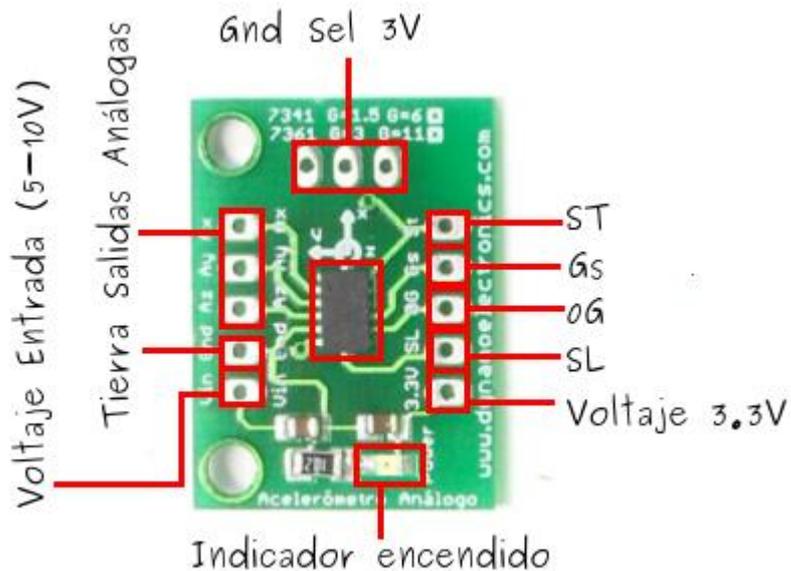


Ilustración 16 : ACELERÓMETRO MMA7561

## 7. ESTADO DEL ARTE

### 7.1 MANIPULADORES

- TITAN 4 cuya característica principal es el tipo de material, el cual es titanio que le da resistencia con poco peso (122 kg en el aire-75 kg en agua de mar), tiene un control de precisión aguda con siete grados de libertad, el control con el que se manipula es una réplica del brazo, su diseño permite trabajar a grandes profundidades y grandes pesos y manejo de presiones entre los 4000msw y 7000msw.



**Ilustración 17 : MANIPULADOR ROBÓTICO TITÁN 4.**

- ATLAS 7R está hecho de aluminio anodizado y acero inoxidable, posee 6 grados de libertad, mayor precisión en el agarre de herramientas, se ha diseñado para levantar cargas pesadas (250kg/550lb), la máxima presión con la que puede trabajar es de 6500msw



**Ilustración 18 : MANIPULADOR ROBÓTICO ATLAS 7R**

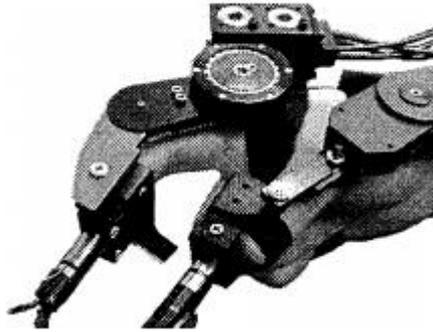
## **7.2 EXOESQUELETOS**

La primera idea que surge para la construcción de dispositivos de realimentación de fuerzas es la de limitar la libertad de movimientos del usuario. Como idea básica aparecen los exoesqueletos, que son armazones colocados sobre algunas articulaciones y miembros del usuario que de forma controlada permiten aplicar una resistencia al movimiento. Para ello se utilizan sistemas neumáticos o eléctricos. Los primeros adecuados para las aplicaciones hápticas en un entorno reducido aparecen a principio de los años 90.

Hay exoesqueletos que están sujetos a alguna estructura fija y otros que son vestibles, sujetos simplemente al cuerpo del usuario. Los que están fijos permiten una mayor calidad en la simulación, ya que permiten simular objetos más grandes, simular mejor la dureza de los objetos, etc. Por lo contrario no dan movilidad al usuario, por lo que el entorno virtual ha de estar confinado en un espacio relativamente pequeño. Por su propia naturaleza, con los exoesqueletos vestibles no se puede coger cualquier objeto, solo aquellos que están flotantes.

## **8. HAND EXOSKELETON HAPTIC DISPLAY:**

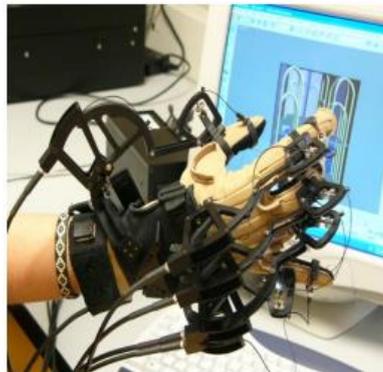
Diseñado por EXOS Inc., HEHD es un sistema display háptico que genera realimentación de fuerza sobre los dedos de forma que pueda generar la sensación de coger o agarrar cosas, además de proporcionar la sensación de deslizamiento sobre los dedos pulgares e índice. El dispositivo consiste en un exoesqueleto de la mano que proporciona un grado de libertad al pulgar y dos grados de libertad al dedo índice. Se permite el deslizamiento en una dirección de ambos dedos. El dispositivo se puede integrar sobre un sistema de posicionamiento que permita calcular la posición del brazo.



**Ilustración 19 : HAND EXOSKELETON HAPTIC DISPLAY**

### **9. GUANTES CON FEEDBACK DE FUERZA CYBERGRASP IMMERSION CO:**

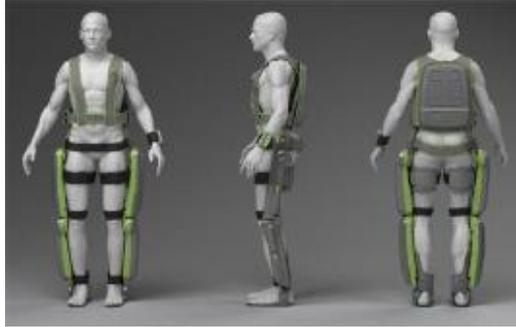
El Cybergrasp consiste en una estructura exoesquelética fijada a la parte posterior de la mano, que es accionada por unos actuadores instalados fuera de ésta, en una caja de control, con el objetivo de facilitar su manejo aligerando su peso, de aproximadamente 450 gr. La fuerza máxima que puede aplicar sobre cada dedo es de 12N.



**Ilustración 20 : CYBERGRASP**

### **10. REWALK:**

La empresa israelita ARGO Medical Technologies ha desarrollado un exoesqueleto para personas con parálisis en las piernas llamado ReWalk; éste se puede observar en la ilustración 21. El aparato funciona gracias a un motor eléctrico con batería recargable que junto a una serie de sensores que mandan señales a un ordenador colocado en la mochila que es parte de la estructura, permite a las personas con este tipo de problemas físicos levantarse de la silla de ruedas y volver a caminar.



**Ilustración 21 : REWALK, EXOESQUELETO PARA PARALÍTICOS.**

### **11. REX:**

En Nueva Zelanda, Rex Bionics, una empresa creada por los ingenieros Richard Little y Robert Irving crea a Rex (Ilustración 22), un exoesqueleto que funciona con una batería recargable que le permite trabajar por dos horas de uso ininterrumpido y es operado a través de un joystick. El usuario puede caminar sobre superficies estables y firmes, no así en lugares resbaladizos o de texturas accidentadas, como en nieve y terrenos pedregosos.



**Ilustración 22 : EXOESQUELETO REX.**

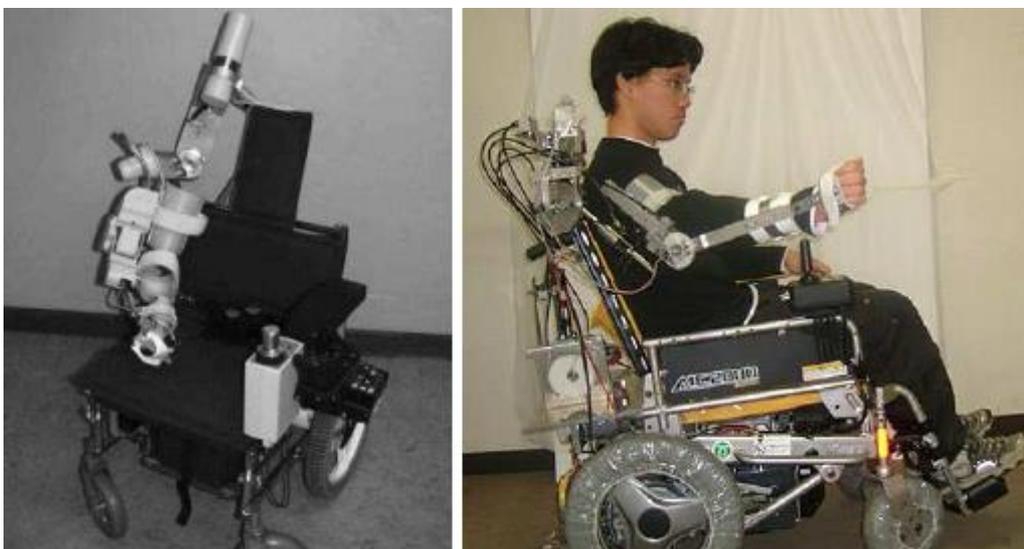
### **12. HAL (HYBRID ASSISTIVE LIMB):**

HAL es un traje motorizado que se acopla al cuerpo de las personas, como se observa en la (Ilustración 23), y consigue que éste se mueva sin esfuerzo. El traje ha sido desarrollado por la compañía japonesa Cyberdyne. Cuando la persona se lo coloca y piensa en un movimiento a realizar, las señales nerviosas se envían del cerebro a los músculos y son captadas en la superficie de la piel por unos detectores especiales. En este punto, el robot consigue transformar esta señal nerviosa en un movimiento real.



**Ilustración 23 : TRAJE ROBÓTICO HAL.**

Un exoesqueleto controlado con señales EMG para la rehabilitación de la mano fue el presentado por DiCicco. Este dispositivo se implementó con actuadores neumáticos con el objetivo de hacerlo ligero (Ilustración 24). En su estudio, el autor compara diferentes estrategias de control, tales como control binario, control variable y un control de alcance natural, para ser usadas con el dispositivo y presenta los resultados obtenidos de la utilización del exoesqueleto con una persona tetrapléjica.



**Ilustración 24 : EXOESQUELETO DICICCO**

## 12.1 DISPOSITIVOS HÁPTICOS

### 13. DISPOSITIVO HÁPTICO NOVINT FALCON

Uno de los dispositivos de entrada y salida más utilizado y económico, está destinado a sustituir el mouse del computador en videojuegos y otras aplicaciones, para su manipulación el usuario debe coger la esfera o el dispositivo adjunto, el usuario puede observar el desplazamiento en un entorno virtual en las tres dimensiones (adelante-atrás, derecha-izquierda y arriba-abajo), hasta este punto su función es similar a un mouse añadiendo una nueva dimensión, sin embargo una vez que en el entorno tenga contacto con una de las paredes u obstáculos virtuales, el dispositivo devolverá una sensación de resistencia al movimiento, la cual permite percibir que realmente se ha colisionado.



Ilustración 25 : DISPOSITIVO HÁPTICO NOVINT FALCON

### 14. DISPOSITIVO HÁPTICO PHANTOM OMNI

Es un dispositivo que proporciona una entrada tridimensional con una retroalimentación de fuerza e integran el sentido del tacto a las aplicaciones de investigación y comerciales, así como sistemas de modelado en 3D, ofrece tres grados de libertad en fuerza por seis grados de libertad en orientación, debido a que el lápiz que se encuentra en el terminal puede rotar en las tres direcciones además de desplazarse, posee una mayor precisión que el novint falcon.



**Ilustración 26 : DISPOSITIVO HÁPTICO PHANTOM OMNI**

### **15. GUANTE TACTIL CYBERTOUCH**

Existen otros dispositivos que no solo proporcionan una retroalimentación de fuerza para el sistema, el guante táctil cybertouch da información como temperatura, la presión o la textura, estos guantes son más ligeros y emplean dispositivos electromecánicos para proporcionar datos de texturas o rugosidad. Al momento de su uso es más simple su uso que el guante cybergrasp, el guante cybertouch emplea seis vibradores ubicados en la parte posterior de los dedos y en la palma de la mano.



**Ilustración 27 : GUANTE HÁPTICO TACTIL CYBERTOUCH**

### **16. EXOESQUELETO HÁPTICO SARCOS**

Otros dispositivos hápticos no se limitan al uso en solo manos o dedos sino que se habilitan para todo el cuerpo, estos dispositivos son más pesados y complejos, el Raytheon Sarcos XOS es un exoesqueleto que está en fase de desarrollo con fines militares. De momento ya se ha conseguido que la persona que use el XOS pueda levantar y transportar pesos con mayor facilidad sin perder agilidad, pero el “traje” aún necesita alimentación externa.



**Ilustración 28 : EXOESQUELETO HÁPTICO RAYTHEON SARCOS**

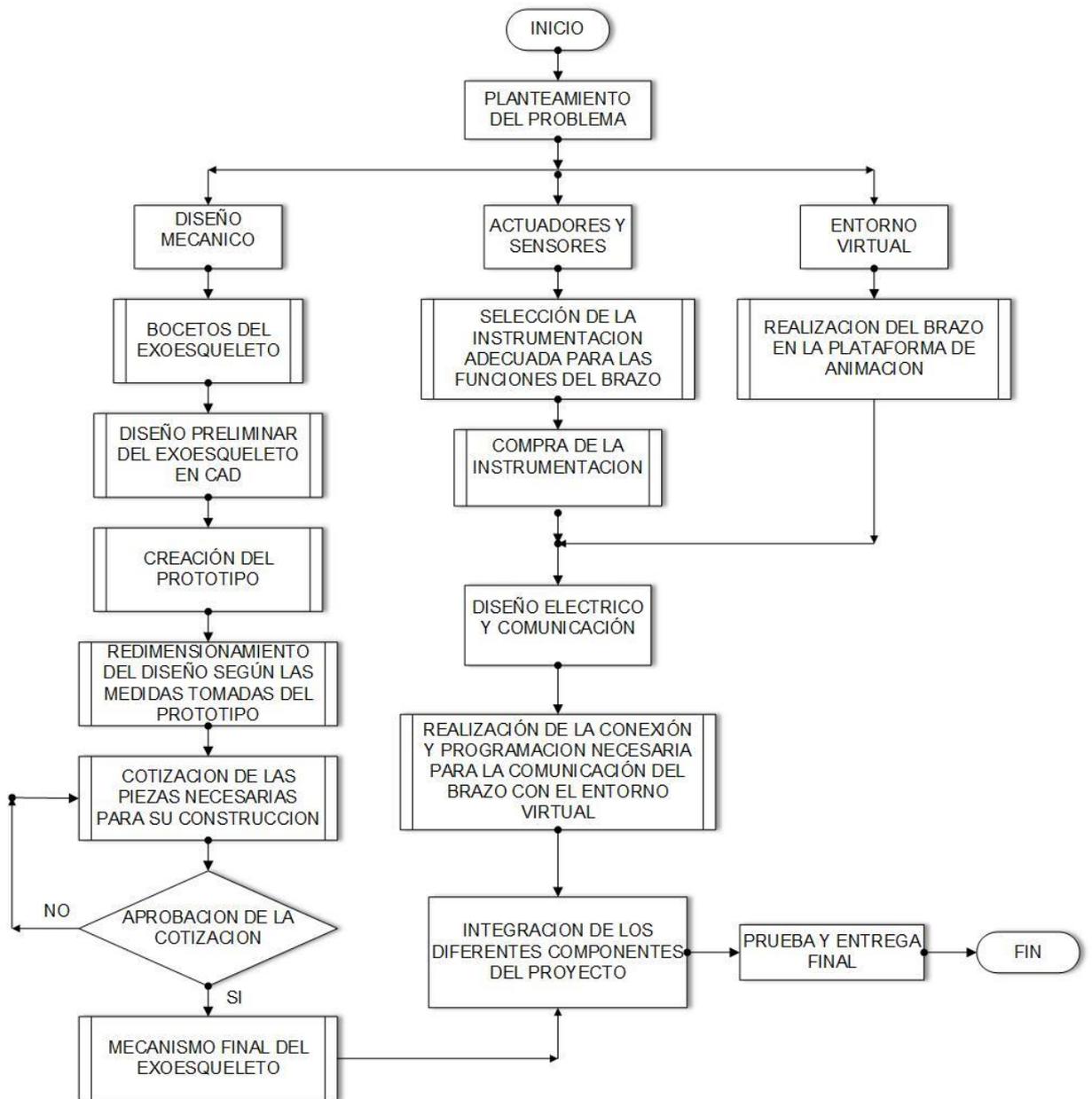
## 17. DISEÑO METODOLÓGICO

Para el proceso del desarrollo del prototipo se realizó un análisis bibliográfico donde se recopiló información y documentación del desarrollo de manipuladores robóticos aplicados al área de la háptica y que aporten al desarrollo del prototipo y del producto final, luego se realizaron los bocetos, el diseño en CAD y un prototipo básico para modificar y estandarizar las medidas del diseño, durante el proceso de desarrollo se realizó la selección de la sensoria y sus mecanismos necesarios para el correcto funcionamiento.

Ya teniendo definidos las especificaciones anteriores se realizó el estudio de la cinemática del brazo, en esta etapa se realizara la cinemática directa del exoesqueleto de brazo robótico con la ayuda del software MATLAB, para hacer una descripción analítica del desplazamiento espacial del robot como una función del tiempo, en particular de las relaciones entre la posición de las variables de articulación, la posición y orientación del brazo robótico.

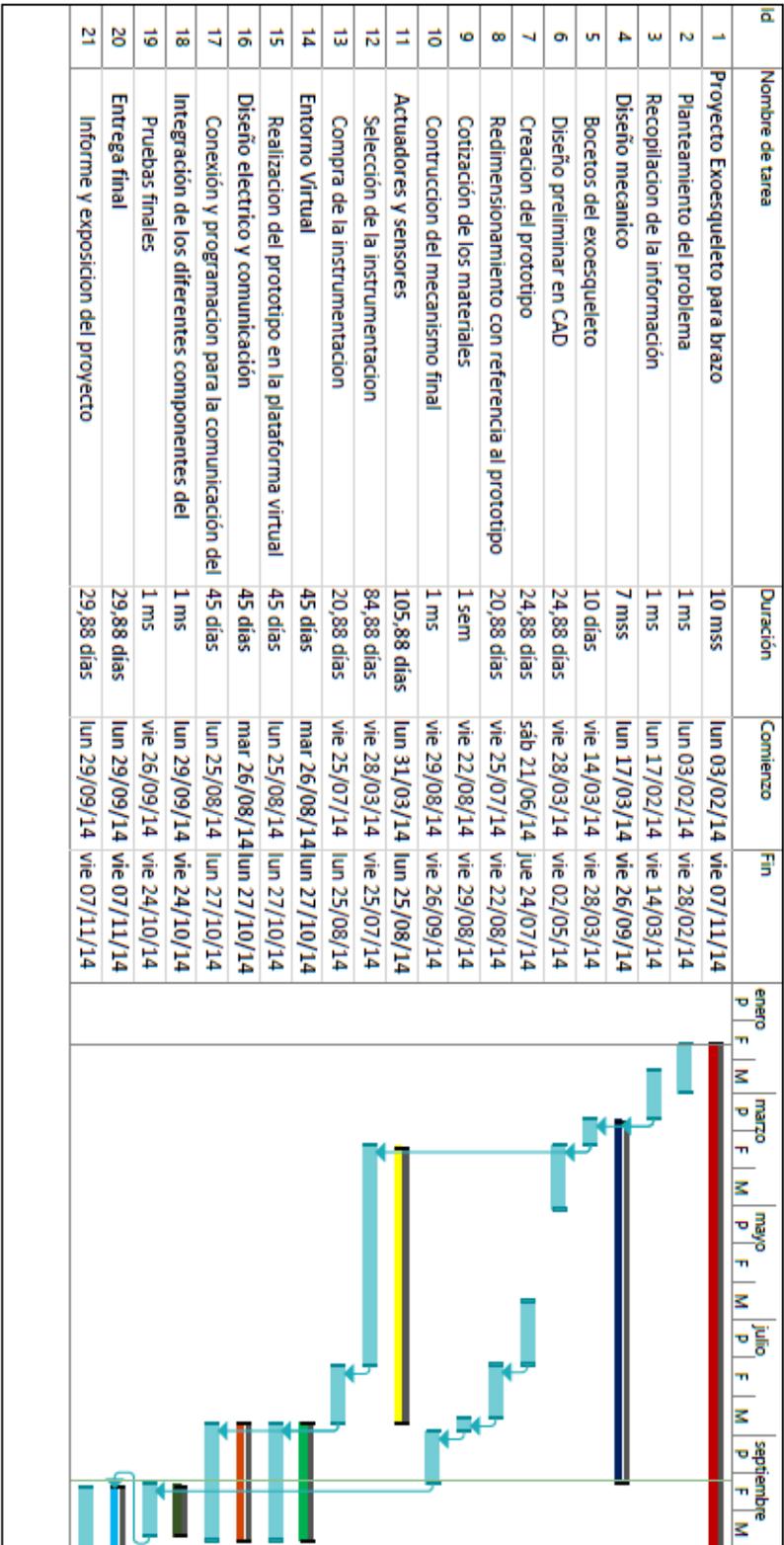
Durante el desarrollo se trabajó en la forma en la que se iba a comunicar el brazo robótico con el entorno virtual realizado en el software Blender y realizar su acople final de todas sus partes para tener el producto final con sus aplicaciones y tareas definidas al comienzo del proyecto

## 18. ESQUEMA METODOLÓGICO



Flujograma 1 : ESQUEMA METODOLÓGICO

## 19. CRONOGRAMA



Flujograma 2 : CRONOGRAMA DE TRABAJO

## 20. DESARROLLO DEL PROYECTO

Durante el desarrollo del proyecto se llevó a cabo diferentes procesos desde la recopilación de la información hasta la construcción del exoesqueleto para brazo.

### 20.1 Boceto

Un boceto es un dibujo realizado de forma esquemática con la finalidad de plasmar ideas y detalles de cómo queremos que sea el prototipo y el producto final, realizado a mano alzada con las diferentes perspectivas y vistas del proyecto, desde este punto parte el proceso de diseño el cual debe superar las etapas hasta llegar a su culminación.

En el boceto se plasmaron las características que se requerían para el brazo y los grados de libertad necesarios para su funcionamiento.

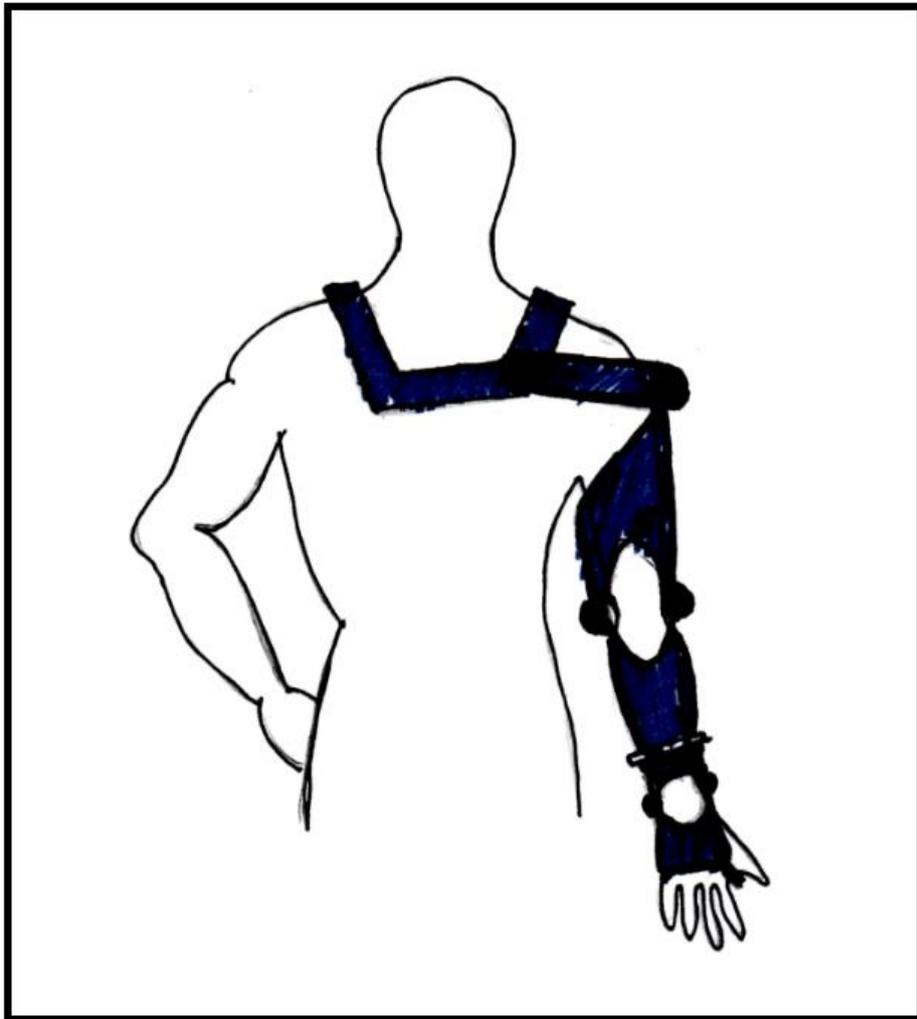
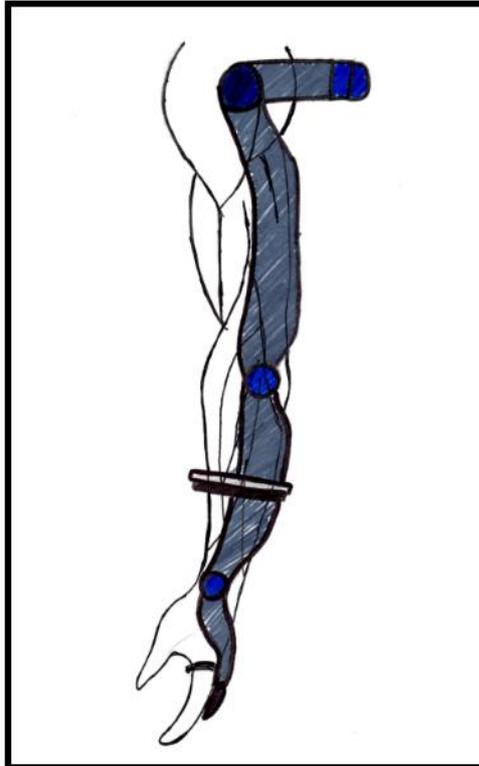


Ilustración 29 : EXOESQUELETO DE BRAZO COMPLETO.



**Ilustración 30 : EXOESQUELETO DE BRAZO VITA LATERAL.**



**Ilustración 31 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA MUÑECA-GRIPPER.**

## 20.2 DISEÑO EN CAD

En el proceso de desarrollo del proyecto se partió desde los bocetos donde se plasmaron las ideas básicas, el primer modelo en CAD se plantearon partes que cumplieran con la mecánica y los movimientos para su buen funcionamiento, en esta etapa se definieron las formas que tomaría el brazo.

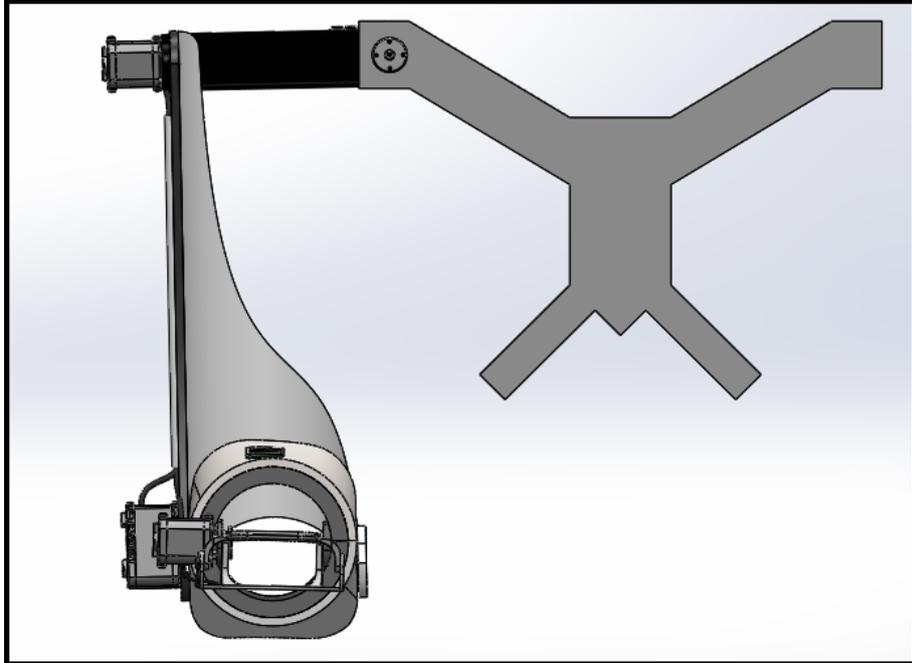


Ilustración 32 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA FRONTAL CAD.

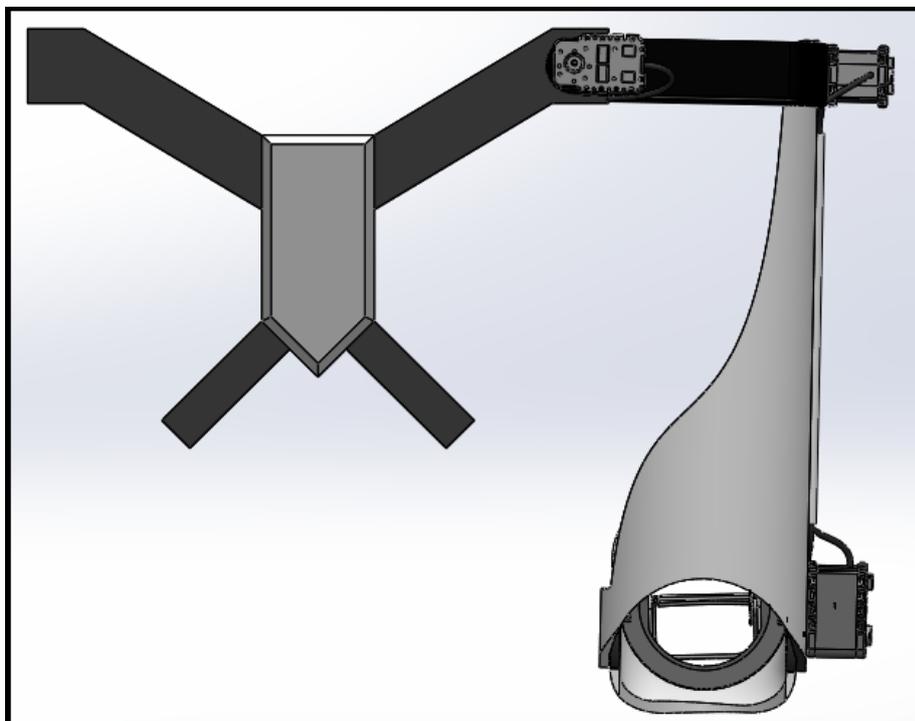
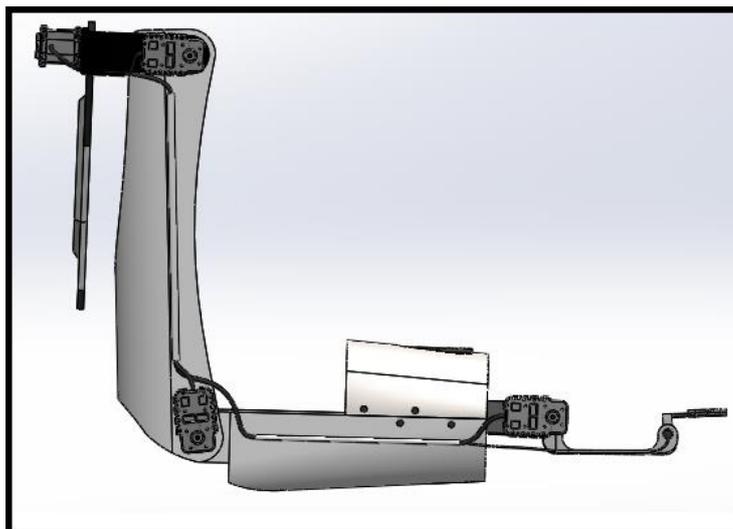
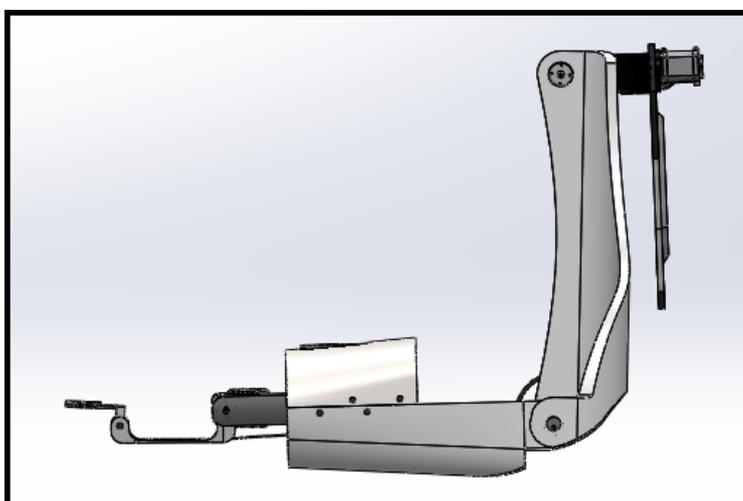


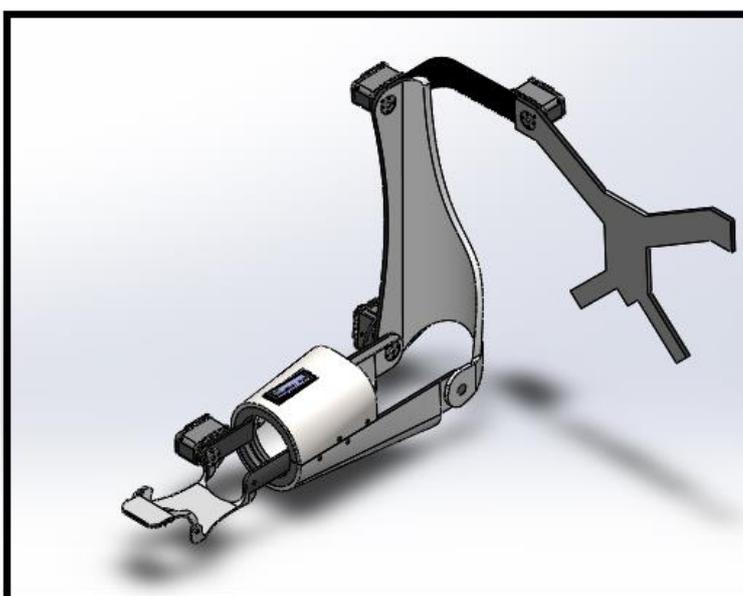
Ilustración 33 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA POSTERIOR CAD.



**Ilustración 34 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA IZQUIERDA CAD.**

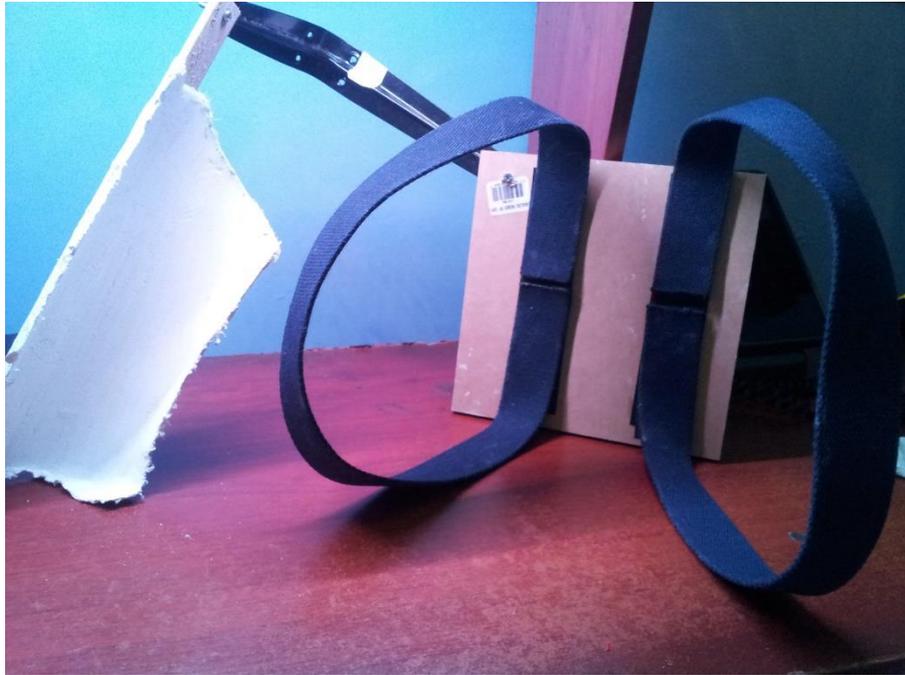


**Ilustración 35 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA DERECHA CAD.**



**Ilustración 36 : EXOESQUELETO DE BRAZO VISTA ISOMÉTRICA CAD.**

Este diseño fue presentado en el primer informe y sustentación, cuando se retomó el proyecto se analizaron otros posibles problemas que llegara a presentar el brazo en su funcionamiento y construcción por este motivo se realizó un prototipo con materiales económicos con la finalidad de estandarizar las medidas y que se encuentren en el comercio local con el fin de minimizar los costos de construcción.



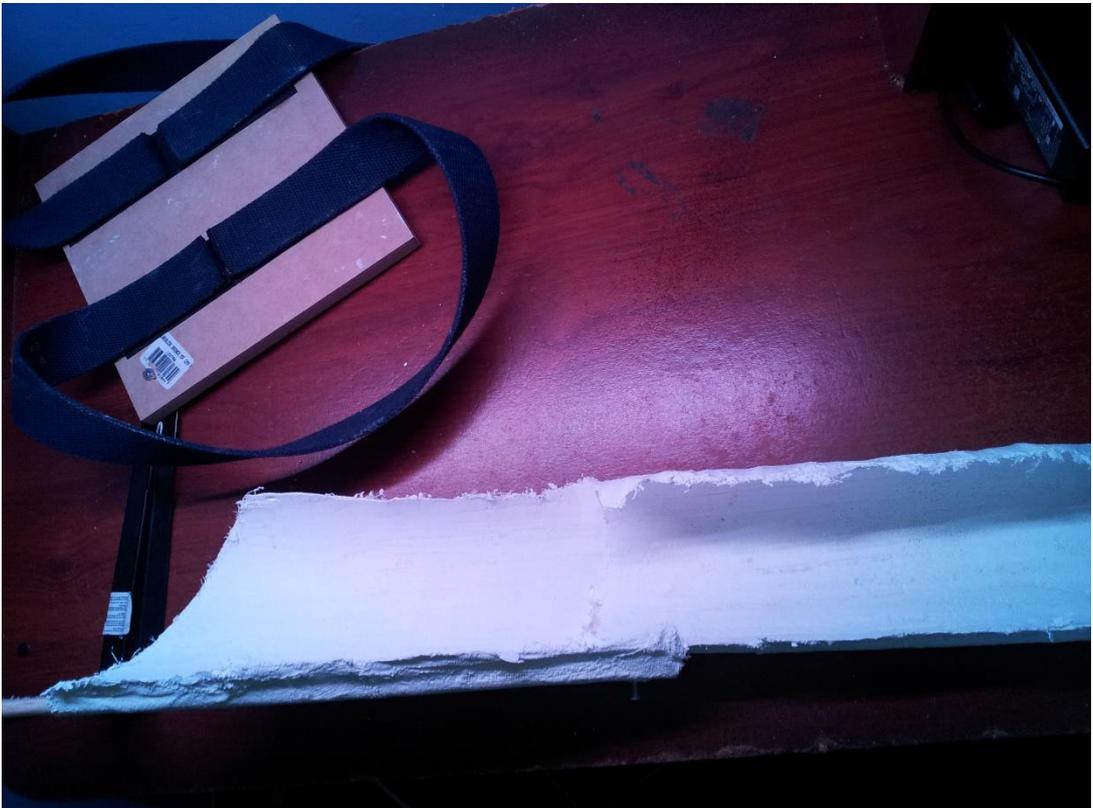
**Ilustración 37 : PROTOTIPO PARA PRUBAS VISTA FRONTAL**



**Ilustración 38 : PROTOTIPO PARA PRUEBAS VISTA SUPERIOR**

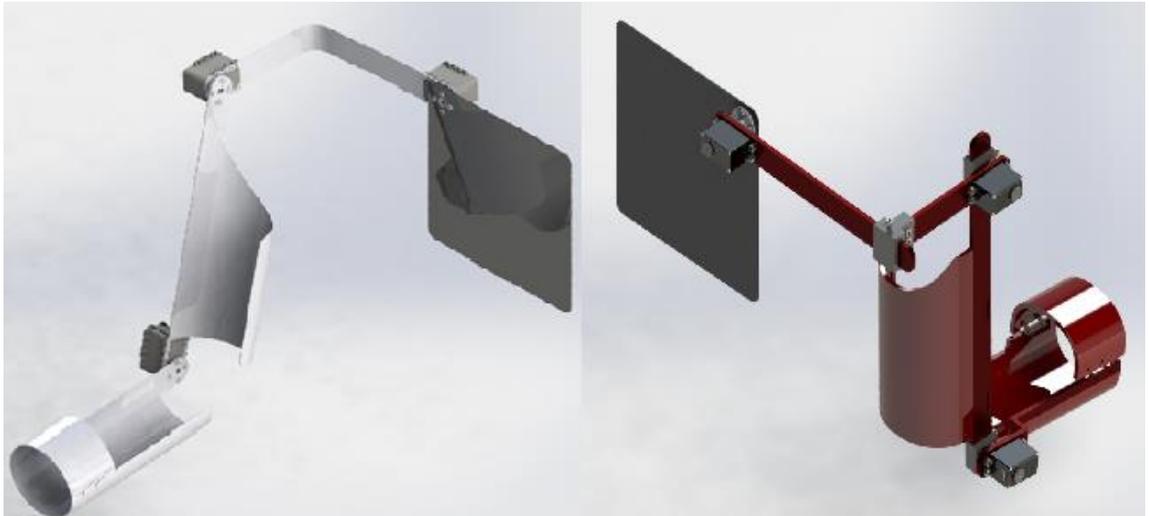


**Ilustración 39 : PROTOTIPO PARA PRUEBAS VISTA HOMBRO**



**Ilustración 40 : PROTOTIPO PARA PRUEBAS VISTA ANTEBRAZO**

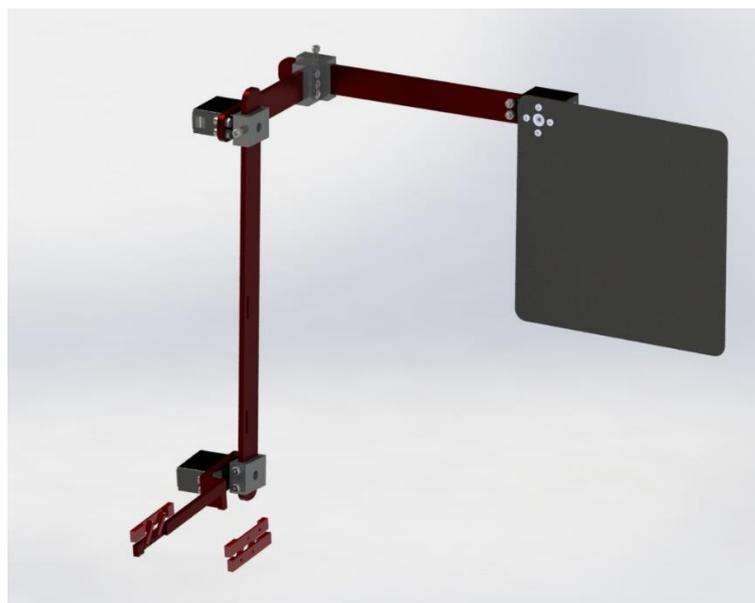
Por medio de este prototipo se realizaron modificaciones al modelo CAD, tomando como sugerencia que las diferentes partes se pudieran desmontar para que ocupara un menor espacio para su almacenamiento y transporte, partiendo de estos requerimientos también se analizó la posibilidad de que las piezas se adaptaran a diferentes morfologías del brazo y formas simples para mejorar su acople.



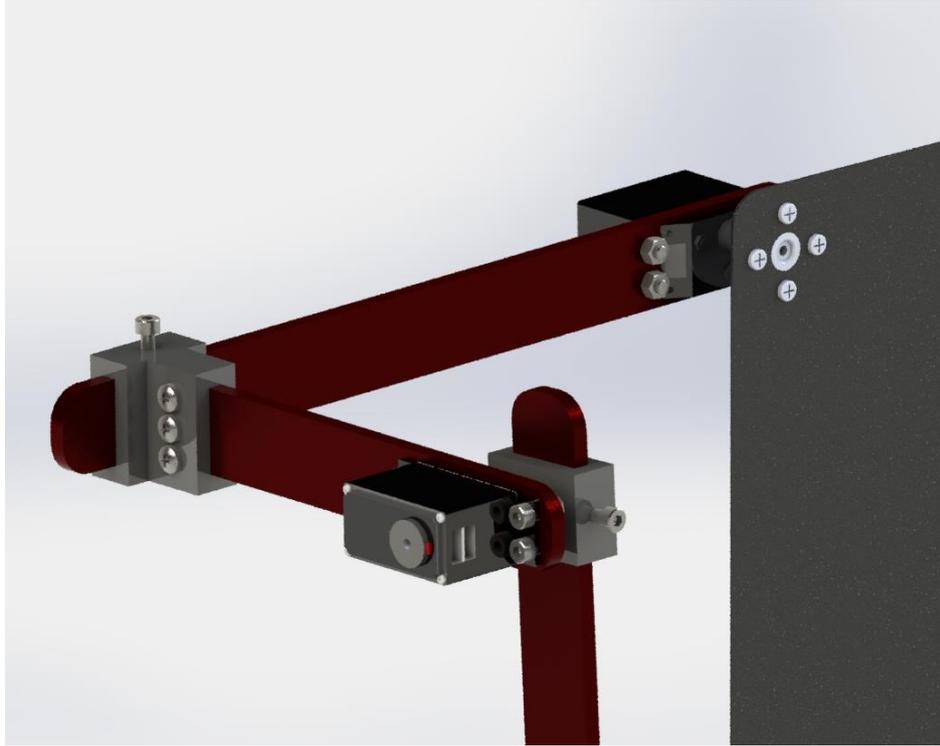
**Ilustración 41 : DISEÑO DE EXOSQUELETO PREVIO A SUGERENCIAS (IZQUIERDA) Y DISEÑO FINAL (DERECHA)**

Las diferencias se pueden apreciar en la ilustración 41, como podemos ver en las uniones de los diferentes miembros del brazo, en los que se encuentran unos acoples que permiten modificar la longitud de las diferentes piezas.

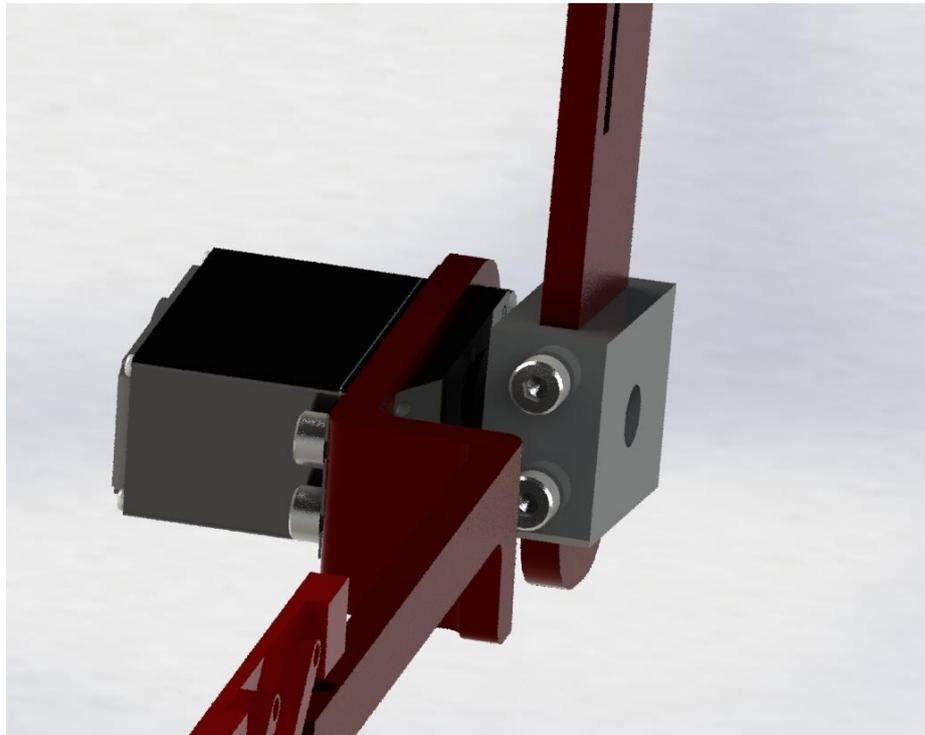
La estructura contará con un esqueleto principal y piezas para su acople al brazo



**Ilustración 42 : ESTRUCTURA PRINCIPAL**



**Ilustración 43 : UNIÓN ESPALDA – HOMBRO**



**Ilustración 44 : UNIÓN CODO**



**Ilustración 45 : PROTOTIPO FINAL**

Los materiales seleccionados para la construcción será platina de aluminio de dimensiones 1 pulgada x  $\frac{1}{4}$  de pulgada que servirán de soporte a los servomotores y al movimiento que realizara el brazo

### 20.3 DISEÑO FINAL

Para la construcción final se realizaron en diferentes lugares las cotizaciones y debido a su alto costo para realizarlo se tomó la decisión de construirlo por mano propia, disminuyendo considerablemente el tiempo.



**Ilustración 46 : LAMINAS CORTADAS PARA LOS SERVOS**



**Ilustración 47 : SERVOMOTORES ACOPLADOS**



**Ilustración 48 : BLOQUES Y LAMINAS CORTADAS**



**Ilustración 49 : BLOQUE ESPALDA-HOMBRO**



**Ilustración 50 : BLOQUE HOMBRO-BRAZO**



**Ilustración 51 : PERFORACIÓN PARA LA LÁMINA**



**Ilustración 52 : PERFORACIÓN PARA UNIONES**



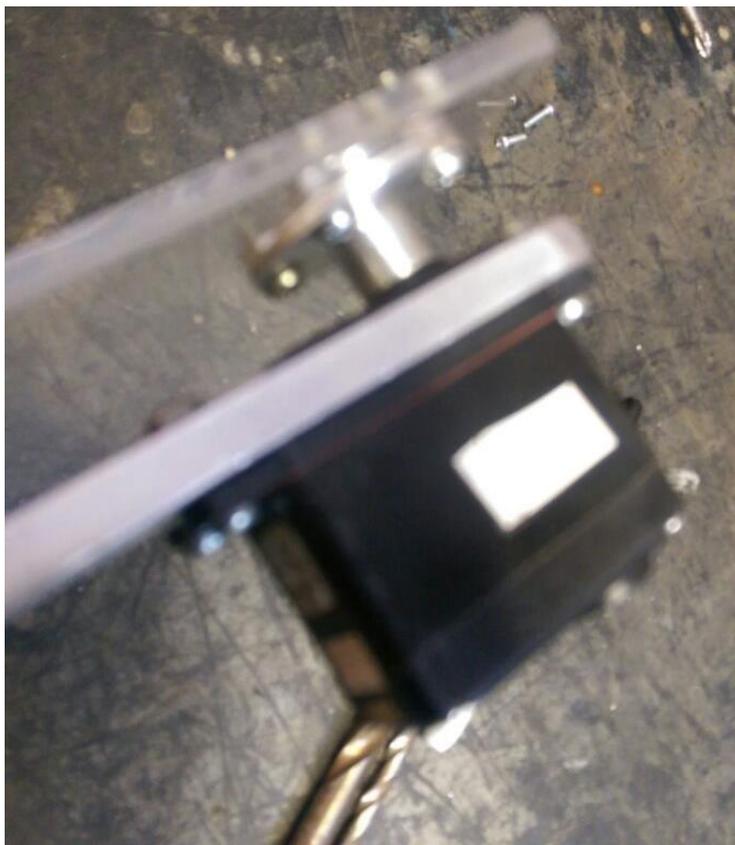
**Ilustración 53 : PERFORACIÓN PARA UNIÓN**



**Ilustración 54 : ACOPLA SERVO MOTORES Y UNIÓN**



**Ilustración 55 : LÁMINAS Y BLOQUES**



**Ilustración 56 : UNIÓN SERVOMOTOR HOMBRO**



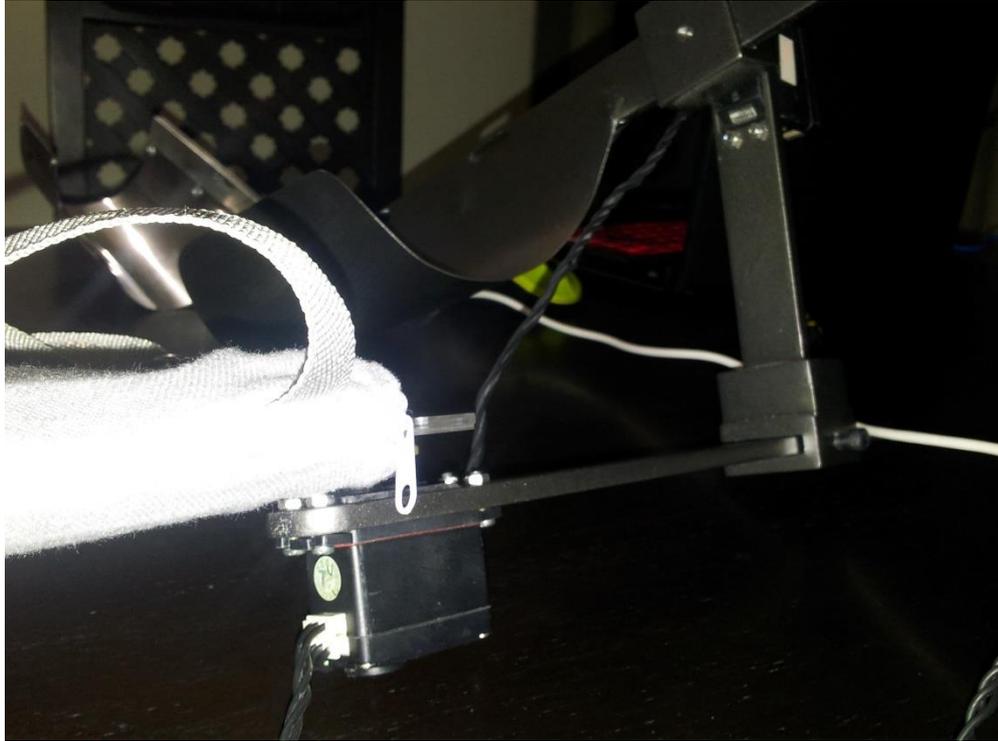
**Ilustración 57 : DOBLEZ LAMINA PARA BRAZO**



**Ilustración 58 : EJEMPLO DE ENSAMBLE DE PIEZAS**



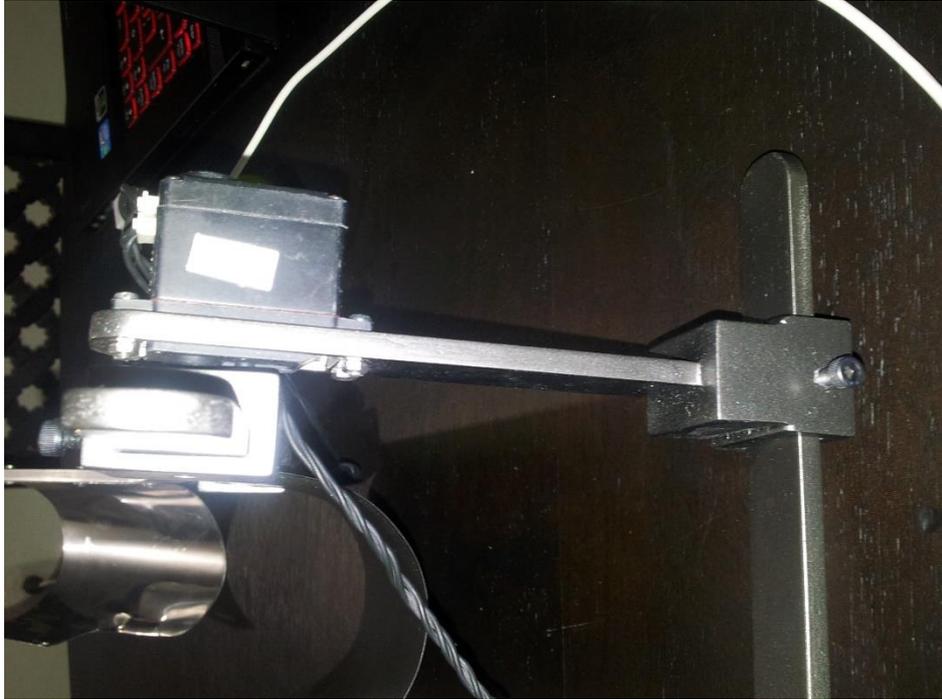
**Ilustración 59 : EJEMPLO DE ENSAMBLE DE PIEZAS**



**Ilustración 60 : ENSAMBLAJE FINAL VISTA SUPERIOR**



**Ilustración 61 : ENSAMBLAJE FINAL ACOPLE PRINCIPAL**



**Ilustración 62 : ENSAMBLAJE FINAL ACOPLES**



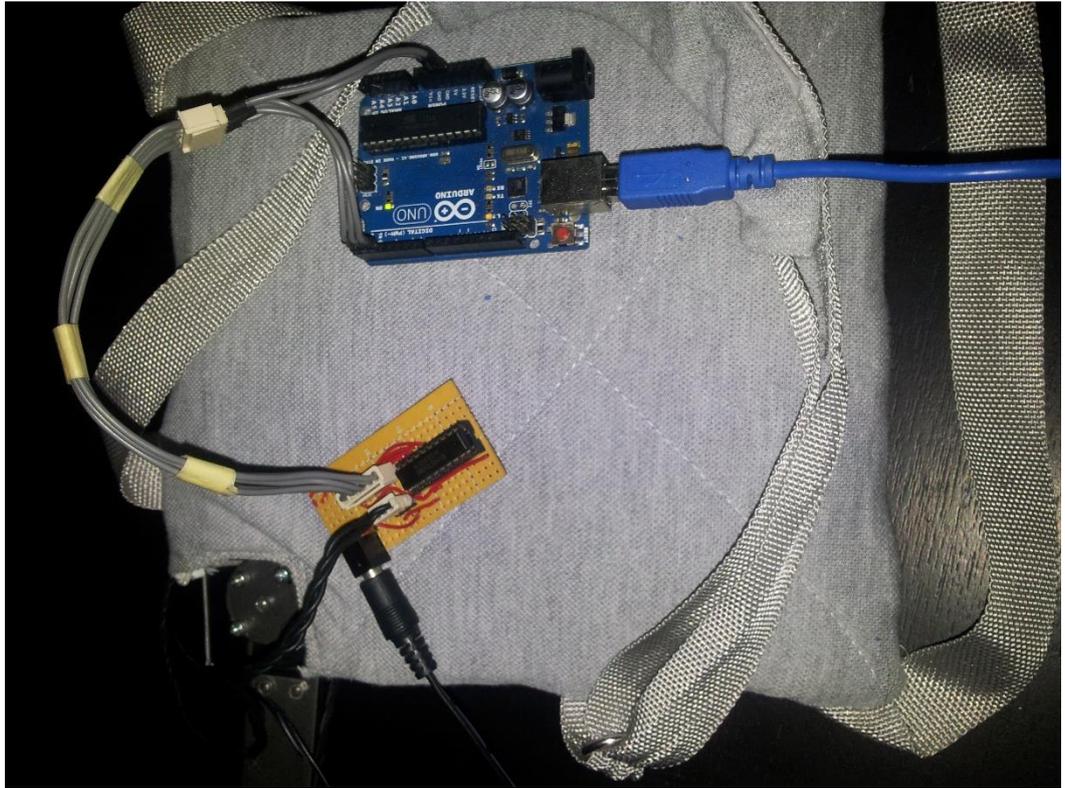
**Ilustración 63 : ENSAMBLAJE FINAL PARTE SUPERIOR**



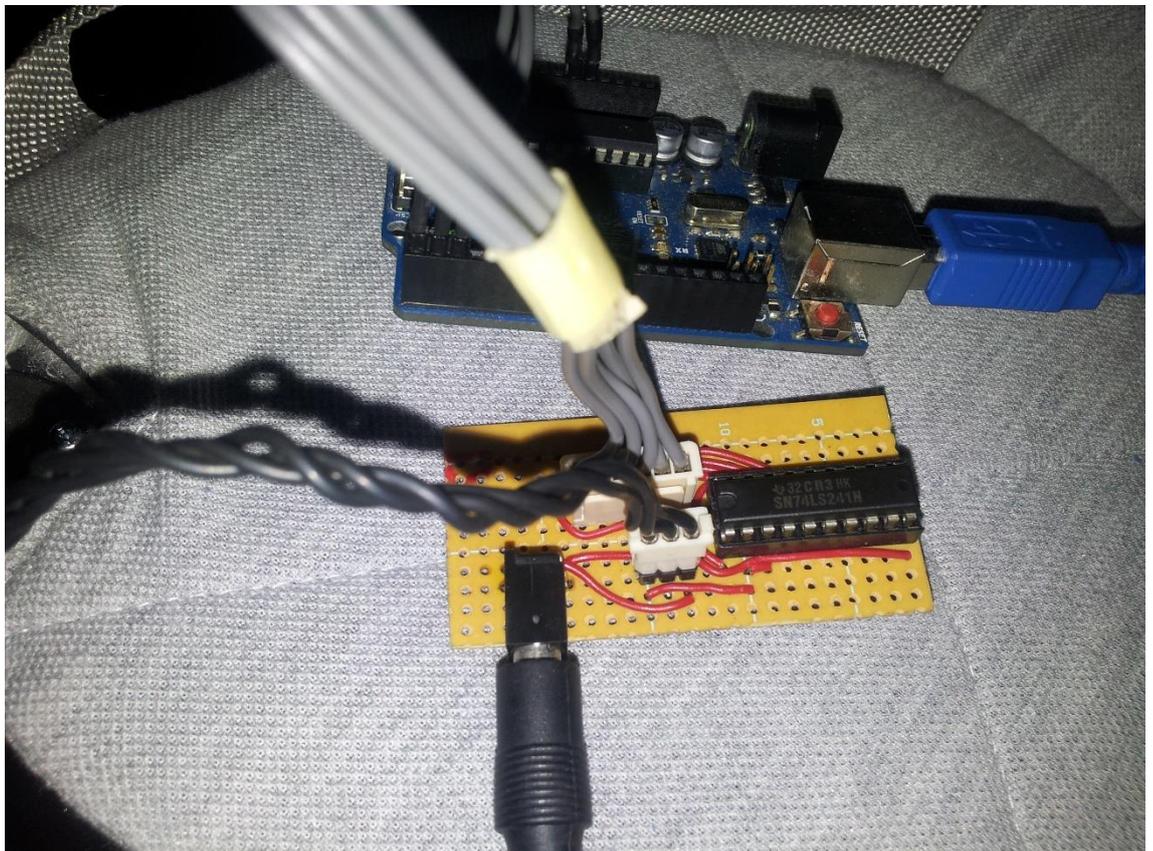
**Ilustración 64 : ENSAMBLAJE FINAL ACOPLE SERVO-MOTORES**



**Ilustración 65 : ENSAMBLAJE FINAL ANTEBRAZO**



**Ilustración 66 : COMUNICACIÓN SERVOMOTORES Y ARDUINO**



**Ilustración 67 : COMUNICACIÓN SERVOMOTORES Y ARDUINO**



**Ilustración 68 : PIEZAS QUE INTEGRAN EL EXOESQUELETO**



**Ilustración 69 : ENSAMBLE FINAL PROTOTIPO**



**Ilustración 70 : PROTOTIPO FINAL VISTA ANTERIOR**



**Ilustración 71 PROTOTIPO FINAL VISTA LATERAL**



**Ilustración 72: PROTOTIPO FINAL VISTA FRONTAL**



**Ilustración 73: PROTOTIPO FINAL VISTA LATERAL**

## 20.4 Cinemática directa

Consiste en determinar la posición y orientación del extremo final del robot con respecto al sistema de la base del robot a partir de conocer los valores de las articulaciones y los parámetros geométricos.

Es una matriz  $T$  de  $4 \times 4$  que representa la transformación de un vector de un sistema de coordenadas a otro.

- SubMatriz de Rotación
- SubMatriz de Traslación
- SubMatriz de Perspectiva
- SubMatriz de Escalado Global

Matriz de transformación homogénea de traslación

$$T(p) = \begin{pmatrix} 1 & 0 & 0 & Px \\ 0 & 1 & 0 & Py \\ 0 & 0 & 1 & Pz \\ 0 & 0 & 0 & 1 \end{pmatrix}$$

Matrices de transformación homogénea de rotación

$$R_x = \begin{bmatrix} 1, & 0, & 0, & 0 \\ 0, & \cos(\alpha), & -\sin(\alpha), & 0 \\ 0, & \sin(\alpha), & \cos(\alpha), & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_y = \begin{bmatrix} \cos(\sigma), & 0, & \sin(\sigma), & 0 \\ 0, & 1, & 0, & 0 \\ -\sin(\sigma), & 0, & \cos(\sigma), & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 1 \end{bmatrix}$$

$$R_z = \begin{bmatrix} \cos(\tau), & -\sin(\tau), & 0, & 0 \\ \sin(\tau), & \cos(\tau), & 0, & 0 \\ 0, & 0, & 1, & 0 \\ 0, & 0, & 0, & 1 \end{bmatrix}$$

$$M_{FINAL} = T_0 * R_{Z1} * T_{X1} * T_{Z1} * R_{X1} * T_{Y1} * R_{X2} * T_{Z2} * R_{Z2} * T_{Z3} * R_{X3} * T_{Z4}$$

MFINAL =

1	0	0	-18
0	1	0	-30
0	0	1	57
0	0	0	1

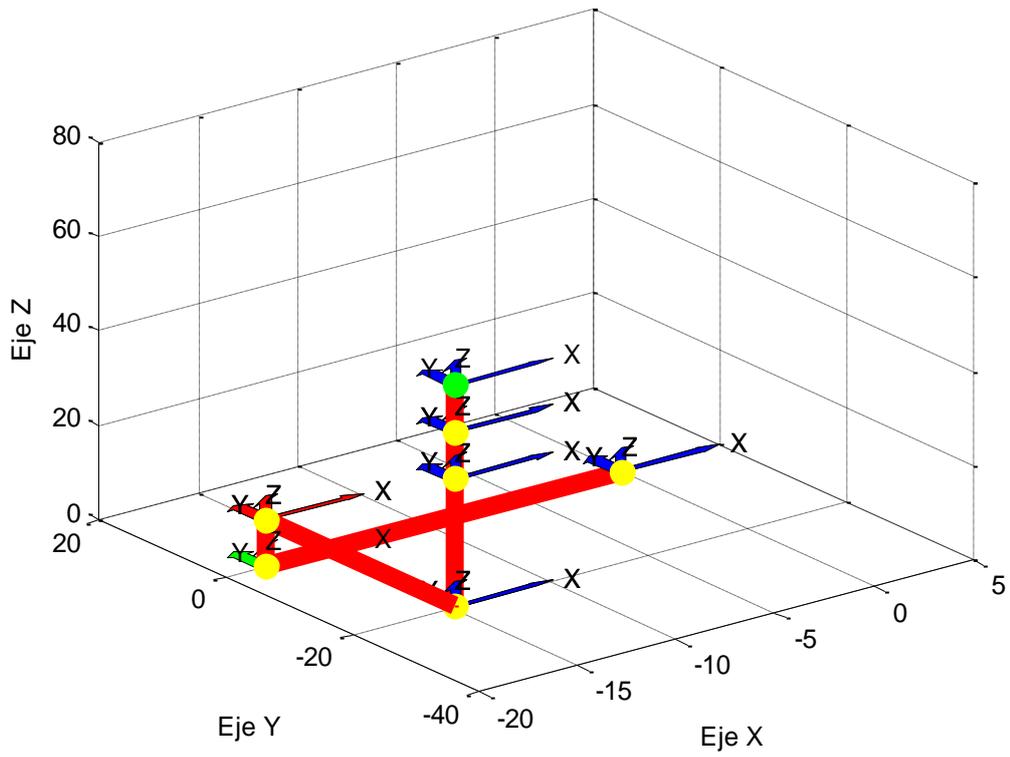
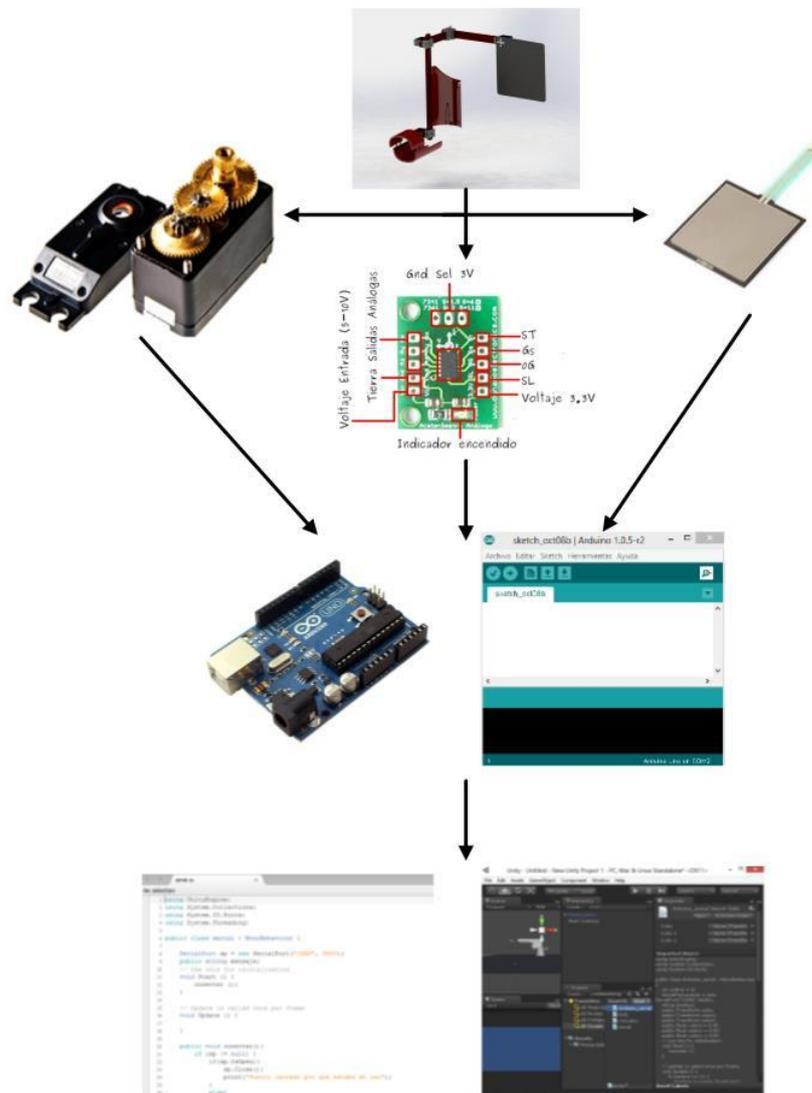


Figura 24: CINEMÁTICA DIRECTA MATLAB

## 20.5 ESQUEMA DE FUNCIONAMIENTO

La comunicación serial consiste en el envío de bits de información de manera secuencial, esto es un bit a la vez y a un ritmo acordado entre el emisor y receptor, la comunicación serial se utiliza para la comunicación entre la placa Arduino, el ordenador u otros dispositivos, estas placas tienen al menos un puerto serie.

La comunicación del brazo se realiza entre sensores, la placa Arduino, ordenador y la interfaz de realidad virtual; al acoplarse el exoesqueleto al brazo del usuario los sensores como servomotores, acelerómetro y el sensor de fuerza piezo eléctrico perciben las diferentes variaciones presentes, estos datos son enviados a la tarjeta encargada de recibir y hacer la matemática para enviar la información y la recibe el código en C SHARP y se integran con el entorno de realidad virtual realizado en Blender en la plataforma de Unity, que realiza la parte final de la comunicación y su visualización.



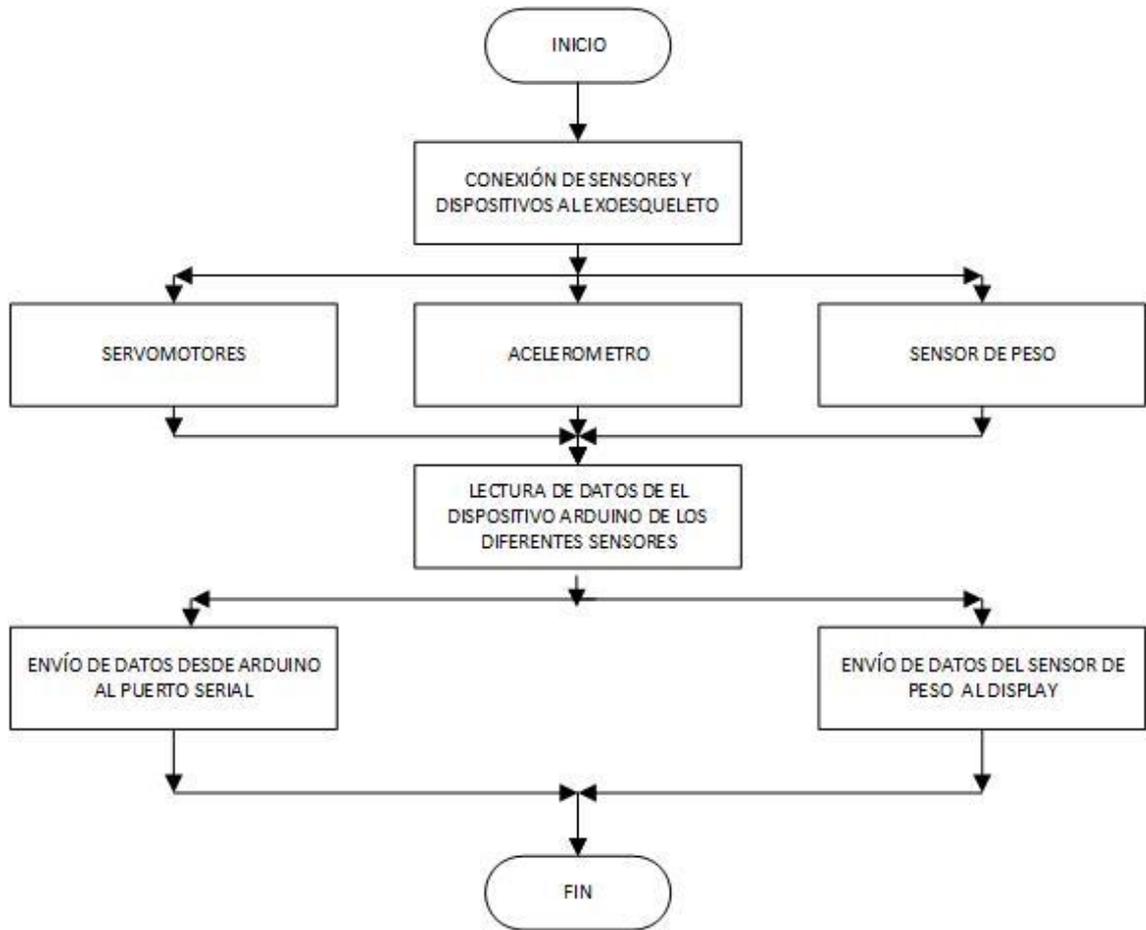
Flujograma 3 : DIAGRAMA DE COMUNICACIÓN

## **20.6 RECEPCIÓN DE LA SEÑAL DE LOS SENSORES Y ENVIÓ DE LOS DATOS PARA REALIZAR EL MOVIMIENTO EN EL ENTORNO VIRTUAL.**

Arduino es una plataforma de software libre basada en una placa con un micro controlador y un entorno de desarrollo con un software que implementa el uso del lenguaje de programación Processing, cuenta con diferentes entradas y salidas digitales, análogas, alimentación de energía a 5V y puertos para la comunicación serial, este software cuenta con unas librerías para realizar tareas pre establecidas, para el desarrollo del proyecto se usaron dos de estas librerías, DynamixelSerial encargado de la comunicación serial de los servo motores y LiquidCrystal para la visualización del peso.

Los servomotores encargados de la lectura de los tres primeros grados de libertad (Los dos grados de libertad pertenecientes al hombro y un grado de el codo) envía por medio de un buffer SN74LS241N la comunicación por los puertos Rx y Tx encargados de recibir y enviar los datos del movimiento, estos servomotores se les realiza una identificación previa y su lectura por medio de la función `Dynamixel.readPosition(#ID)` y haciendo su cambio al rango de 0 a 360 con la función `map`.

El acelerómetro se encarga de realizar la medición de los ángulos de los dos últimos grados de libertad (muñeca e inclinación de la mano), este sensor es de tipo analógico y su lectura se realiza por medio de los puerto análogos, se realiza su calibración, el sensor piezo eléctrico encargado de medir el peso es del tipo resistivo para esto se realiza un divisor de voltaje para obtener una salida que pueda ser leída por la tarjeta y para ultimo ser visualizado en la pantalla LCD.



**Flujograma 4 : ALGORITMO ARDUINO**

## **20.7 C-SHARP (RECEPCIÓN DE LOS DATOS DE ARDUINO)**

Para su inicialización se realiza el llamado de las librerías necesarias para la lectura de los datos enviados por el puerto serial, los puertos de entrada y salida y el motor de realidad virtual, se configura el puerto por el que se están enviando los datos, se realiza el cambio del tipo de datos de string a flotante para poder realizar la modificación de los datos de los ángulos del brazo virtual.

## **20.8 MODELO DE REALIDAD VIRTUAL EN BLENDER**

Blender es un programa informático multi plataforma, dedicado especialmente al modelado, iluminación, renderizado, animación y creación de gráficos tridimensionales. También de composición digital utilizando la técnica procesal de nodos, edición de vídeo, escultura (incluye topología dinámica) y pintura digital. En Blender, además, se puede desarrollar vídeo juegos ya que posee un motor de juegos interno.



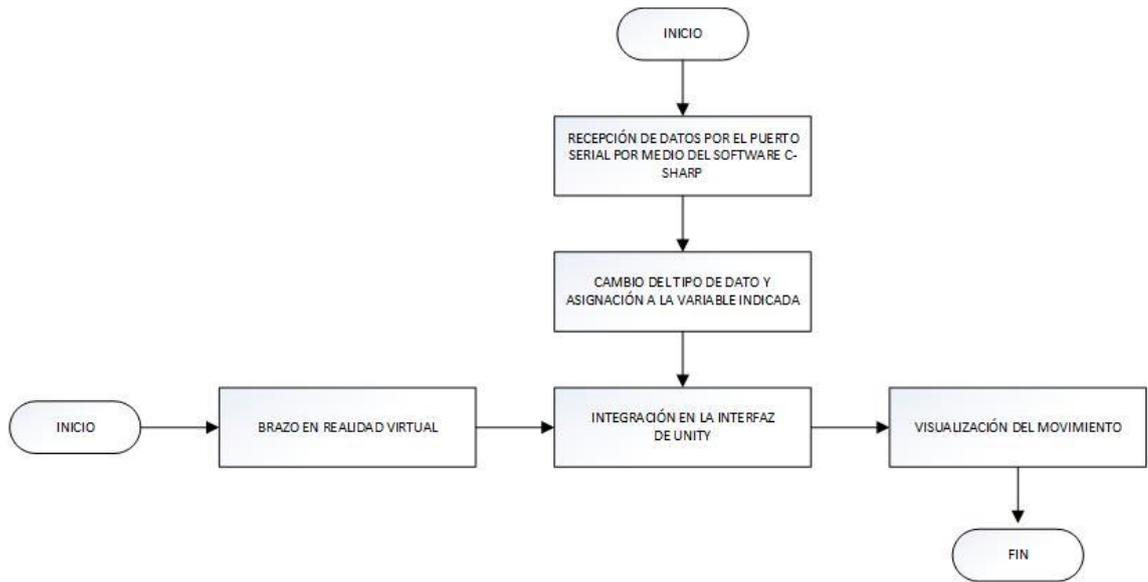
**Ilustración 74 : BRAZO KUKA - BLENDER**

Esta plataforma es la encargada de realizar el modelo de realidad virtual que luego se integrará con la recepción de los datos en Unity.

## **20.9 SOFTWARE UNITY**

Unity es un motor de videojuego multiplataforma creado por Unity Technologies. Unity está disponible como plataforma de desarrollo para Microsoft Windows y OS X, y permite crear juegos para Windows, OS X, Linux, Xbox 360, PlayStation 3, PlayStation Vita, Wii, Wii U, iPad, iPhone, Android y Windows Phone. Gracias al plugin web de Unity, también se pueden desarrollar videojuegos de navegador para Windows y Mac. Desde el sitio web oficial se pueden descargar dos versiones: Unity y Unity Pro.

Esta plataforma vincula el software en C SHARP y Blender para realizar la visualización y modificaciones de movimiento y ángulos realizada por el brazo háptico en el entorno virtual



**Flujograma 5 : INTERFAZ GRAFICA**

## **21. CONCLUSIONES**

En este trabajo se diseñó y se construyó un exoesqueleto de brazo para controlar un manipulador virtual tipo antropomórfico de 5 grados de libertad, debido al alto costo que representaba la construcción del prototipo con varias empresas de la ciudad de Bucaramanga se tomó la decisión de realizar un prototipo económico el cual cumple con las necesidades planteadas del proyecto.

El proyecto se llevó a cabo según como estaba estipulado en el cronograma de manera exitosa cumpliendo con los tiempos de trabajo y realizando cada diseño y modificación requerida.

A lo largo de este proyecto se logró cumplir con todos los objetivos propuestos, respetando las especificaciones planteadas.

## 22. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Prototipo de un robot tipo puma de seis grados de libertad, autores. Peña pardo Alfonso gonky, Perez Samiento Juan Guillermo y Suarez Saavedra Marco. UIS 2005.
- [2] Diseño y construcción de un brazo robótico, Autor: Cesar Rolando Batz Saquimux. Universidad de san carlos de Guatemala 2005.
- [3] Simulador de un manipulador de 6 grados de libertad Jose T. Scarpati, Luis E. Rodríguez, Carmen M. Milller-Karger. Andres L. Granados. Division de Fisica y Matematicas, Departamento de Mecanica. Universidad Simon Bolivar, Valle de Sanenejas, Edo Miranda, Venezuela.
- [4] Diseño y fabricación de un brazo robot de cinco grados de libertad articulado verticalmente, autores. Luigi , Barriga, Benjamin C., Domínguez, Daniel. Pontificia universidad católica del Perú 2007.
- [5] Diseño propio y Construcción de un Brazo Robótico de 5 GDL, Autores: Martínez A. Gloria M., Jáquez O. Sonia A., Rivera M. José y Sandoval R. Rafael. RIEE&C 2008.
- [6] Modelado y análisis de un brazo mecánico, Autor: Jesus Jabonero Gamarra. Universidad Carlos III de Madrid 2010.
- [7] Movimiento del brazo humano: de los tres planos a las tres dimensiones, Autores: Carlos F. Rodríguez, Hugo Quintero, Helena Aschner. Universidad de los Andes, Bogotá D.C. 2005.
- [8] Exoesqueletos para potenciar las capacidades humanas y apoyar la rehabilitación, Autor: Manuel Alejandro Chávez CardonaΨ, Felipe Rodríguez Spitia, Asfur Baradica López Escuela de Ingeniería Eléctrica y Electrónica, Grupo de Investigación PSI, Universidad del Valle, Colombia 2010.
- [9] Diseño de un exoesqueleto mecatrónico de brazo basado en screws y robots paralelos Autor: D. Tibaduiza, N. Chio, J.M. Grosso y M. Anaya.
- [10] Diseño de un exoesqueleto de miembro superior Autor: Alfredo Jose Sanabria Universidad Manuela Beltran Ingenieria Biomedica 2012.
- [11] Tracking Control in an Upper Arm Exoskeleton with Differential Flatness Autor: E. Y. Veslin, M. Dutra, J. Slama, O. Lengerke and M. J. M. Tavera *Universidad de Boyacá, Universidade Federal do Rio de Janeiro, Universidad Autónoma de Bucaramanga Colombia Brazil*

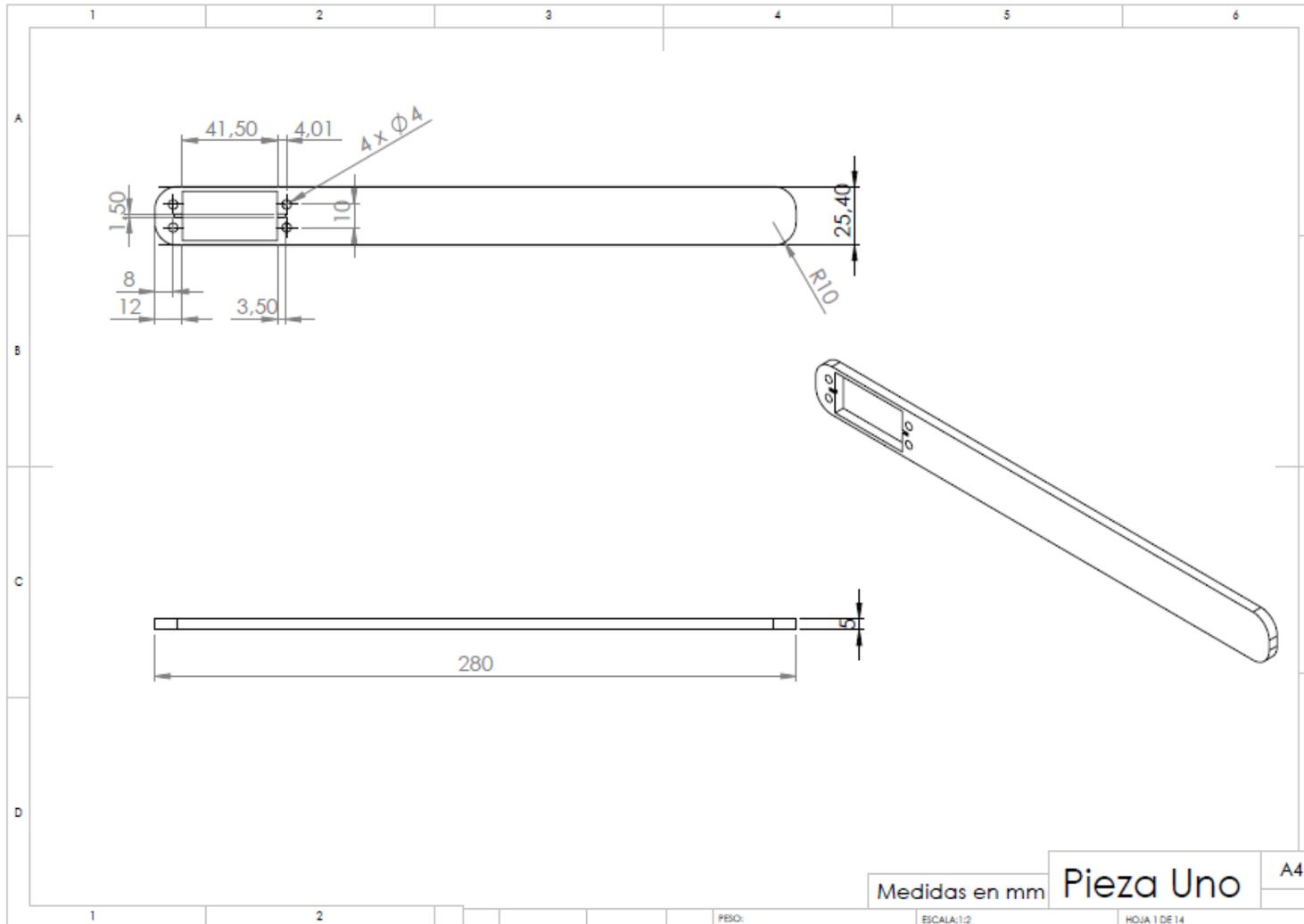
[12] Implementacion de la Sensorica para un exoesqueleto pasivo de miembros inferiores Autor: Ivan Adrian Mendoza Diosaba Universidad Militar Nueva Granada 2011

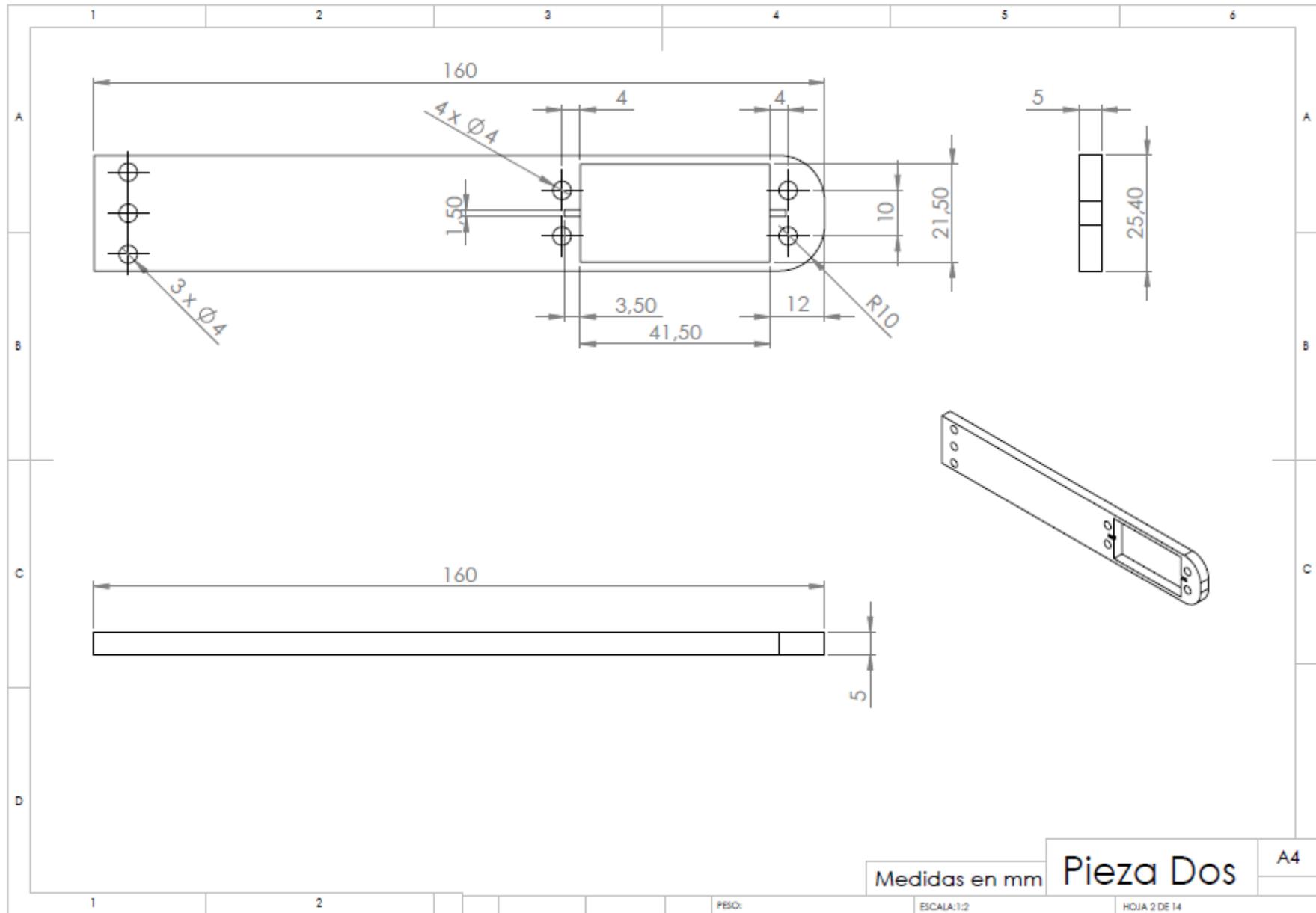
[13] Sistemas de Captura de Movimiento - EXOCAP Autor Mauricio Gómez , Ing. Electrónico. John Nicholls Anzola, Ing. Electrónico. Daniel Barrero, Ing. Sistemas, PhD.

[14]Capitulo 2 TECNOLOGIA HAPTICA.  
<http://htid3.files.wordpress.com/2013/04/tecnologia-haptica.pdf>

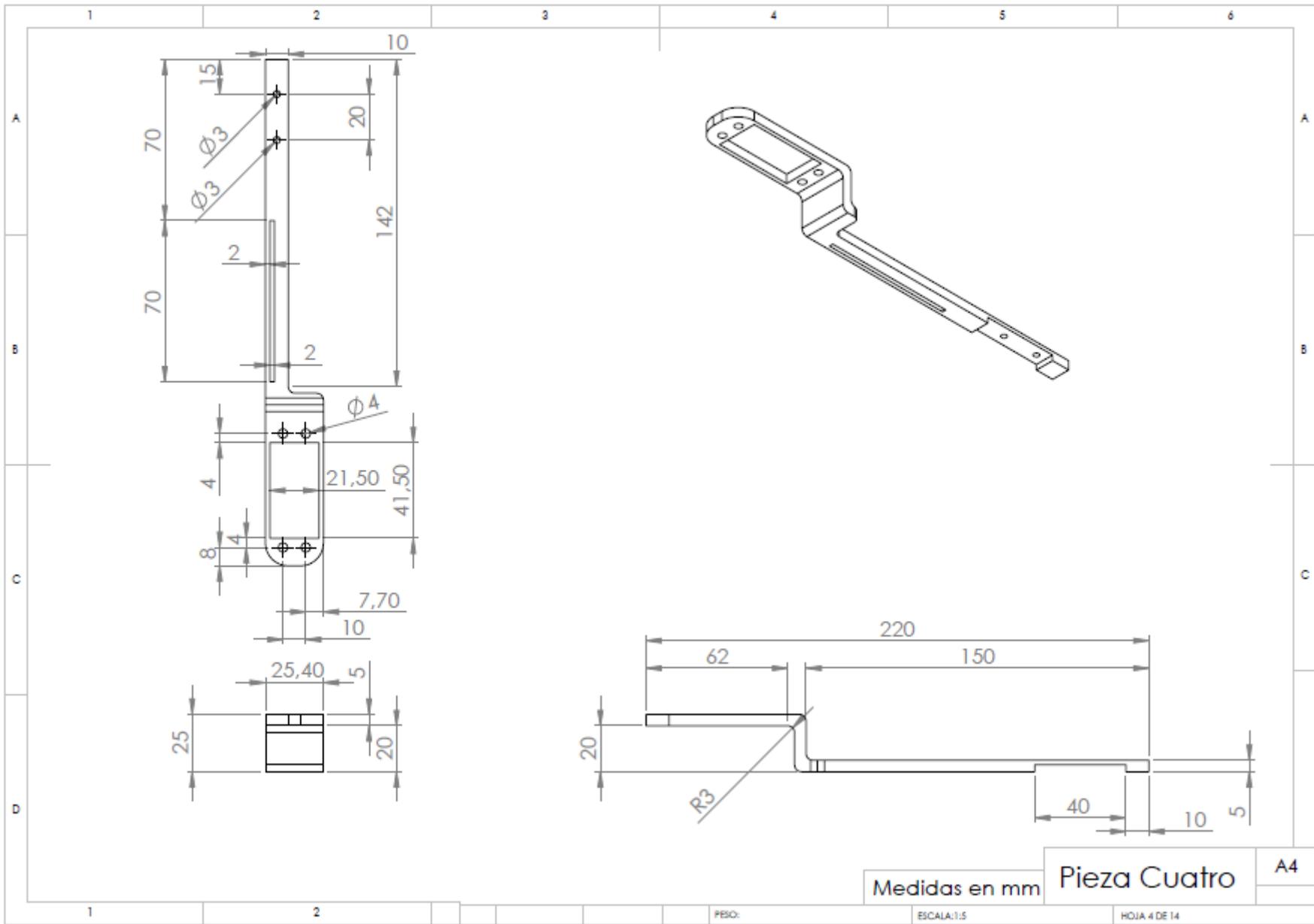
## 23. ANEXOS

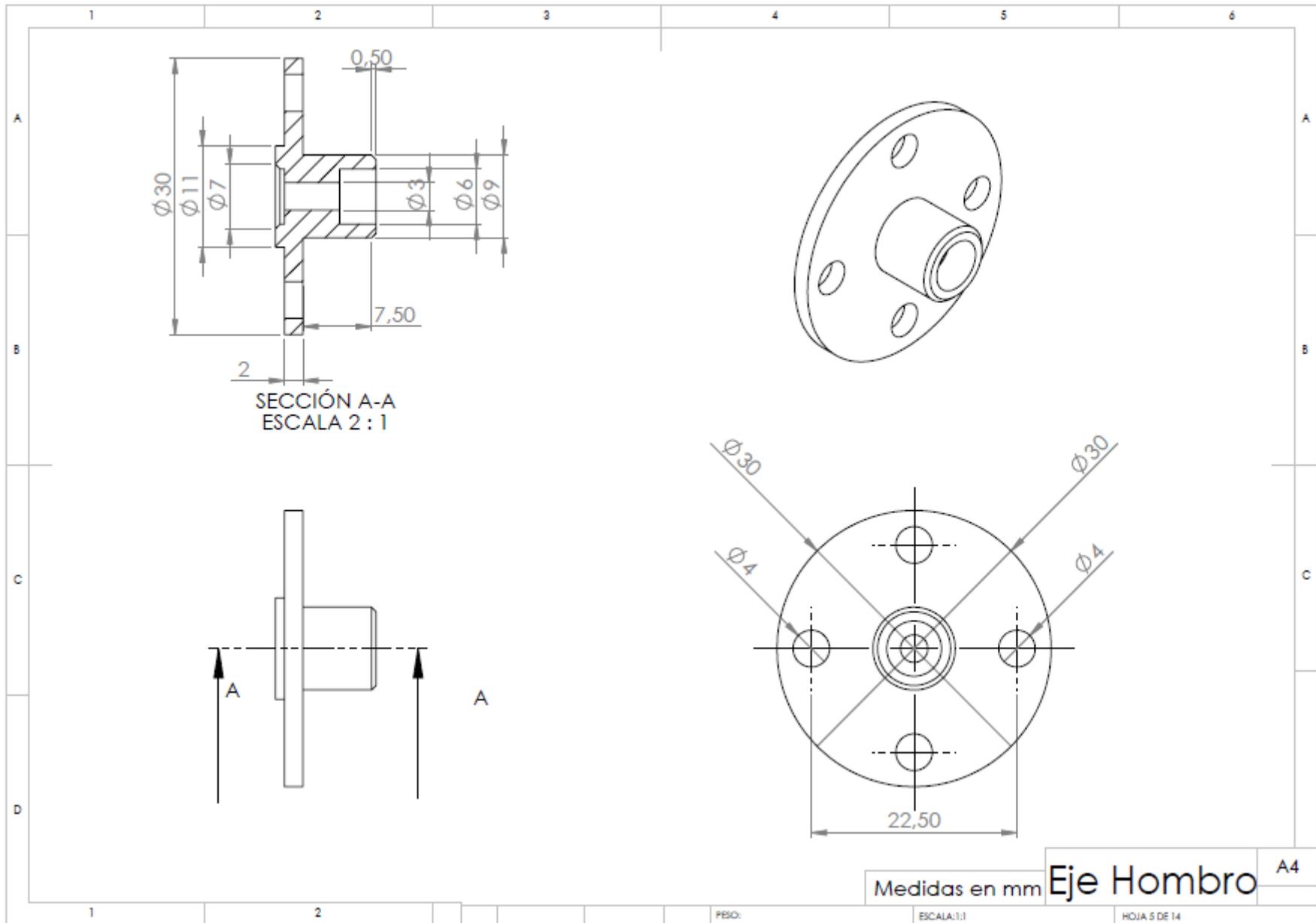
### 23.1 PLANOS

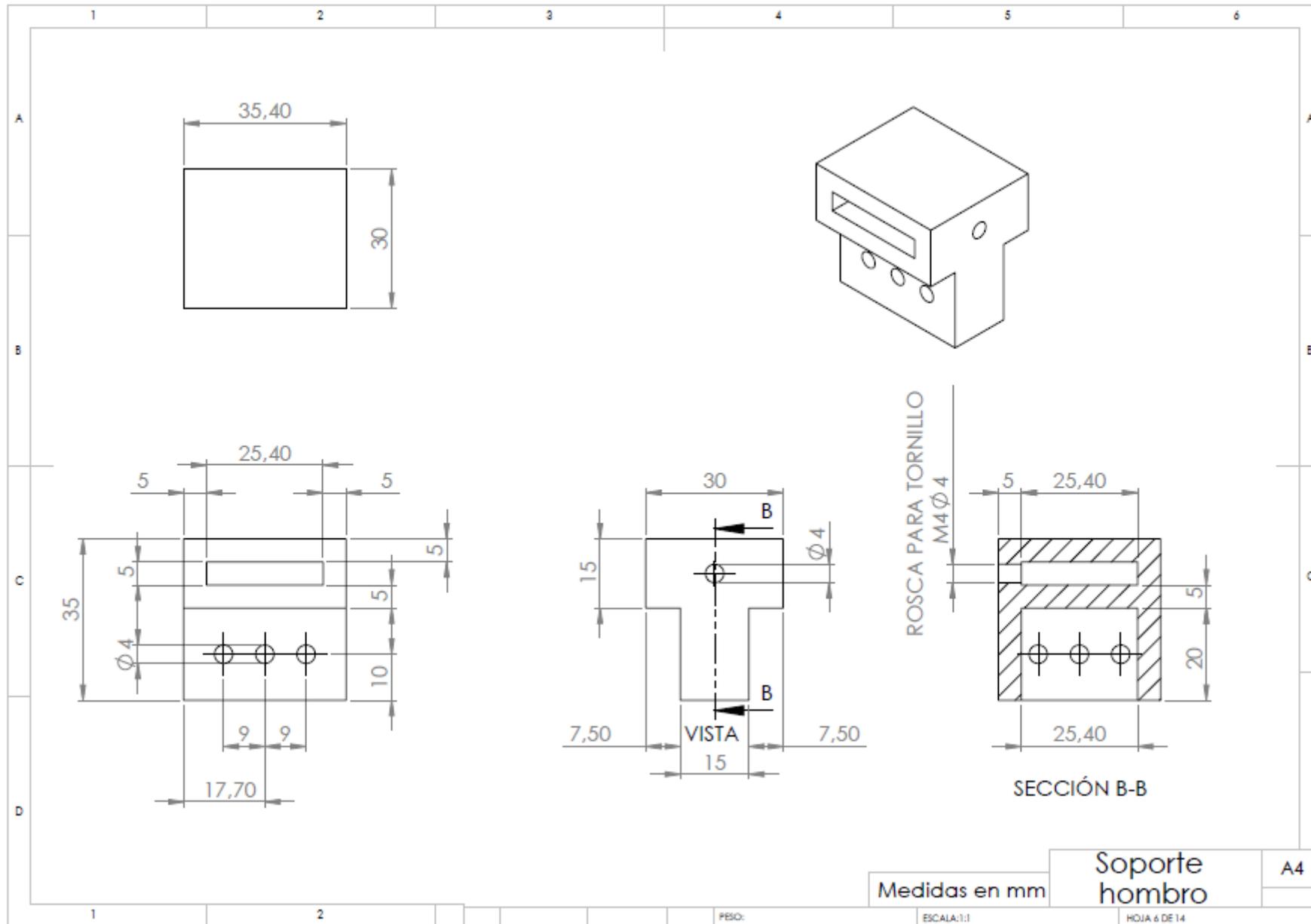


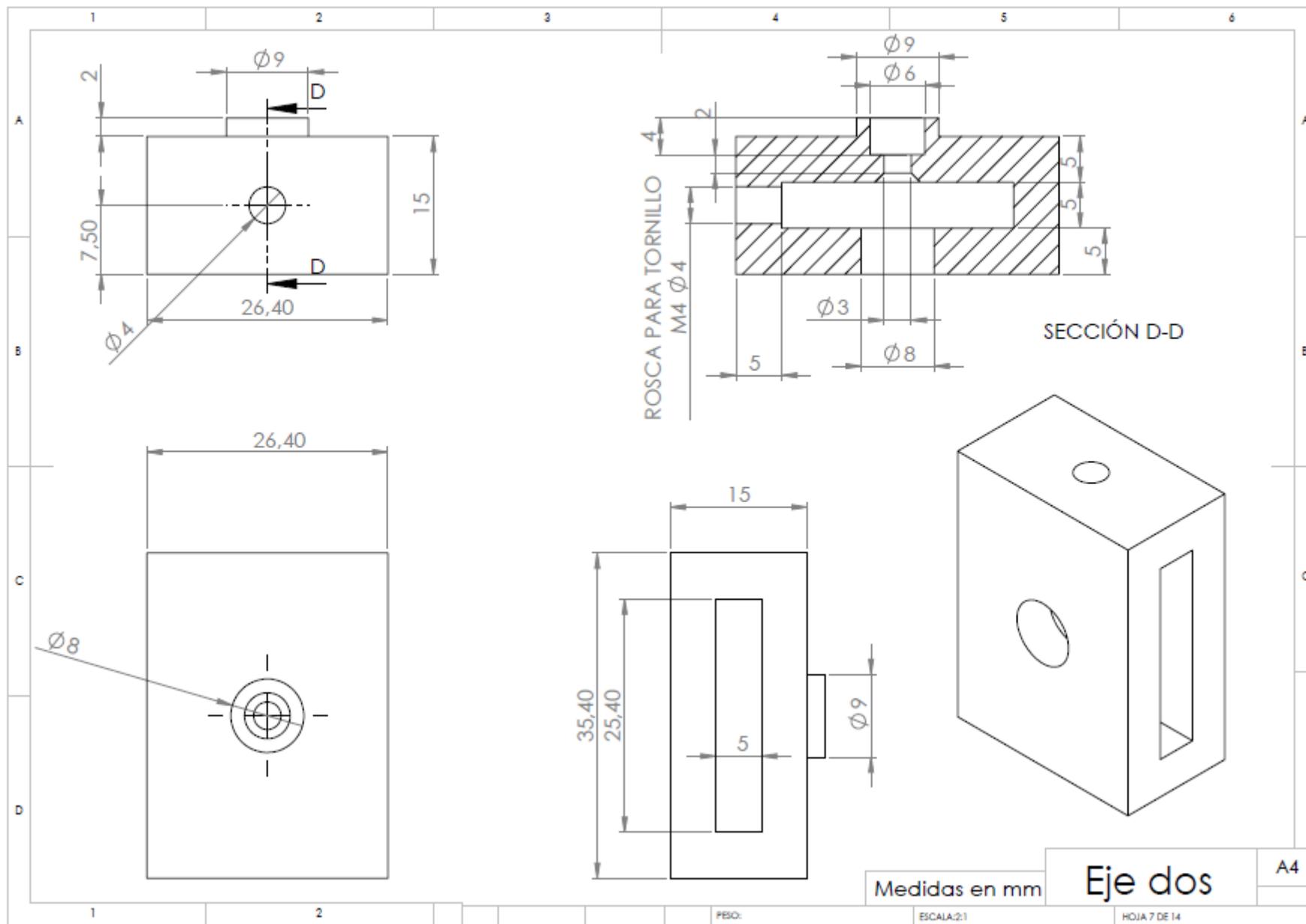




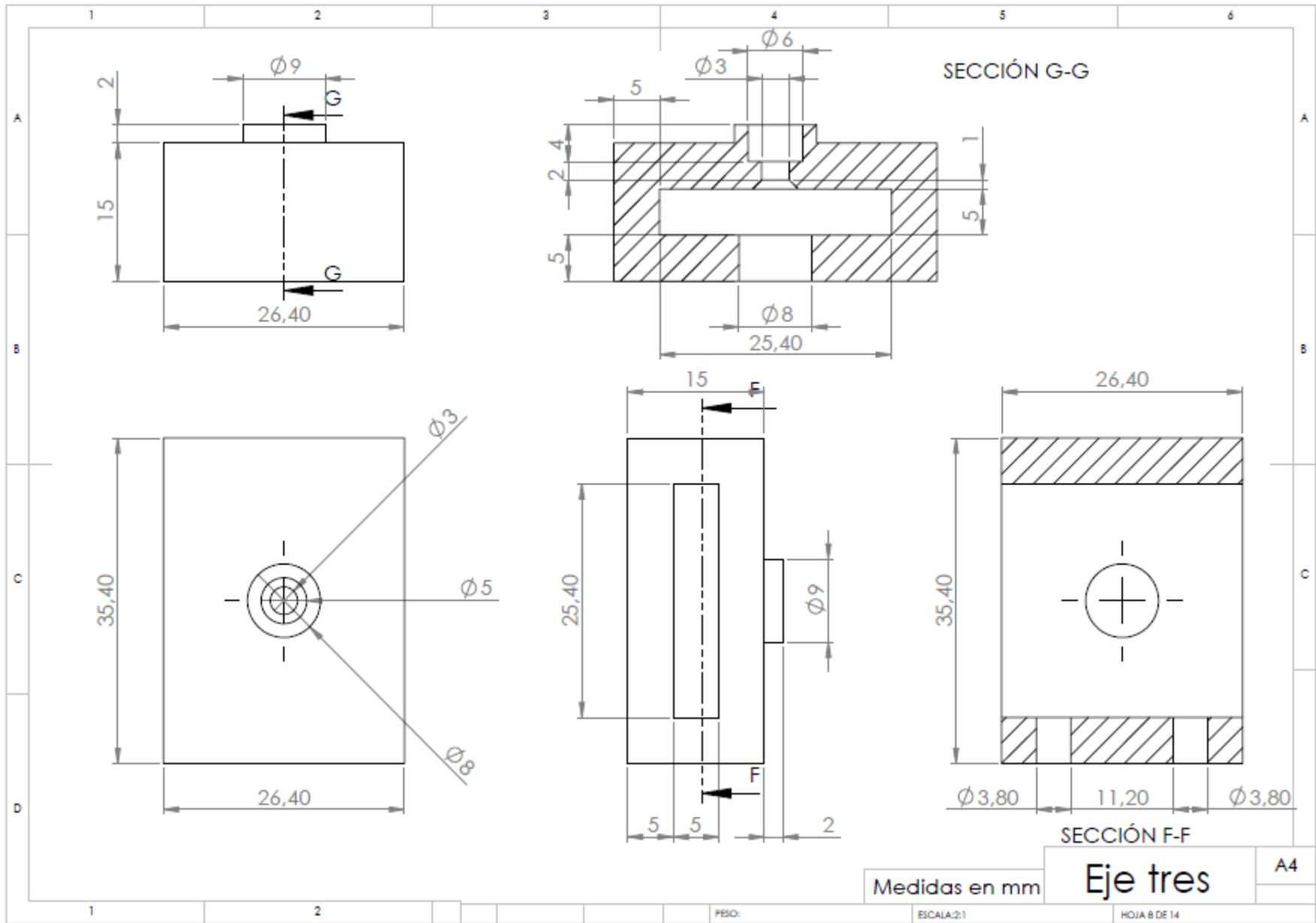


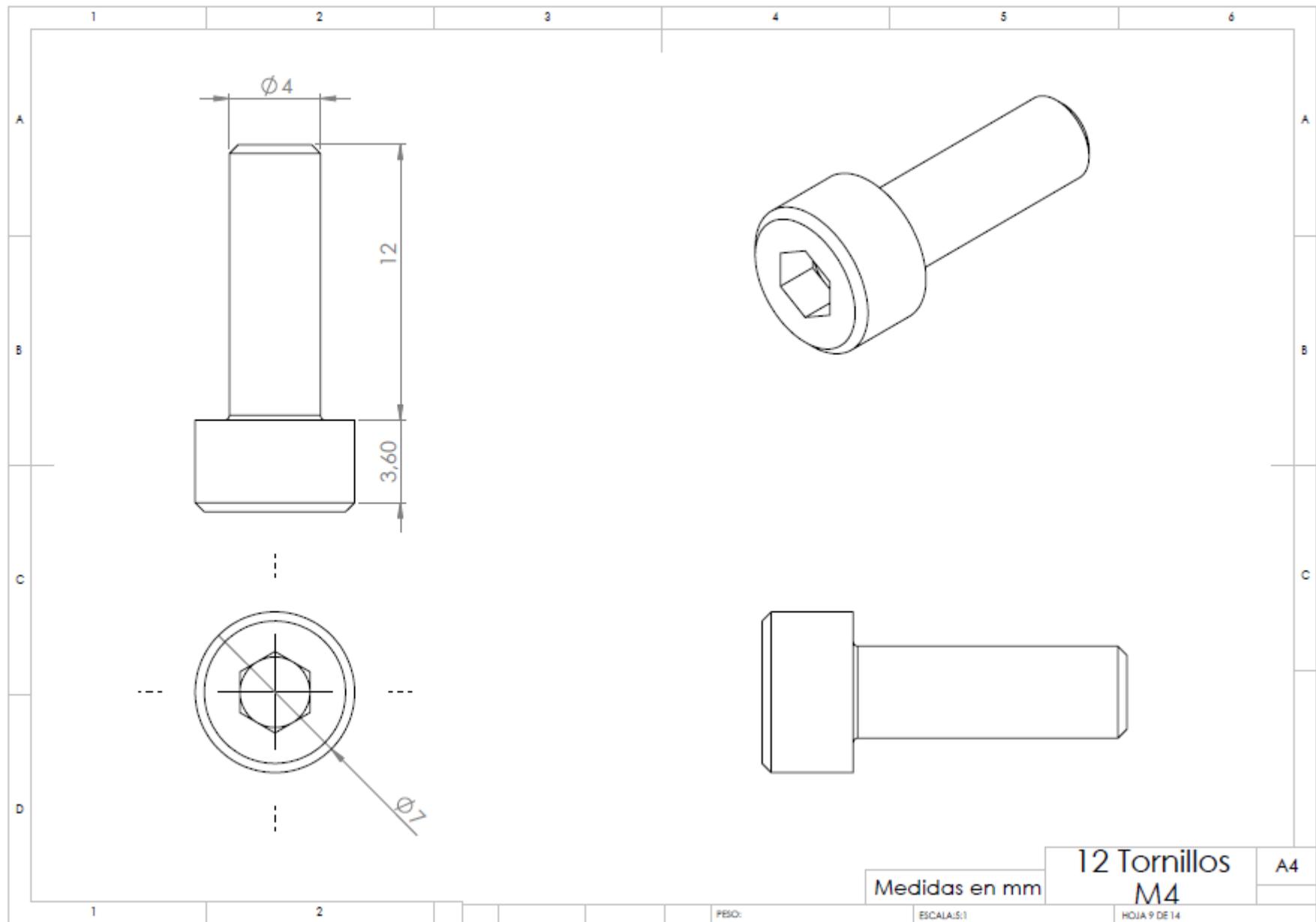


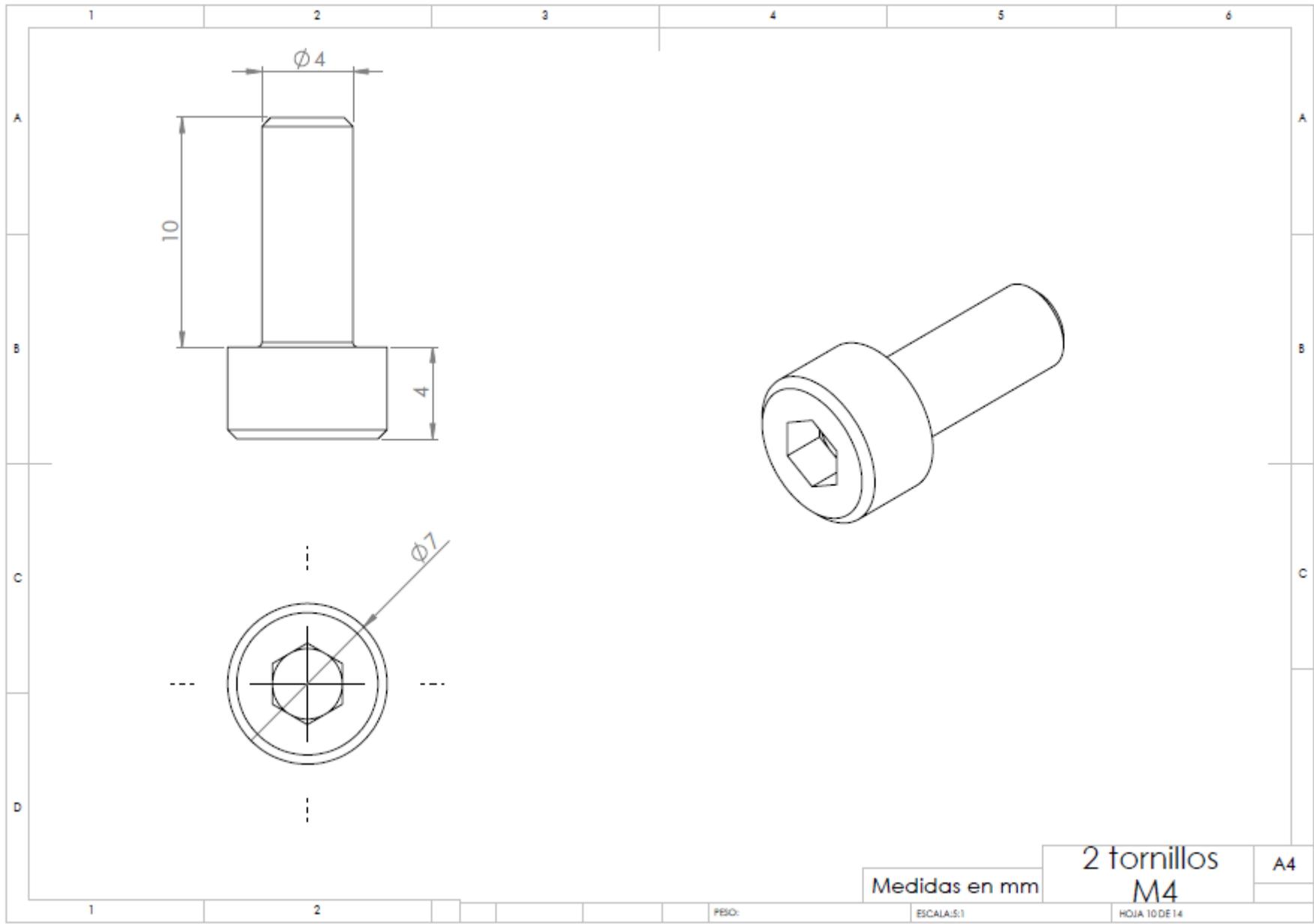


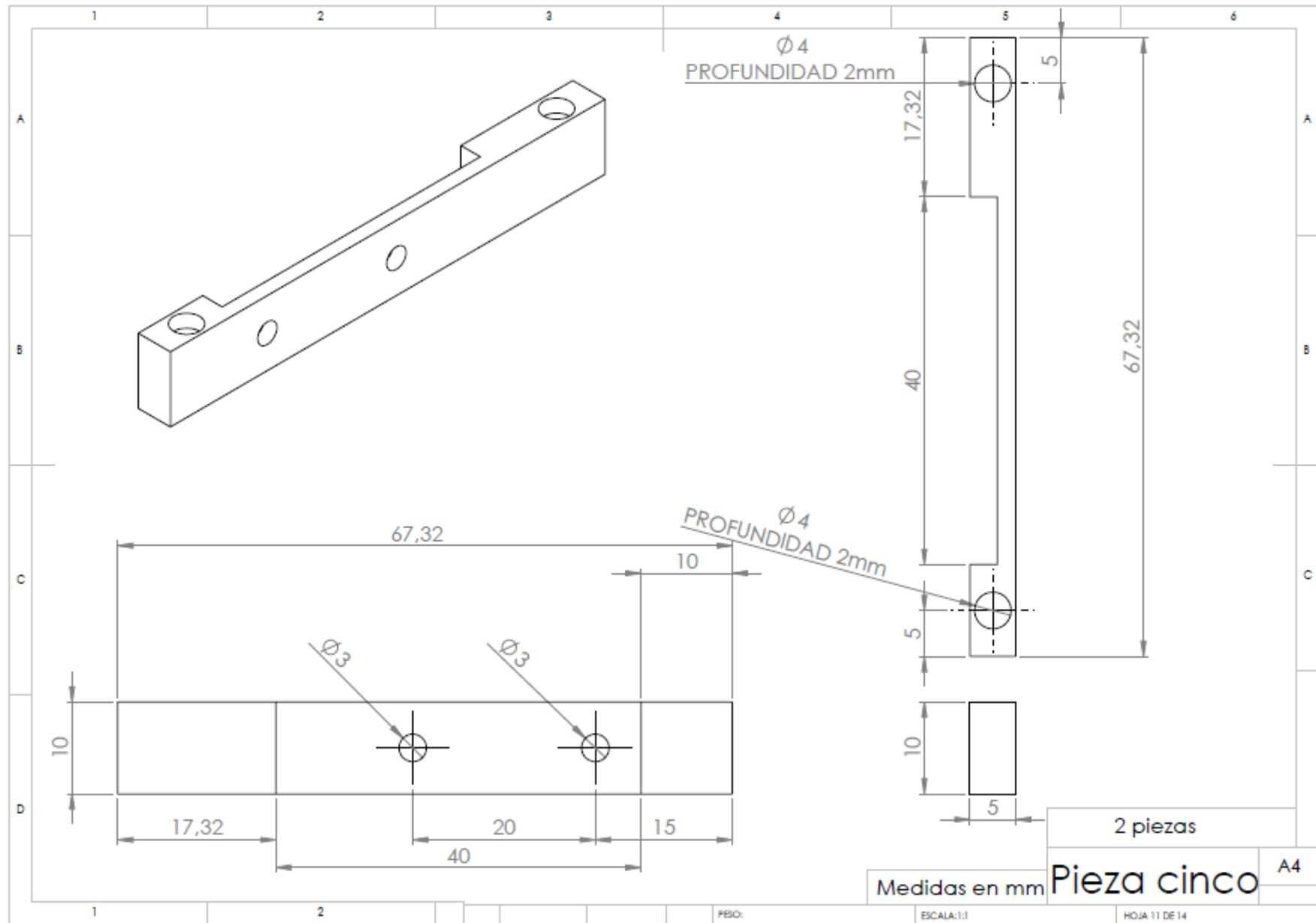


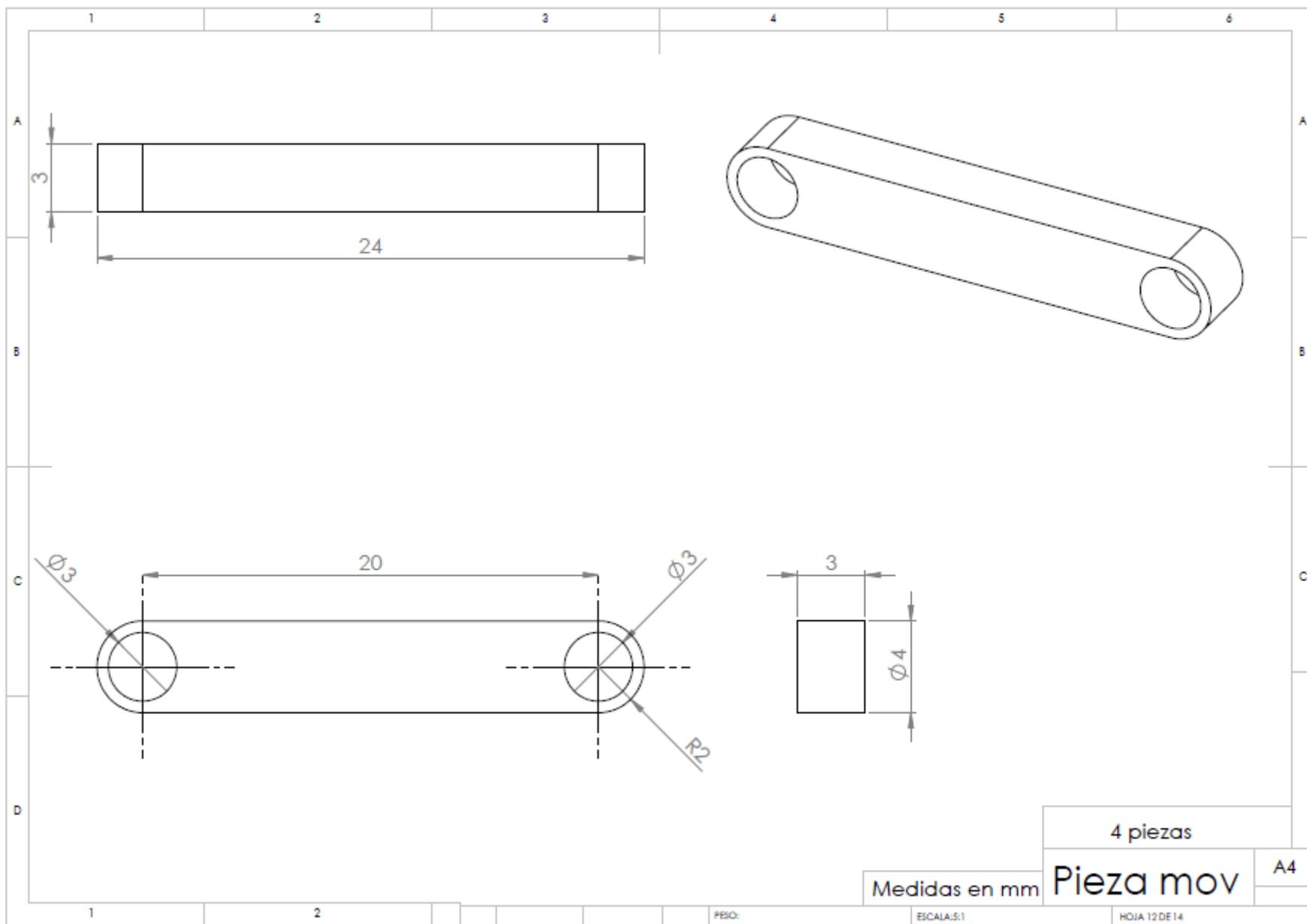
Medidas en mm	Eje dos	A4
PESO:	ESCALA:2:1	HOJA 7 DE 14

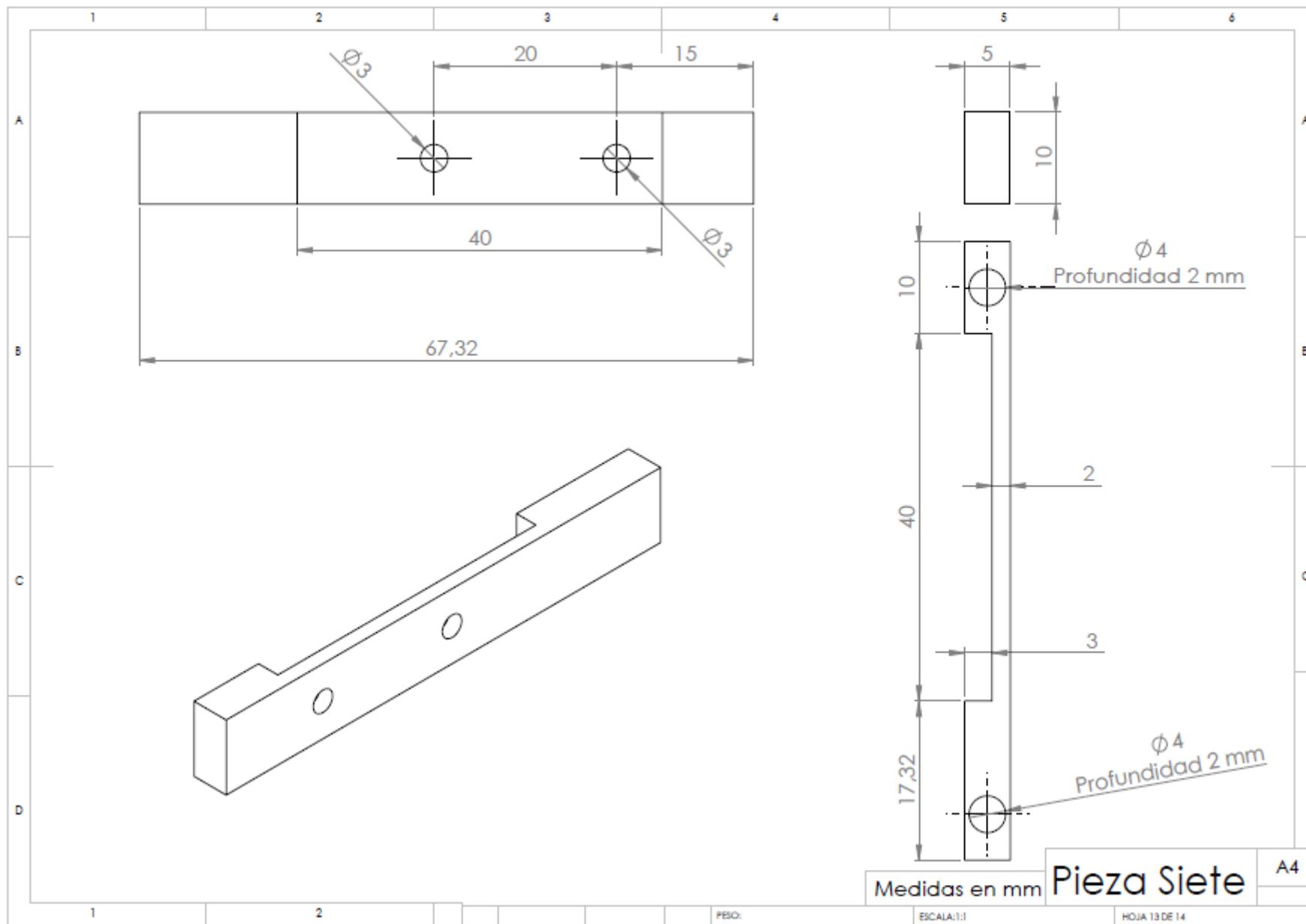


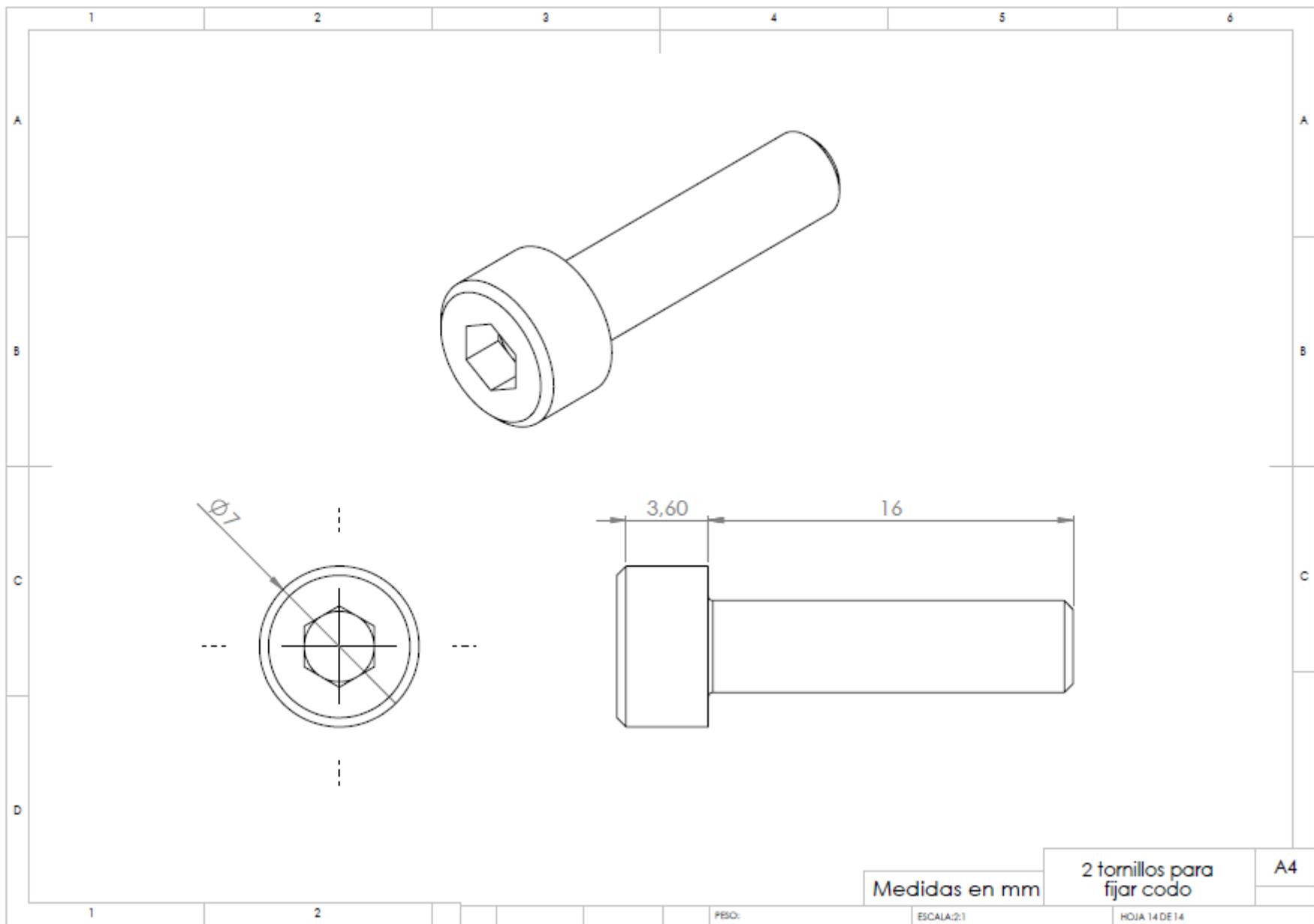




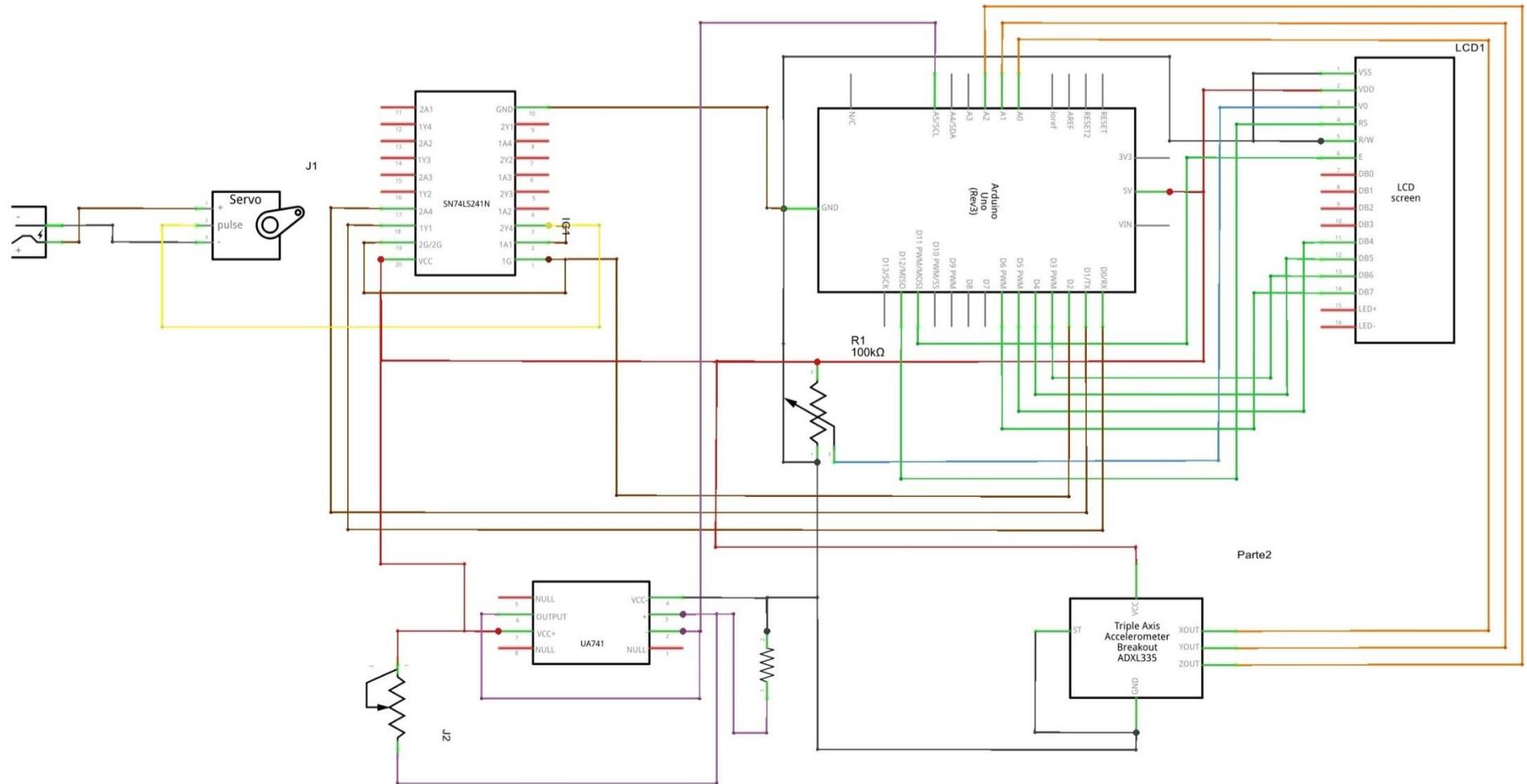












### 23.3 CODIGO ARDUINO

```
#include <DynamixelSerial.h>
```

```
#include <LiquidCrystal.h>
```

```
LiquidCrystal lcd(12, 11, 5, 4, 3, 6);
```

```
int sensorvaluex=0;
```

```
int sensorvaluey=0;
```

```
int sensorvaluez=0;
```

```
int sensorpinx = A0;
```

```
int sensorpiny = A1;
```

```
int sensorpinz = A2;
```

```
int outputvalue = 0;
```

```
void setup(){
```

```
  analogReference(EXTERNAL); // SE DEFINE COMO COMO REFERENCIA EXTERNA
```

```
  Serial.begin(9600);    //SE INICIA LA COMUNICACION SERIAL
```

```
Dynamixel.begin(1000000,2);//SE INICIA LA COMUNICACION SERIAL PARA LOS SERVOS
delay(1000);

lcd.begin(16, 2); // CONFIGURA EL NUMERO DE FILAS Y COLUMNAS
lcd.print("Peso =");// MUESTRA MENSAJE
}

void loop(){

// LECTURA DEL SENSOR DE PESO
float peso=analogRead(A5); // LECTURA DEL SENSOR POR EL PUERTO ANALOGO A5
int peso1 = map(peso, 386, 930, 0, 5000);// LINEALIZA LA LECTURA DEL SENSOR DE PESO
//_____

// LECTURA DE DATOS Y MOVIMIENTO DE LOS SERVOS
int Pos_1=Dynamixel.readPosition(1);// LECTURA DE SERVOMOTORES
Pos_1 = map(Pos_1, 0, 1023, 0, 360);// LINEALIZACION DE LA LECTURA DE LOS SERVOMOTORES
// Dynamixel.move(1, random(200,1000)); // MOVIMIENTO DE SERVOMOTORES
// delay(500);
int Pos_2=Dynamixel.readPosition(2);// LECTURA DE SERVOMOTORES
Pos_2 = map(Pos_2, 0, 1023, 0, 360);// LINEALIZACION DE LA LECTURA DE LOS SERVOMOTORES
```

```

// Dynamixel.move(2,random(200,1000)); // MOVIMIENTO DE SERVOMOTORES
// delay(500);
int Pos_3=Dynamixel.readPosition(3);// LECTURA DE SERVOMOTORES
Pos_3 = map(Pos_3, 0, 1023, 0, 360);// LINEALIZACION DE LA LECTURA DE LOS SERVOMOTORES
// Dynamixel.move(3, random(200,1000)); // MOVIMIENTO DE SERVOMOTORES
// delay(500);

//
// LECTURA DEL ACELEROMETRO

sensorvaluex = analogRead(sensorpinx); //LECTURA DEL VALOR PARA X
sensorvaluey = analogRead(sensorpinx); //LECTURA DEL VALOR PARA Y
sensorvaluez = analogRead(sensorpinz); //LECTURA DEL VALOR PARA Z

if(sensorvaluex>220 && sensorvaluez>433){ // RANGO DE LECTURA PARA < 180
sensorvaluex = map(sensorvaluex, 220, 712, 0, 180); // LINEALIZACION DE LA LECTURA DE ACELEROMETRO 180°
}
else if(sensorvaluex>220 && sensorvaluez<433){ // RANGO DE LECTURA PARA > 180
sensorvaluex = map(sensorvaluex, 712, 220, 180, 360);// LINEALIZACION DE LA LECTURA DE ACELEROMETRO 180°
}

```

```
if(sensorvaluey>280 && sensorvaluez>410){ // RANGO DE LECTURA PARA < 180
sensorvaluey = map(sensorvaluey, 290, 770, 180, 0); // LINEALIZACION DE LA LECTURA DE ACELEROMETRO 180°
}
else if(sensorvaluey>280 && sensorvaluez<410){ // RANGO DE LECTURA PARA > 180
sensorvaluey = map(sensorvaluey, 290, 530, 180, 270);// LINEALIZACION DE LA LECTURA DE ACELEROMETRO 180°
}
```

```
int myarray[]={Pos_1,Pos_2,Pos_3,sensorvaluex,sensorvaluey,sensorpinz};
```

```
Serial.begin(9600);
```

```
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print(sensorvaluex);
```

```
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print(sensorvaluey);
```

```
Serial.print(" ");
```

```
// Serial.print(sensorvaluez);
```

```
// Serial.print(" ");
```

```
// Serial.print(peso);
```

```
// Serial.print(" ");
```

```
Serial.print(Pos_1);
```

```
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print(Pos_2);
```

```
Serial.print(" ");
```

```
Serial.print(Pos_3);
```

```
Serial.println(" ");
```

```
Serial.println();
```

```
Serial.end();
```

```
Dynamixel.begin(1000000,2);
```

```
lcd.setCursor(0, 1);
```

```
lcd.print(peso1);
```

```
lcd.print(" ");
```

```
lcd.print("grs");
```

```
}
```

## 23.4 CODIGO C SHARP

```
using UnityEngine;
```

```
using System.Collections;
```

```
using System.IO.Ports;
```

```
public class Arduino_serial : MonoBehaviour {
```

```
    int control = 0;
```

```
    SerialPort puerto = new SerialPort("COM2",9600);
```

```
    string gradosz;
```

```
    public Transform GL1;
```

```
    public Transform GL2;
```

```
    public Transform GL3;
```

```
    public Transform GL4;
```

```
    public Transform GL5;
```

```
    public float valorGL1 = 0.0f;
```

```
    public float valorGL2 = 0.0f;
```

```
    public float valorGL3 = 0.0f;
```

```
    public float valorGL4 = 0.0f;
```

```
    public float valorGL5 = 0.0f;
```

```
// Use this for initialization
void Start () {
    conectar ();
}

// Update is called once per frame
void Update () {
    if (control == 1) {
        gradosz = puerto.ReadLine();

        string[] vec3 = gradosz.Split();
        valorGL1 = float.Parse(vec3[1]);
        valorGL2 = float.Parse(vec3[2]);
        valorGL3 = float.Parse(vec3[3]);
        valorGL4 = float.Parse(vec3[2]);
        valorGL5 = float.Parse(vec3[3]);
        //grados = cubo.rotation.z;

        Debug.Log (gradosz);

        //grados = valorz;
    }
}
```

```

GL1.transform.rotation = Quaternion.Euler (270, valorGL1, 0);
GL2.transform.rotation = Quaternion.Euler (valorGL2, valorGL1 - 90, 90);
GL3.transform.rotation = Quaternion.Euler (valorGL2, valorGL1 - 90, 90);
GL4.transform.rotation = Quaternion.Euler (270, valorGL1, 0);
GL5.transform.rotation = Quaternion.Euler (270, valorGL1, 0);
    }
}

public void conectar(){
    if (puerto != null) {
        if(puerto.IsOpen){
            puerto.Close();
            print("Puerto cerrado por que estaba en uso");
        }
        else{
            puerto.Open();
            //puerto.ReadTimeout = 16;
            print ("Puerto Abierto");
        }
    }
}

```

```
    if (puerto.IsOpen) {
        print ("Puerto Listo");
        control = 1;
    } else {
        print ("Puerto Nulo");
    }
}

void OnApplicationQuit(){
    control = 0;
    puerto.Close ();
}
}
```