



UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS – ESPE

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

INGENIERÍA MECATRÓNICA

Trabajo de titulación previo a la obtención del Título de
Ingeniero Mecatrónico

**“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN SISTEMA MECATRÓNICO DE COORDINACIÓN
VISOMOTORA PARA CONTRIBUIR EN EL PROCESO DE REHABILITACIÓN DE PACIENTES
CON MOVILIDAD REDUCIDA EN EXTREMIDADES SUPERIORES DEL PATRONATO
MUNICIPAL DE AMPARO SOCIAL DE LATACUNGA”**

Autor: Calvopiña Villavicencio, Jaime Sebastian

Directora: Ing. Constante Prócel, Patricia Nataly

Latacunga, 2021

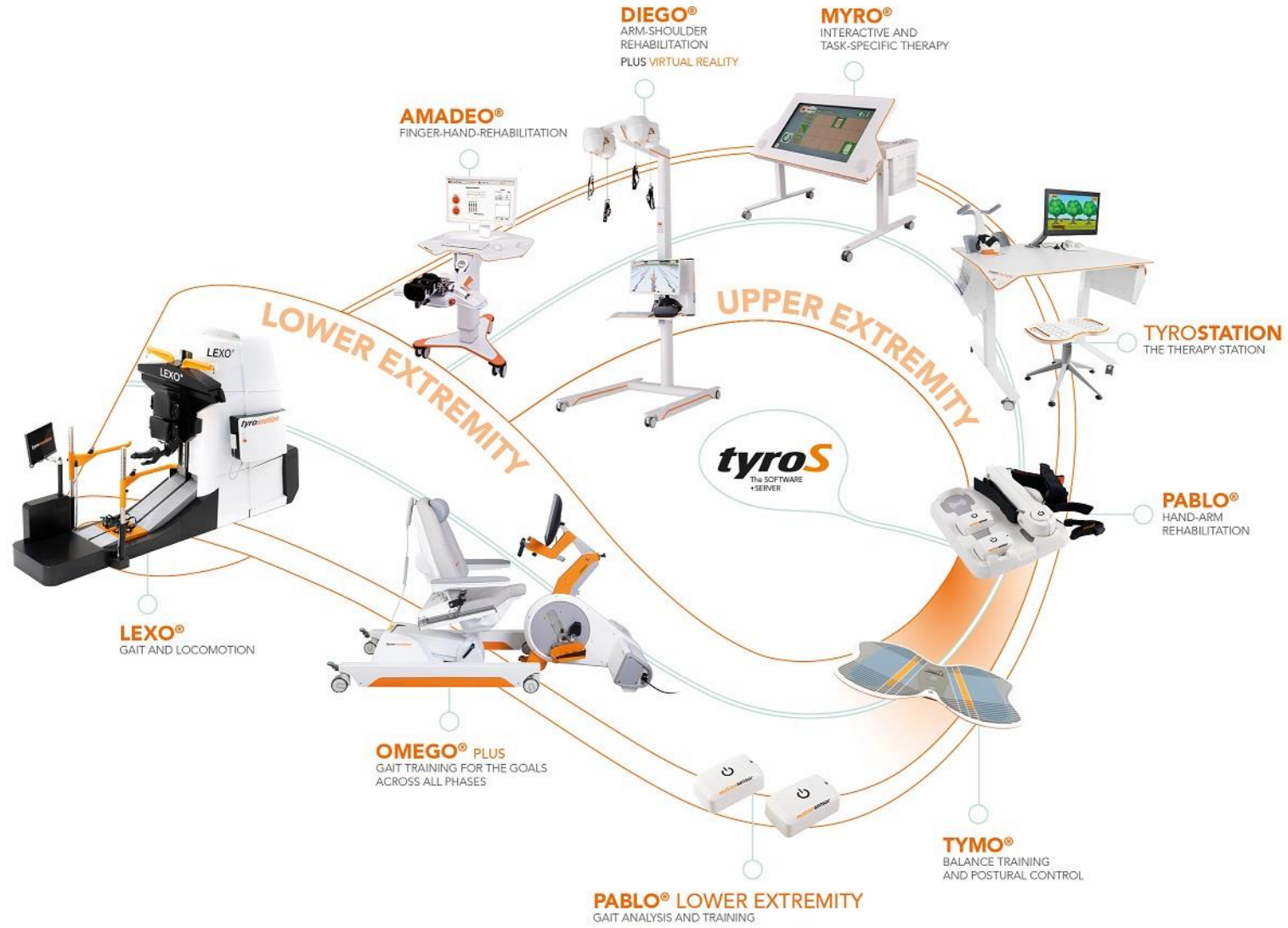




- Fundamentación Teórica
- Desarrollo del Concepto
- Diseño y Construcción
- Desarrollo del Entorno
- Pruebas y Resultados
- Conclusiones y Recomendaciones







Patronato Municipal de Amparo Social de Latacunga

Institución Gubernamental

5 Fisioterapeutas

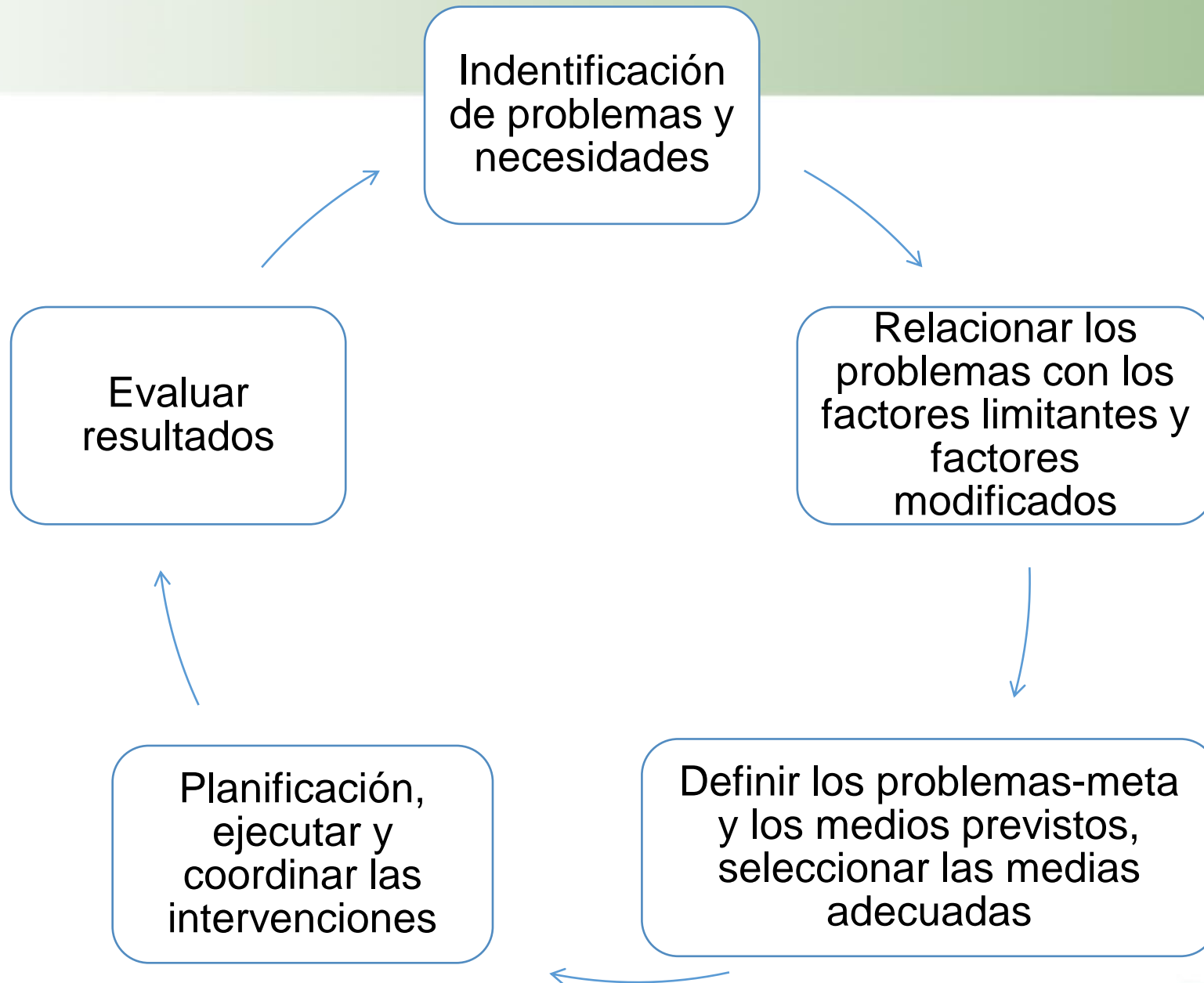
388 pacientes al mes

- 35% extremidades superiores

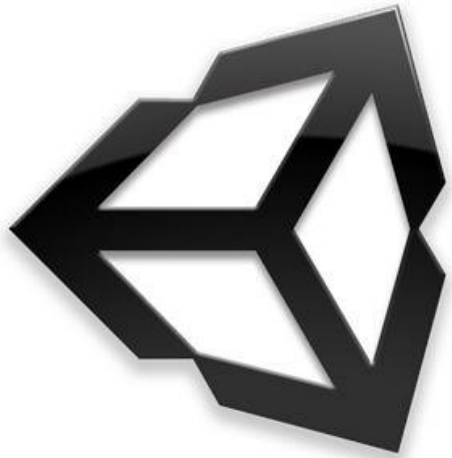
Rehabilitación tradicional



- Elaborar especificaciones de funcionamiento basado en leyes, estándares requerimientos de usuario de fisioterapeutas y pacientes.
- Obtener el diseño final que cumpla con todos los parámetros requeridos y que busca de una solución para el proceso de rehabilitación.
- Construir el dispositivo físico desarrollado con sensores de orientación sobre un sistema embebidos con conexión a una pantalla para el usuario pueda trabajar de manera independiente y de forma ergonómica.
- Desarrollar la interfaz de usuario con diferentes plataformas y niveles por medio de software compatible con sistema embebidos que permitan al paciente lograr una coordinación entre la visión y el movimiento de las extremidades superiores.
- Comprobar el sistema de rehabilitación mecatrónico basado en las pruebas FAT y SAT para el desarrollo de un producto de calidad.
- Implementar el sistema de rehabilitación en el Patronato Municipal de Amparo Social de Latacunga para pacientes con movilidad reducida en extremidades superiores.







- GameObject
- Componentes
- Canvas
- Escena
- Sprite
- Animación
- Control de Animación
- Prefab

The screenshot shows the Unity interface with several panels highlighted by colored boxes and labels:

- Jerarquía** (Hierarchy): Located in the top-left, showing a tree view of the scene's objects, including 'Inicio_Math', 'Main Camera', 'stadium', 'Canvas', and 'EventSystem'.
- Ventana de Proyecto** (Project Window): Located in the bottom-left, showing a list of assets and scenes, with 'Inicio_Math' and 'Juego_Math' visible.
- Inspector**: Located on the right side, showing the properties of the selected object (Canvas). It includes sections for 'Rect Transform', 'Canvas', and 'Graphic Raycaster'.

Property	Value
Pos X	683
Pos Y	384
Pos Z	0
Width	800
Height	449.7804
Min X	0
Min Y	0
Max X	0
Max Y	0
Pivot X	0.5
Pivot Y	0.5
Rotation X	0
Rotation Y	0
Rotation Z	0
Scale X	1.7075
Scale Y	1.7075
Scale Z	1.7075

Property	Value
Render Mode	Screen Space - Overlay
Pixel Perfect	<input type="checkbox"/>
Sort Order	0
Target Display	Display 1
Additional Shader Channels	Nothing
UI Scale Mode	Scale With Screen Size
Reference Resolution X	800
Reference Resolution Y	600
Screen Match Mode	Match Width Or Height
Match	<input type="radio"/>
Reference Pixels Per Unit	100

Property	Value
Script	GraphicRaycaster
Ignore Reversed Graphics	<input checked="" type="checkbox"/>
Blocking Objects	None
Blocking Mask	Everything

Identificación del problema

- Conocimientos, datos, causas, economía, requerimientos, efectos, etc.

Ideas Preliminares

- Productos similares, listas de ideas, bosquejos, idealización, ampliaciones, etc.

Refinamiento del diseño

- Selección de alternativas, formas geométricas, dimensiones base, materiales, etc.

Análisis y optimización

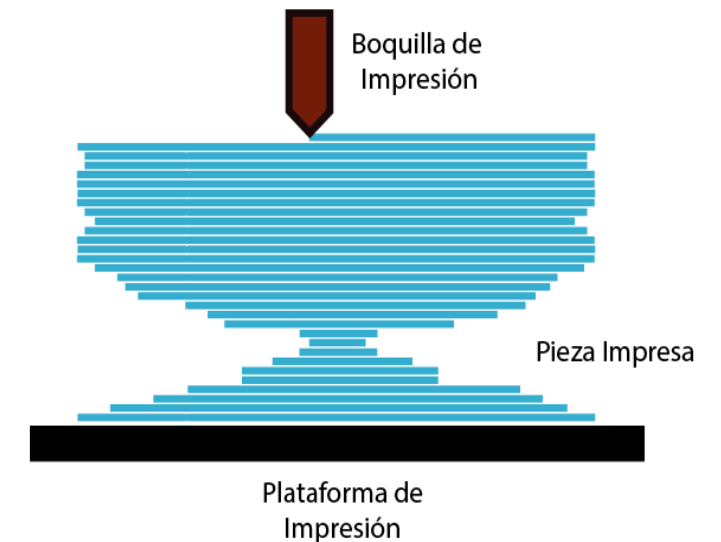
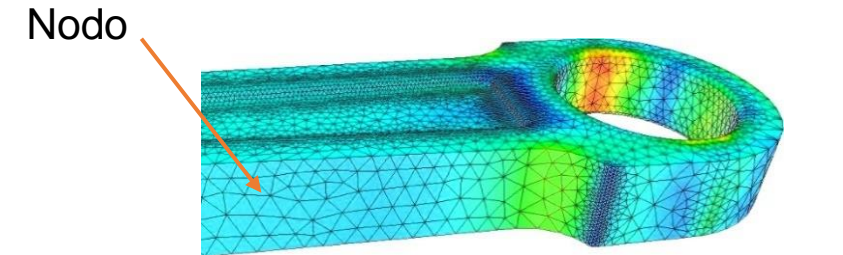
- Matemáticas, gráficos, ciencias, lógicas, experiencias, ingeniería, etc.

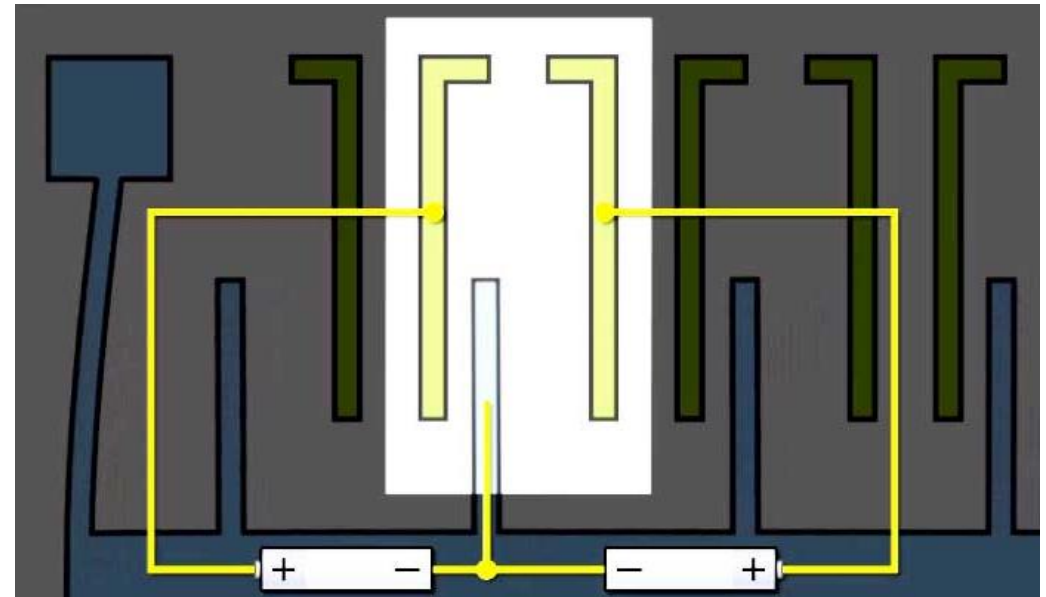
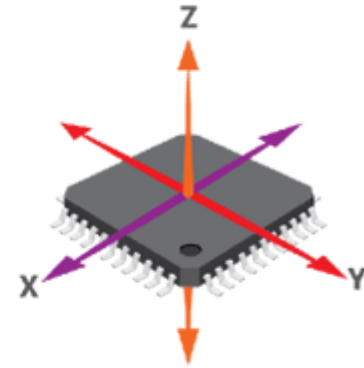
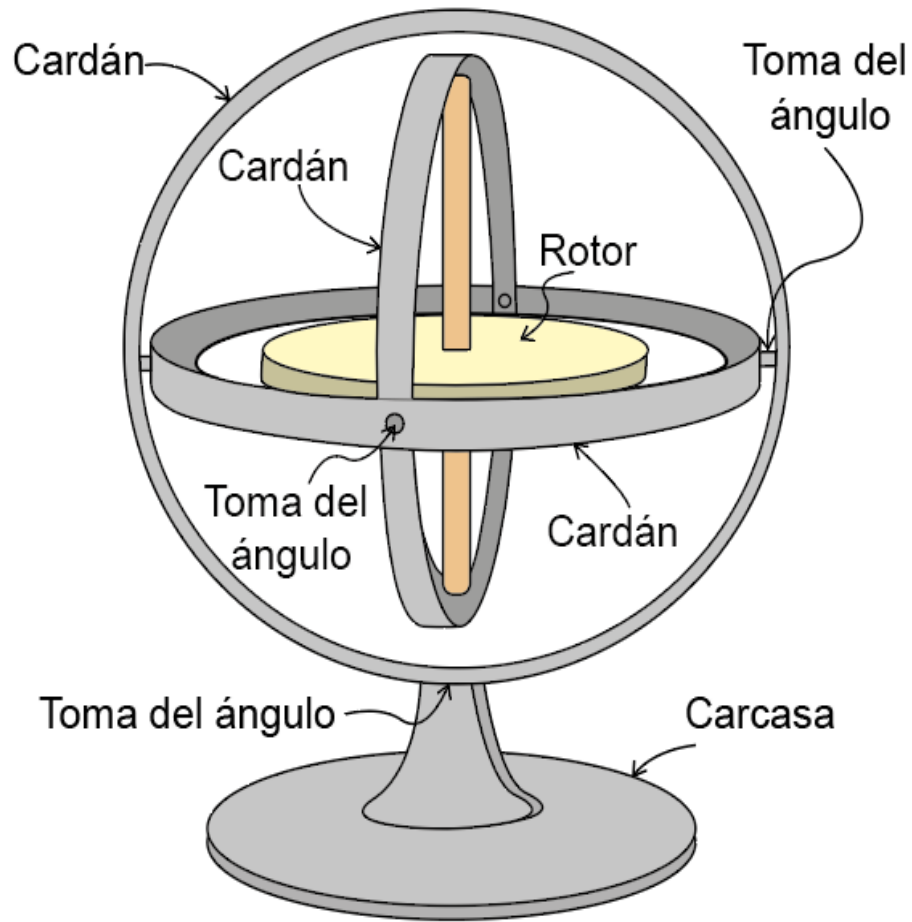
Decisión

- Soluciones óptimas, casualidades, precio, costos, presupuesto, requerimientos, etc.

Resultados documentación

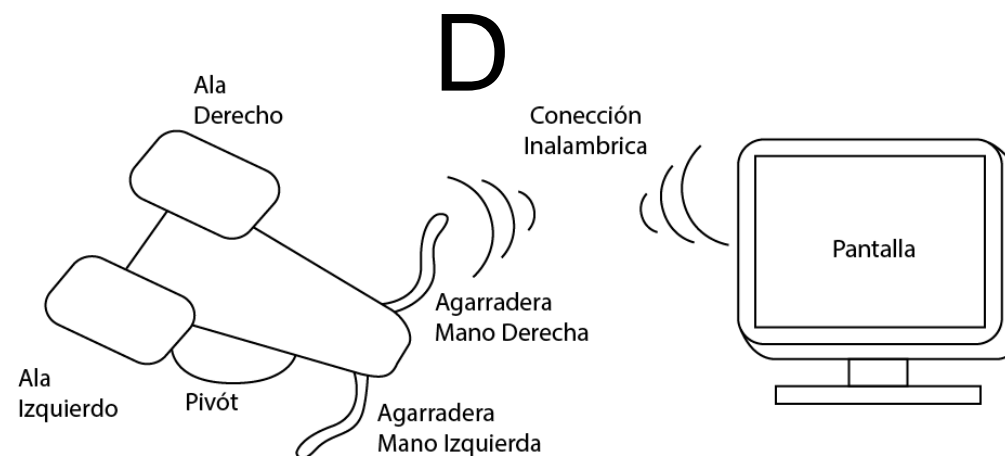
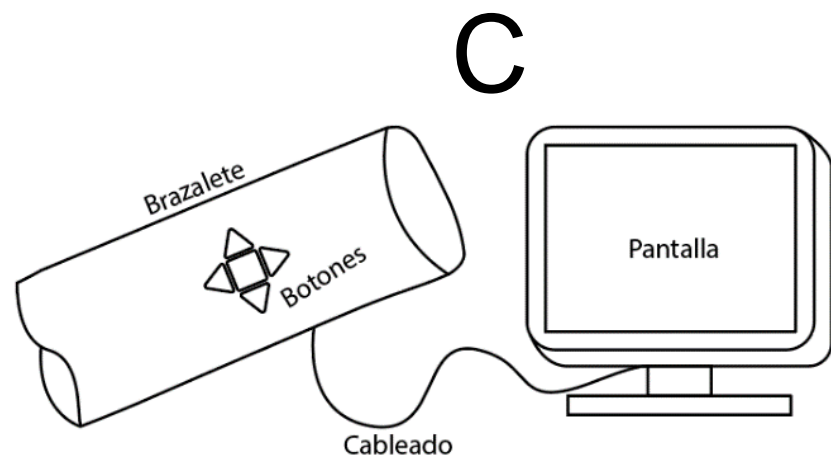
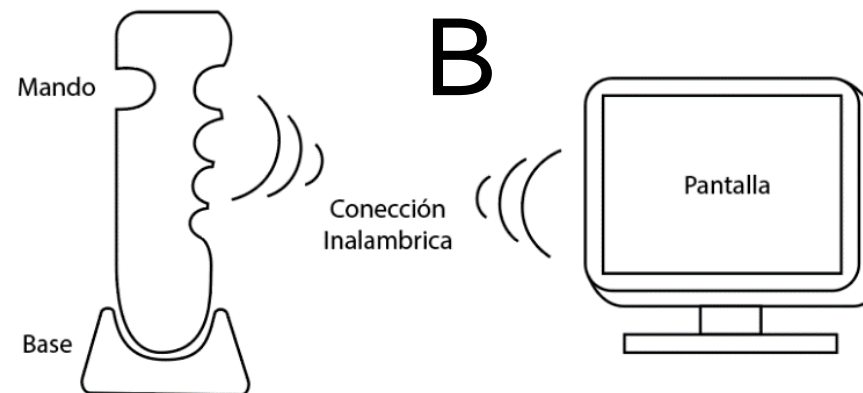
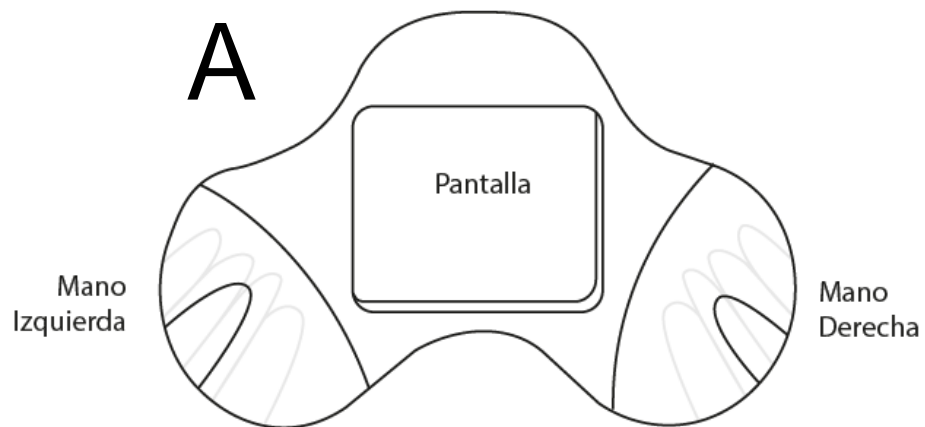
- Solución seleccionada, especificaciones, modelos, planos de trabajo, etc.

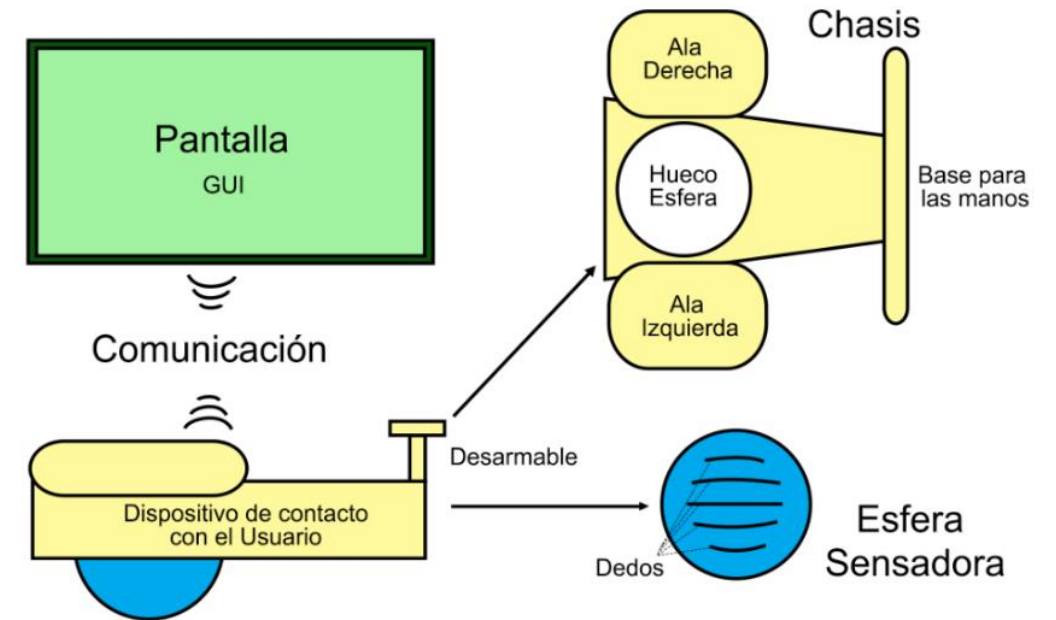
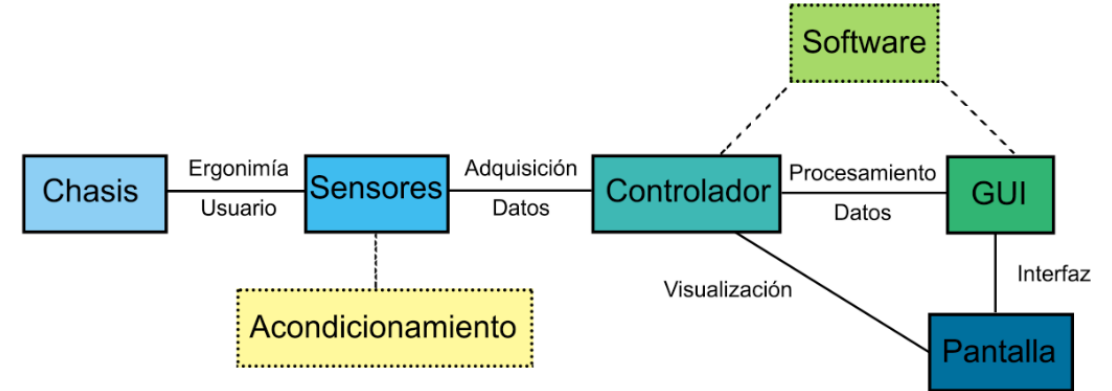
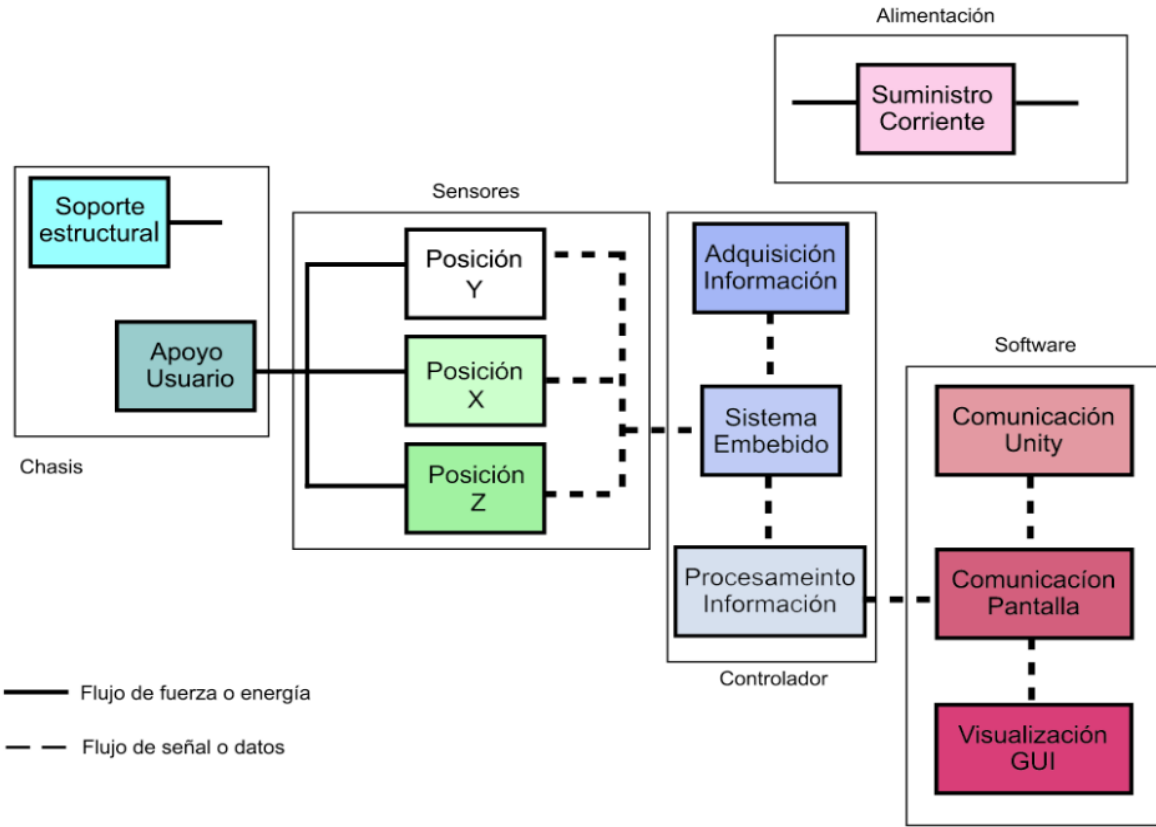


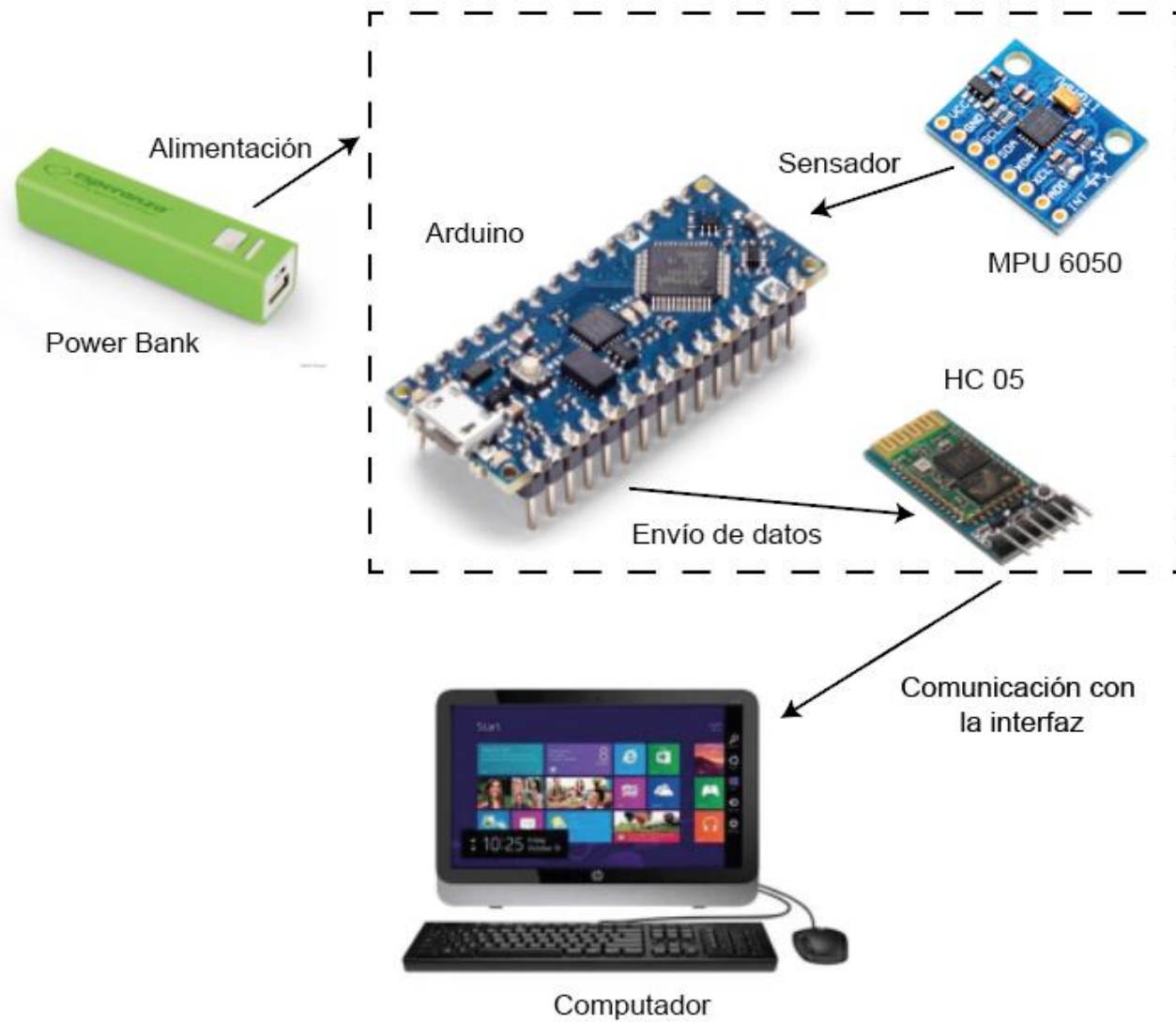




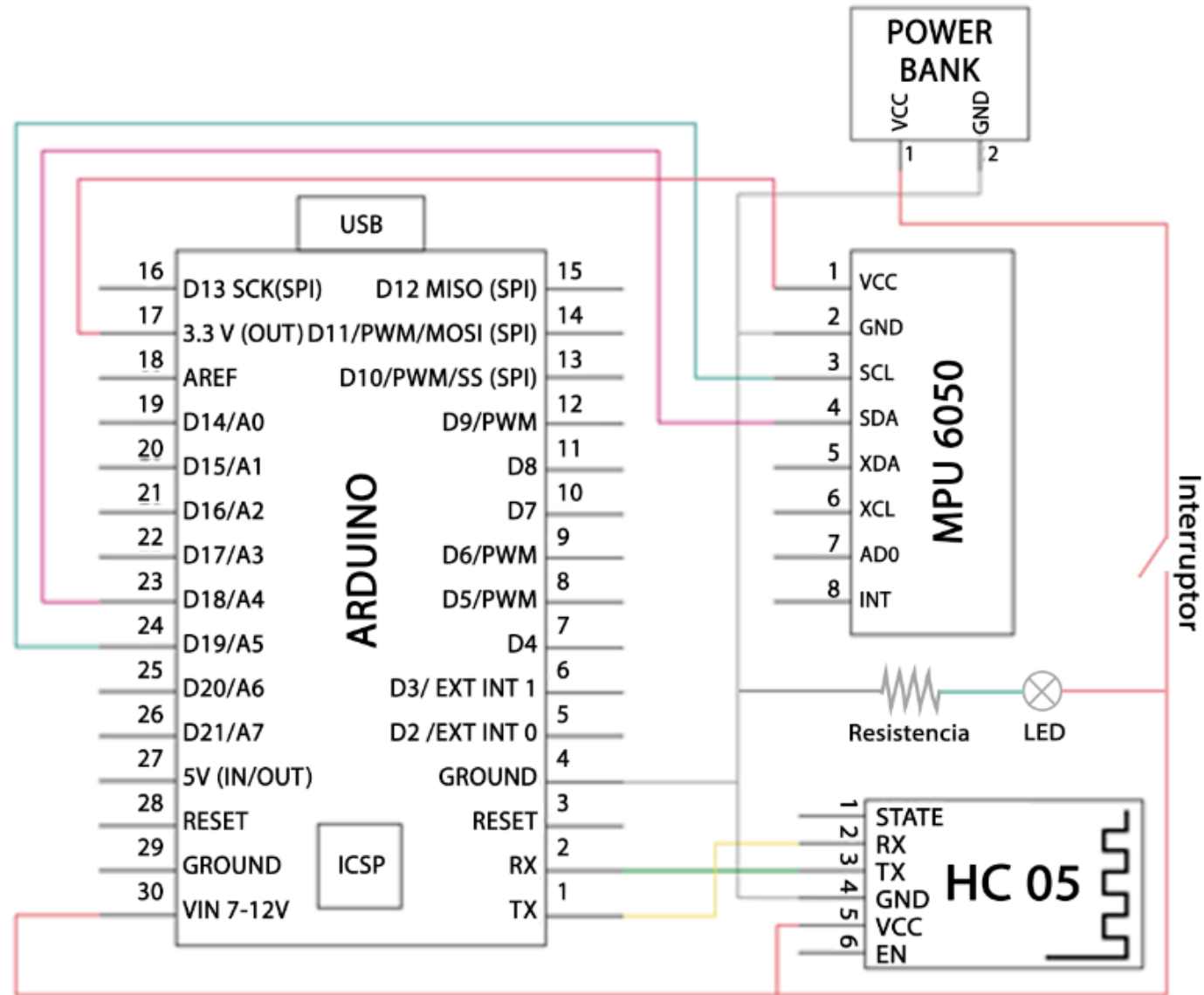
N	Métrica	Importancia	Unidad	Valor marginal	Valor ideal
1	Dimensiones	3	cm	40 x 40 x 20	25 x 30 x 15
2	Nivel de Eficiencia	3	%	75	100
3	Edades de Pacientes	3	edad	0 a 100	8 a 80
4	Nivel de Satisfacción	2		5	10
5	Precio de Producto	2	\$	500	250
6	Nivel de Usabilidad	2	%	68 – 70.5	>70.5
7	Número de Módulos	2		2	4
8	Nivel de utilidad	2	%	50	70
9	Peso	2	g	6	3
10	Robustez	2	0-10	7.5	10
11	Durabilidad	2	años	4	7
12	Facilidad de Manufactura	1		1	3
13	Facilidad de Ensamblaje	1		7	10
14	Estética	1		Bueno	Bello

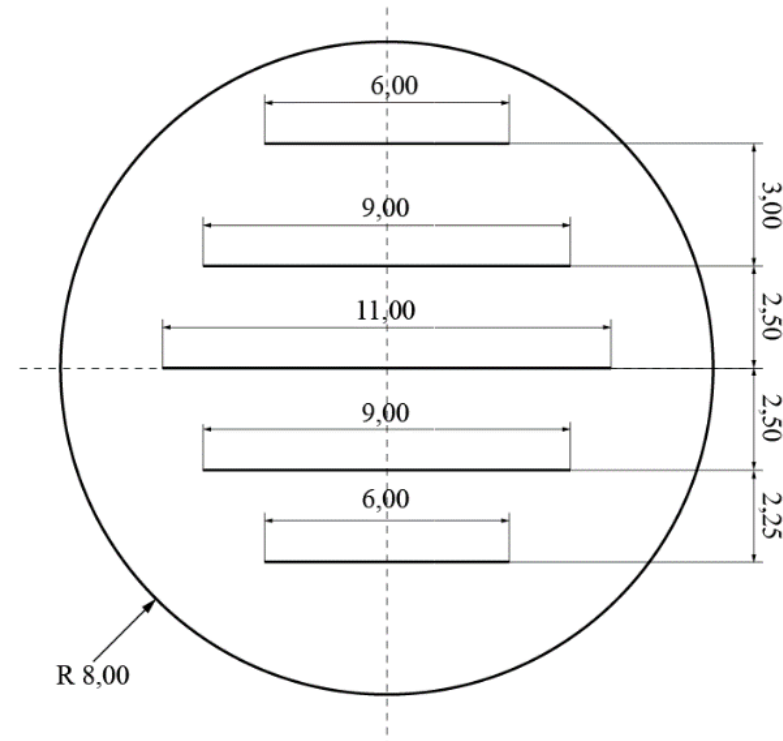
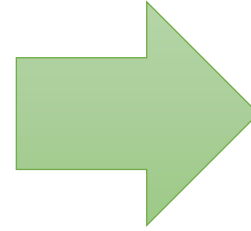
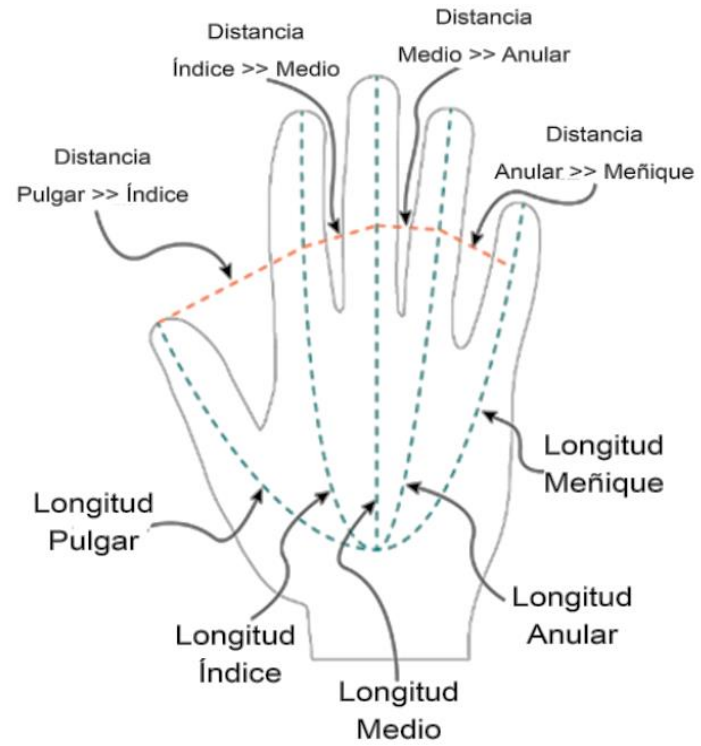


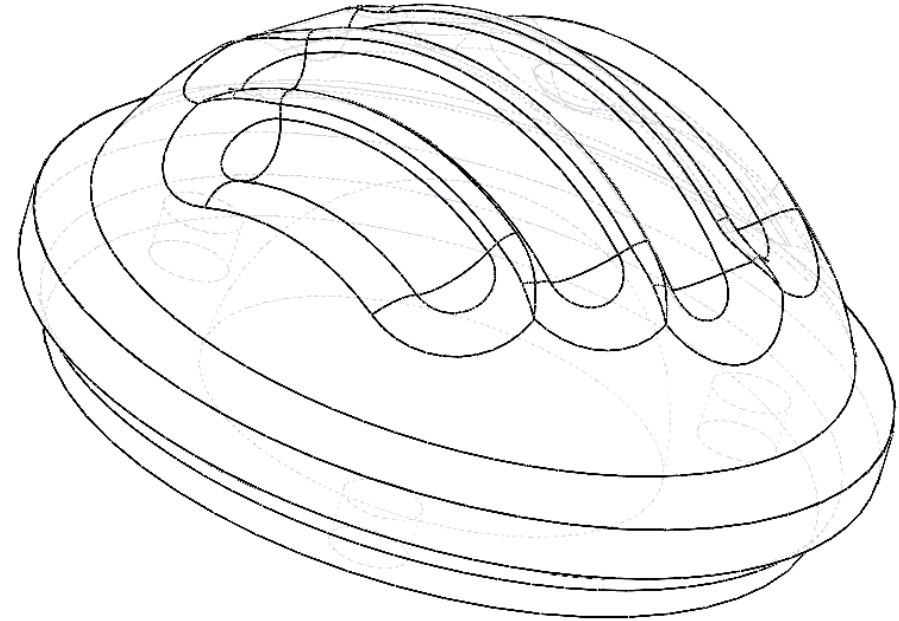
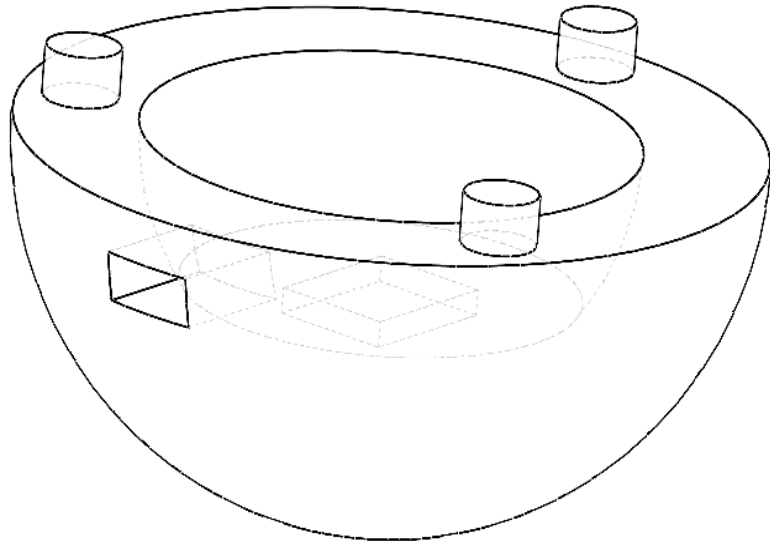




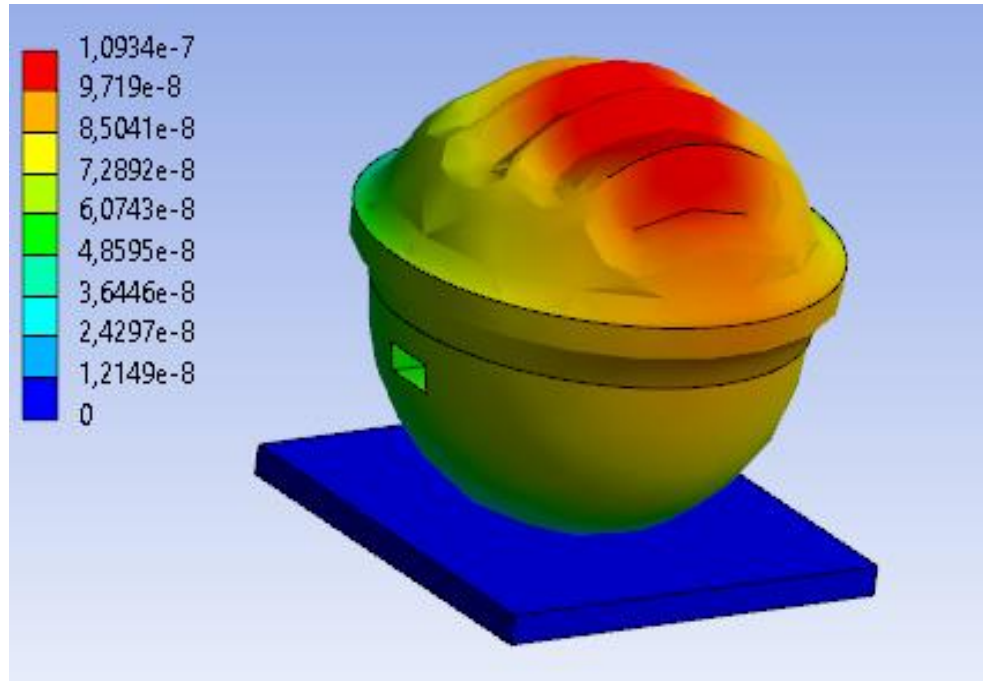




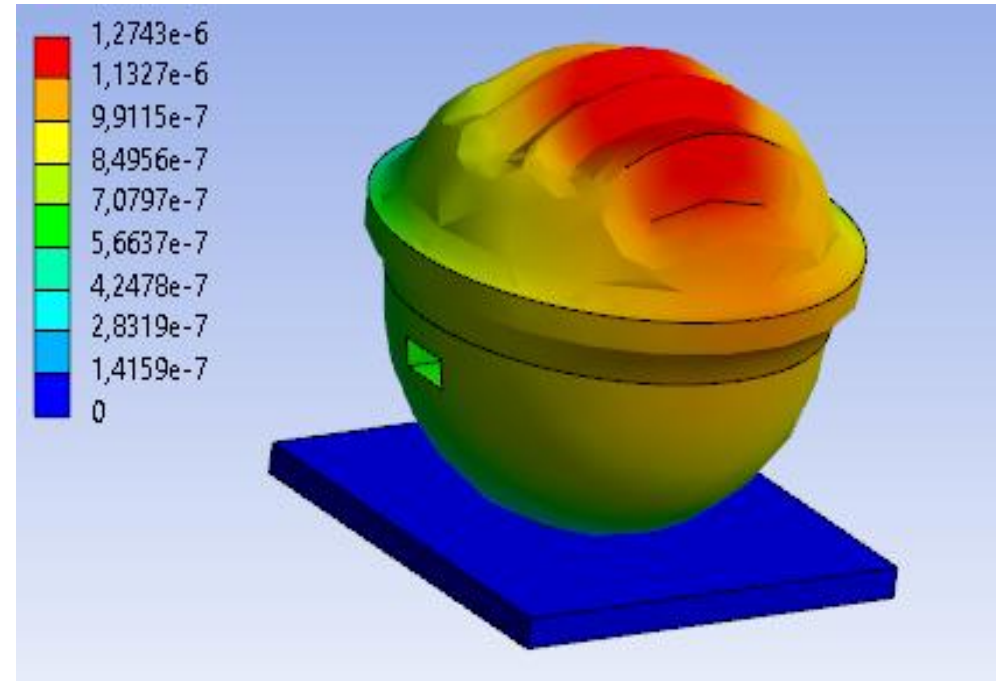


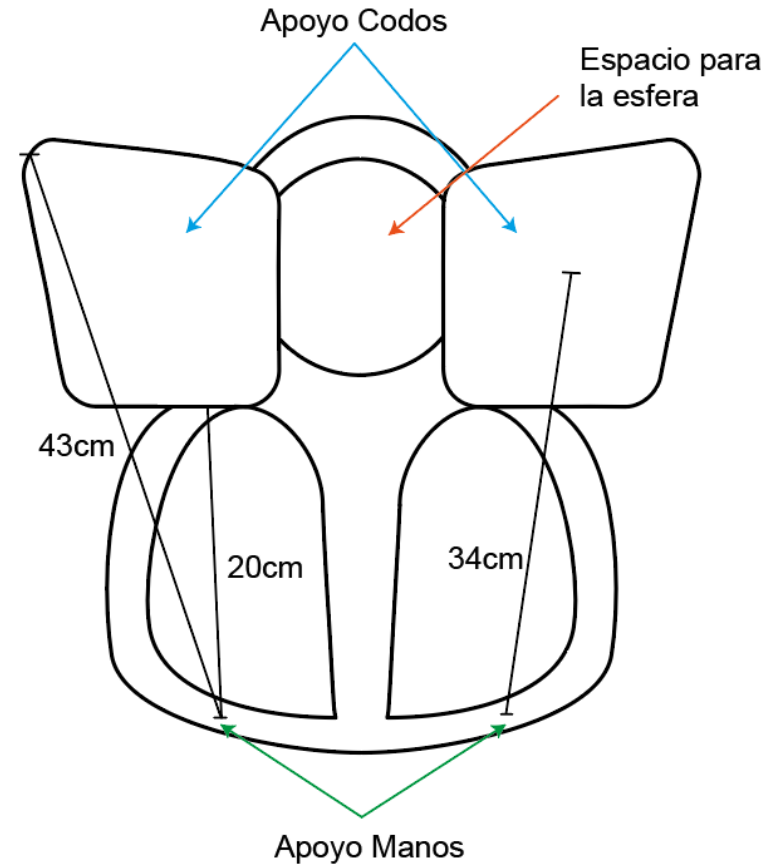
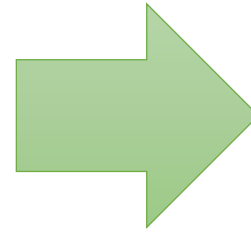
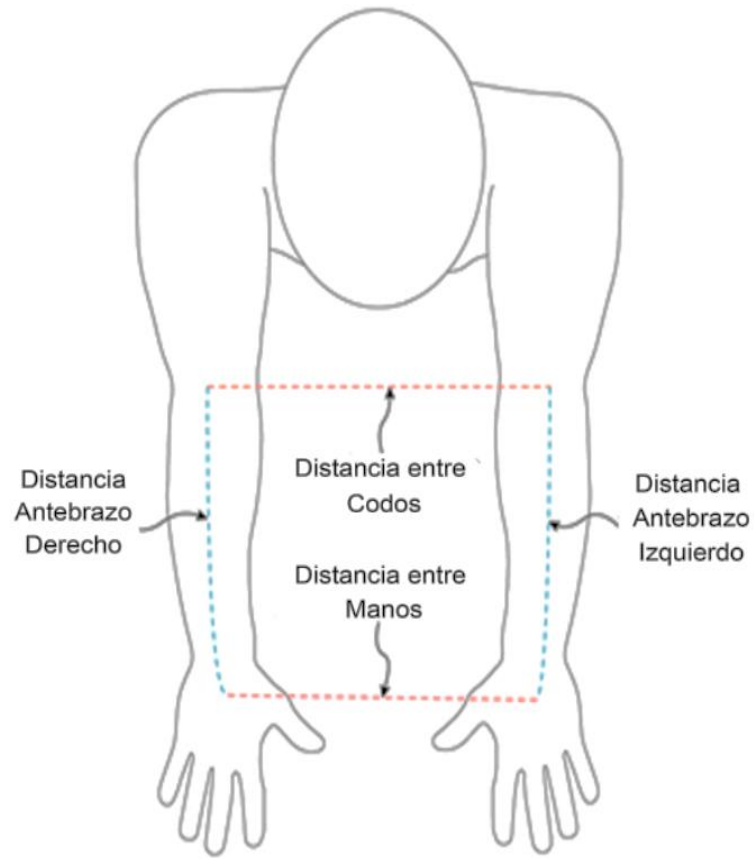


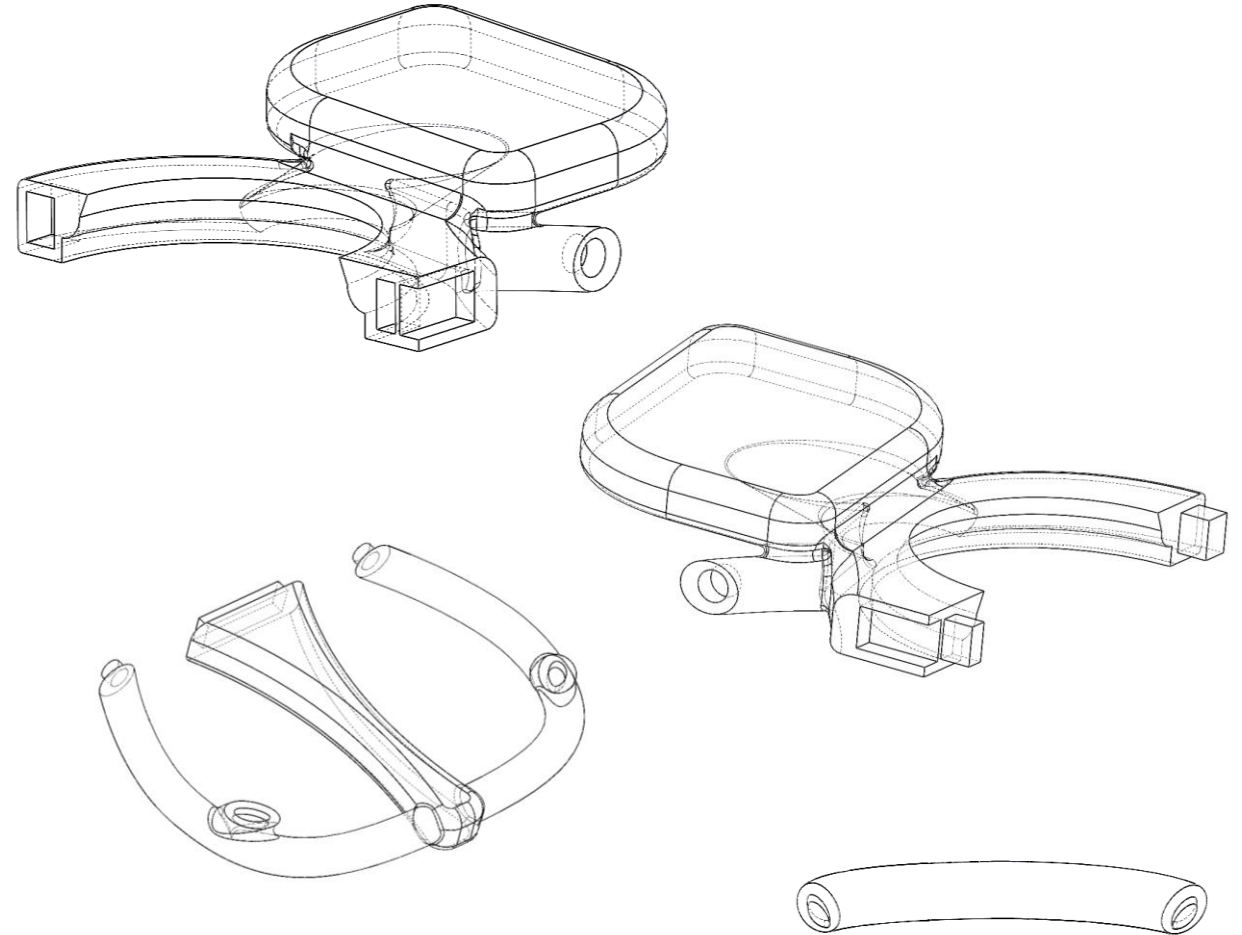
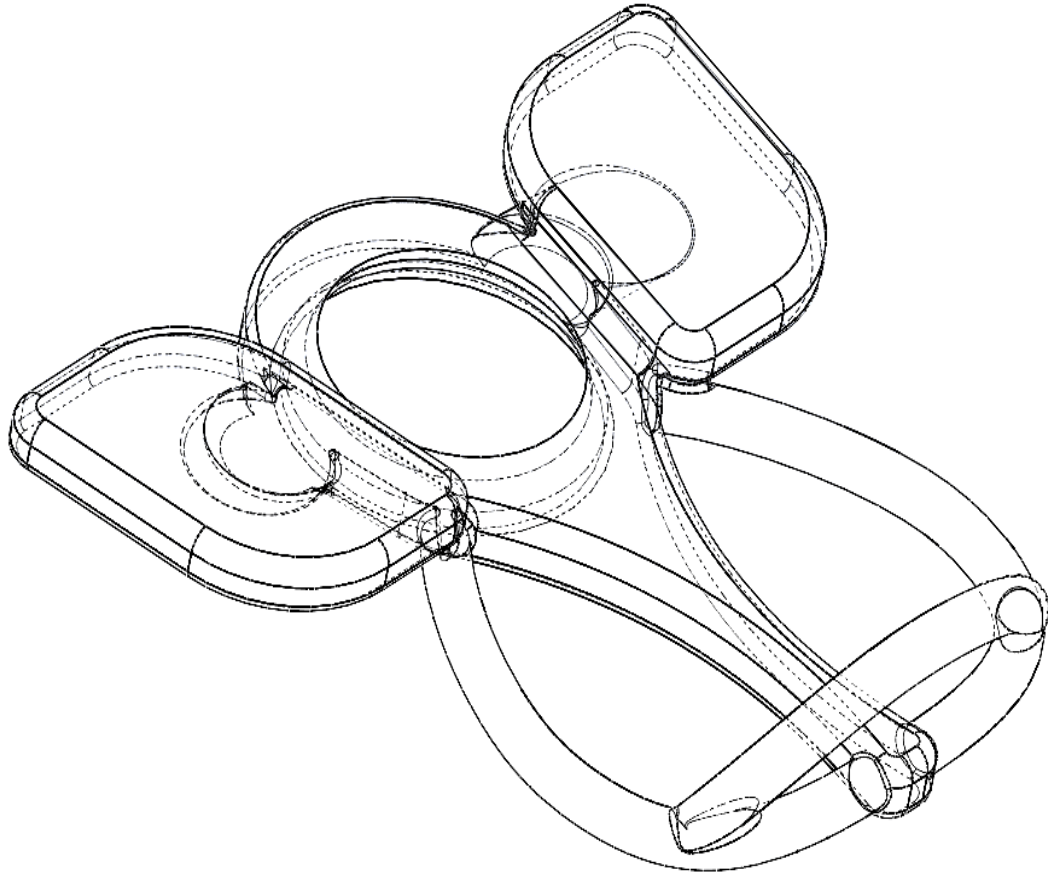
0,87kg

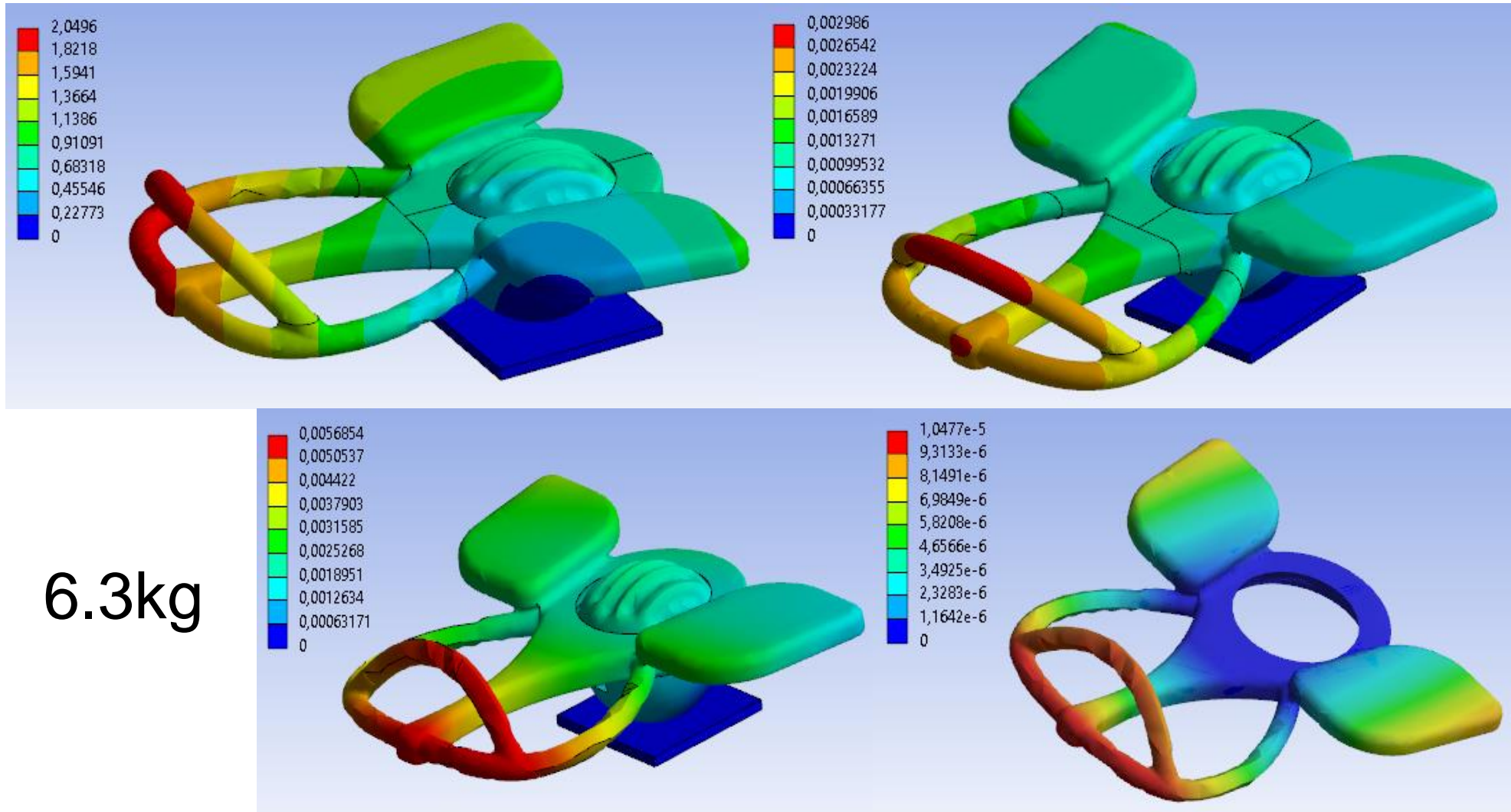


10.19kg

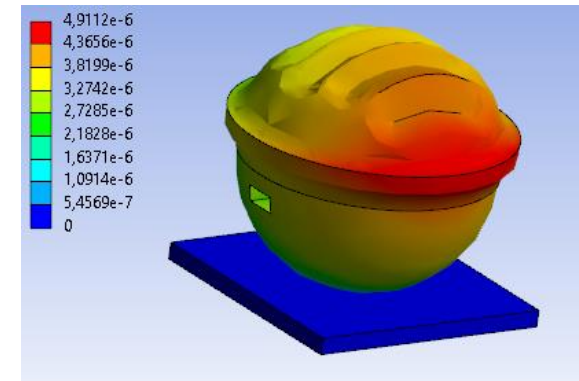
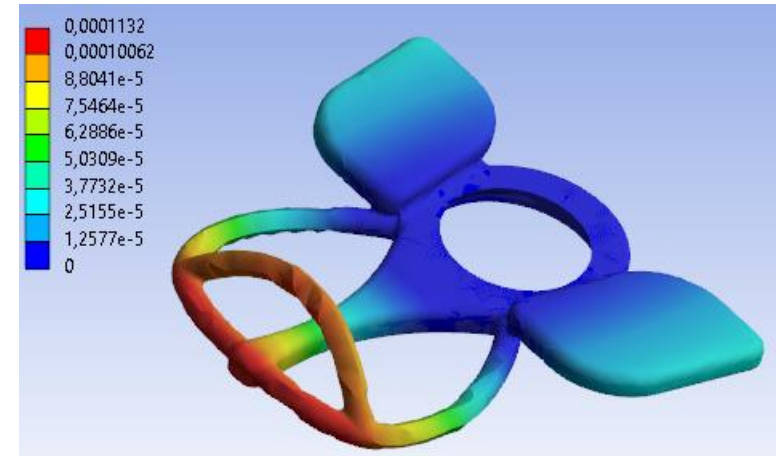
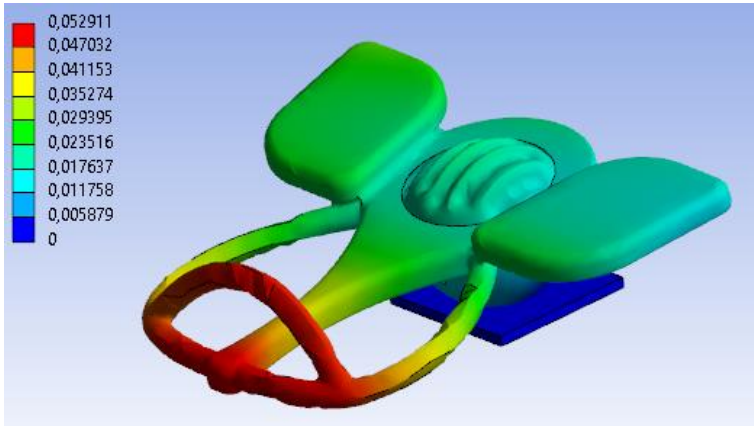








61kg

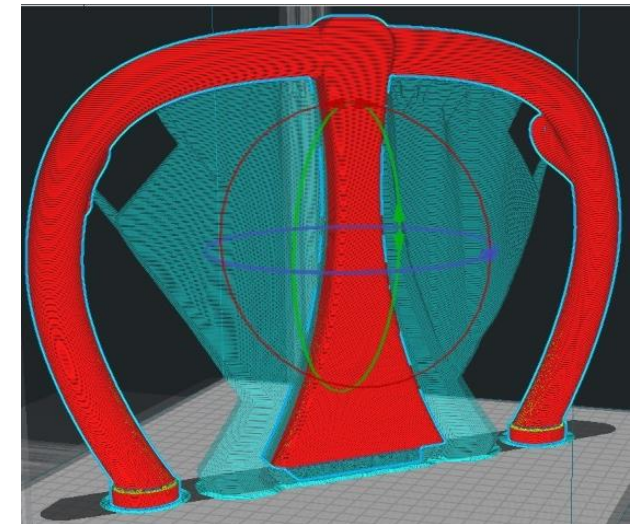
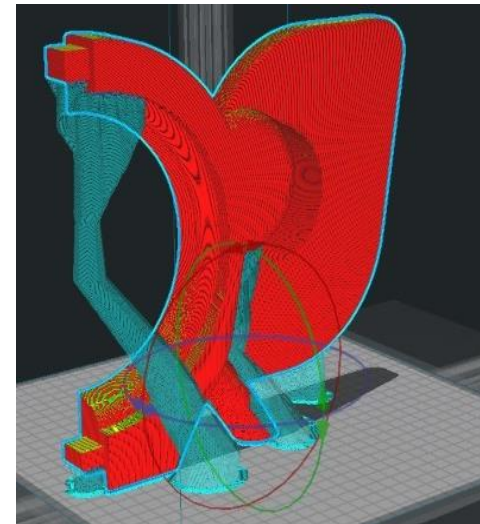
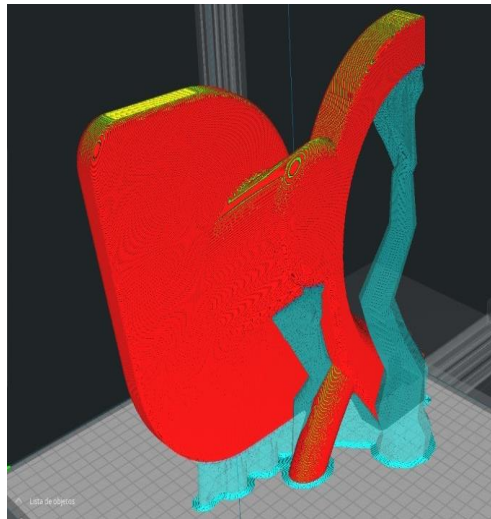
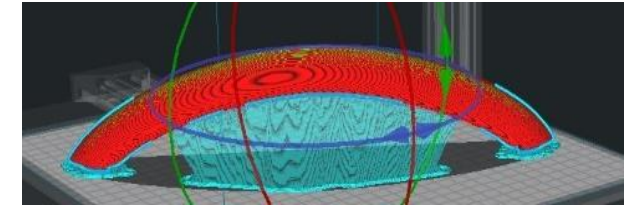
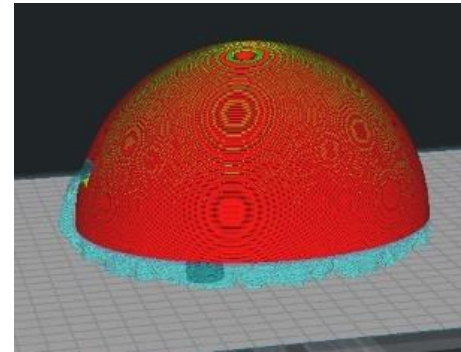
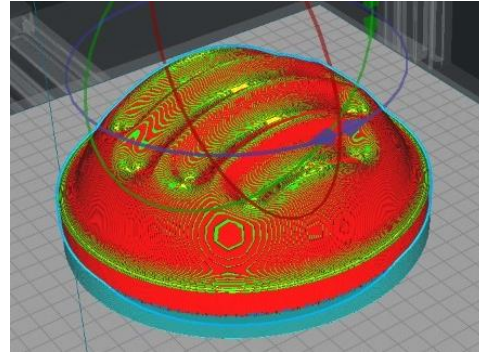


**TIEMPO
TOTAL**

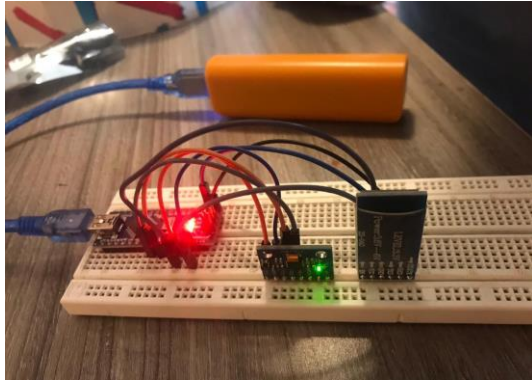
5 días

4 horas

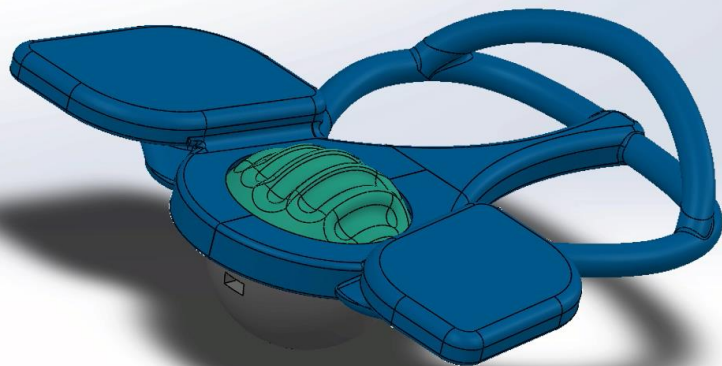
35 minutos







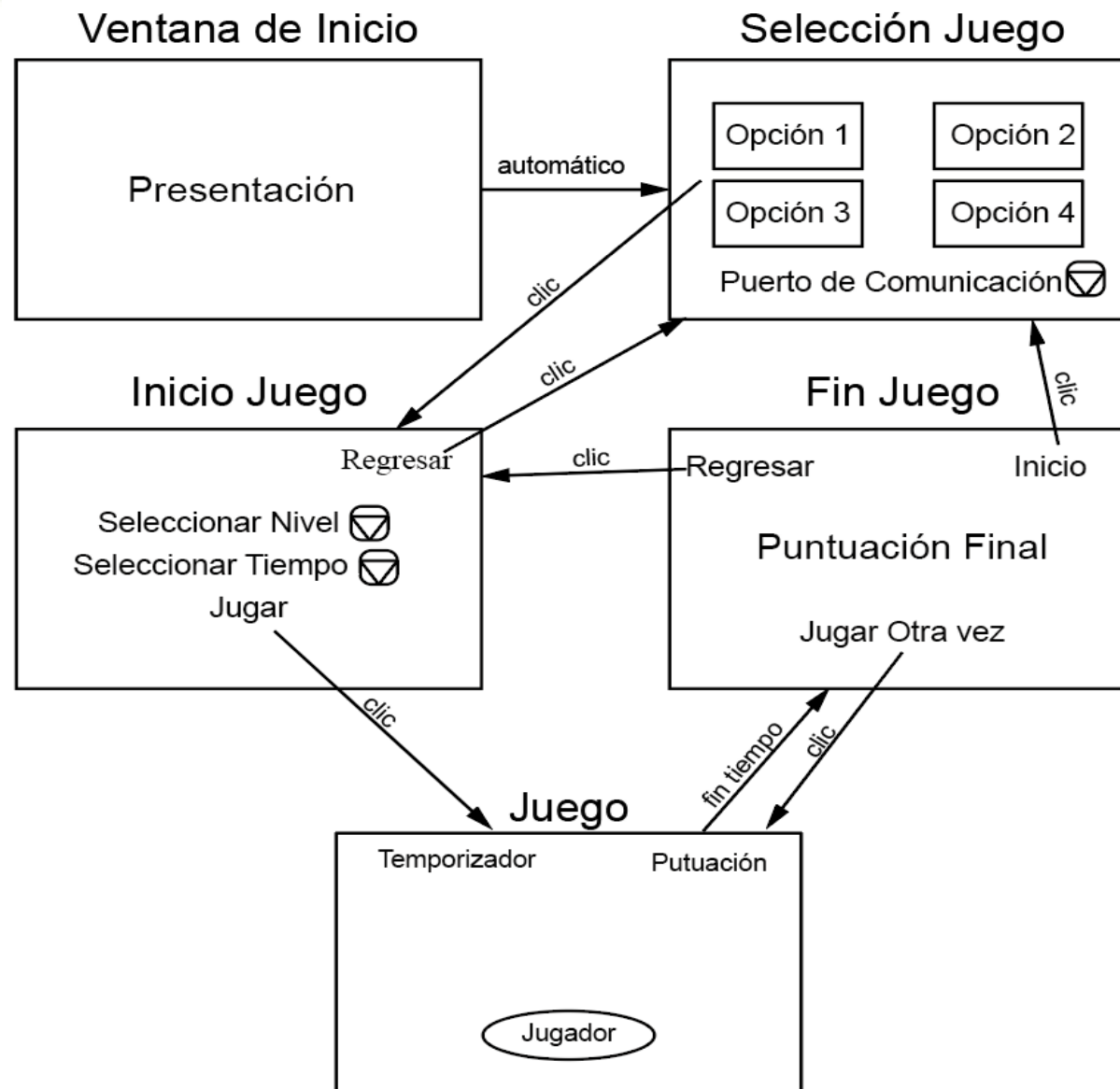
PRECIO DE COMPONENTES



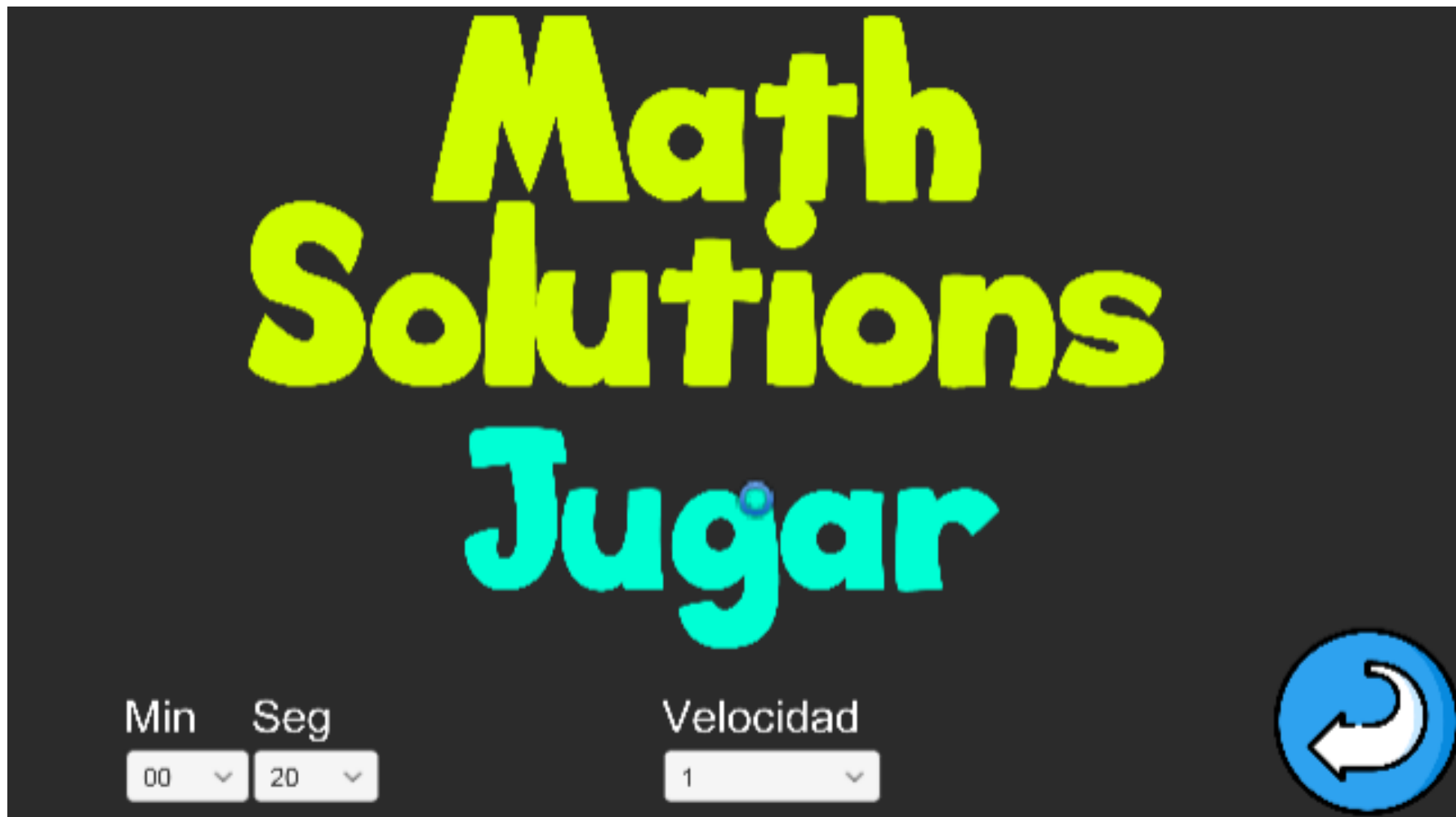
N	Componente	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Impresión 3D	7475	\$0.03	\$224.25
2	Recubrimiento de fibra	1	\$100.00	\$100.00
3	Masillado y pintado	1	\$150.00	\$150.00
4	Velcro	1	\$0.25	\$0.25
5	Led	1	\$0.10	\$0.10
6	Sensor MPU 6050	1	\$4.00	\$4.00
7	Arduino Uno	1	\$8.00	\$8.00
8	Módulo HC 05	1	\$6.00	\$6.00
9	Cable USB hembra a mini USB	1	\$1.00	\$1.00
10	Cables de protoboard	1	\$1.75	\$1.75
11	Interruptor	1	\$0.50	\$0.50
12	Computador	1	\$300.00	\$300.00
Total				\$795.85

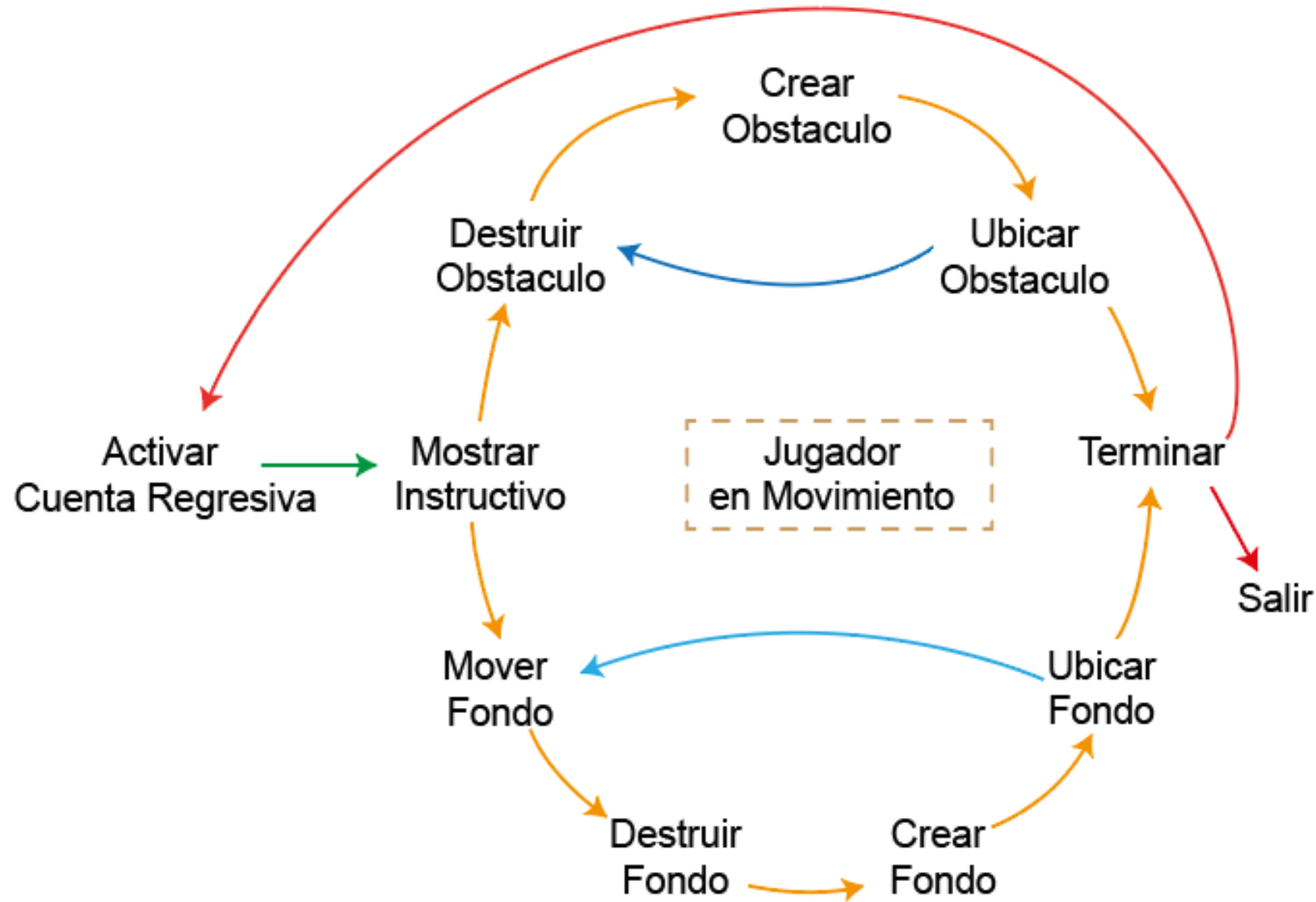




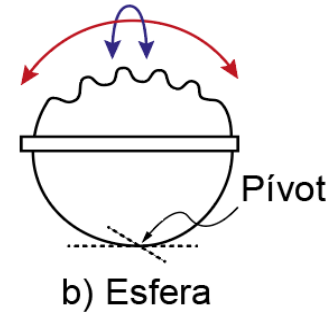
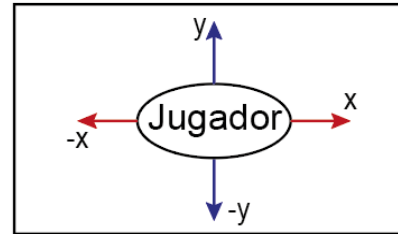




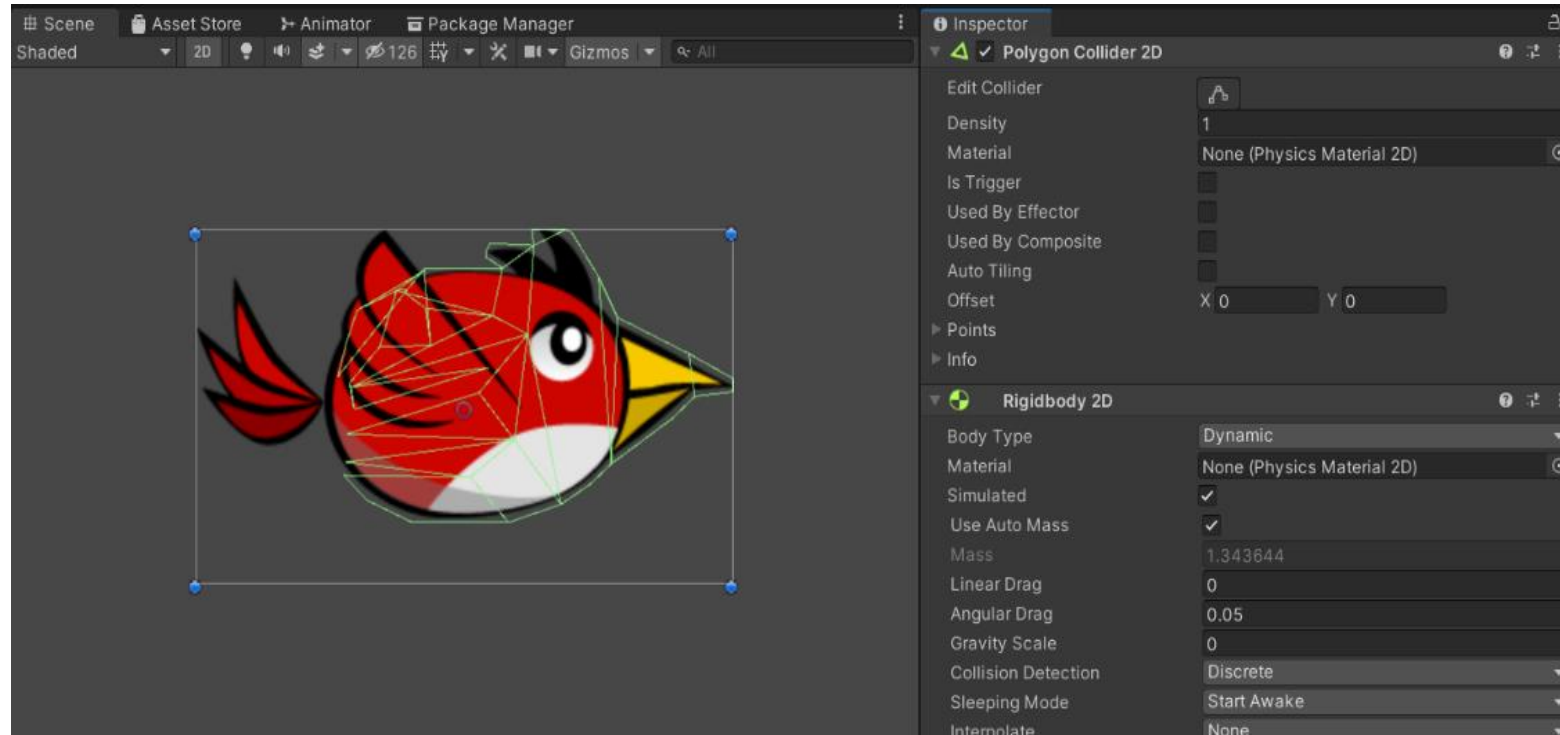




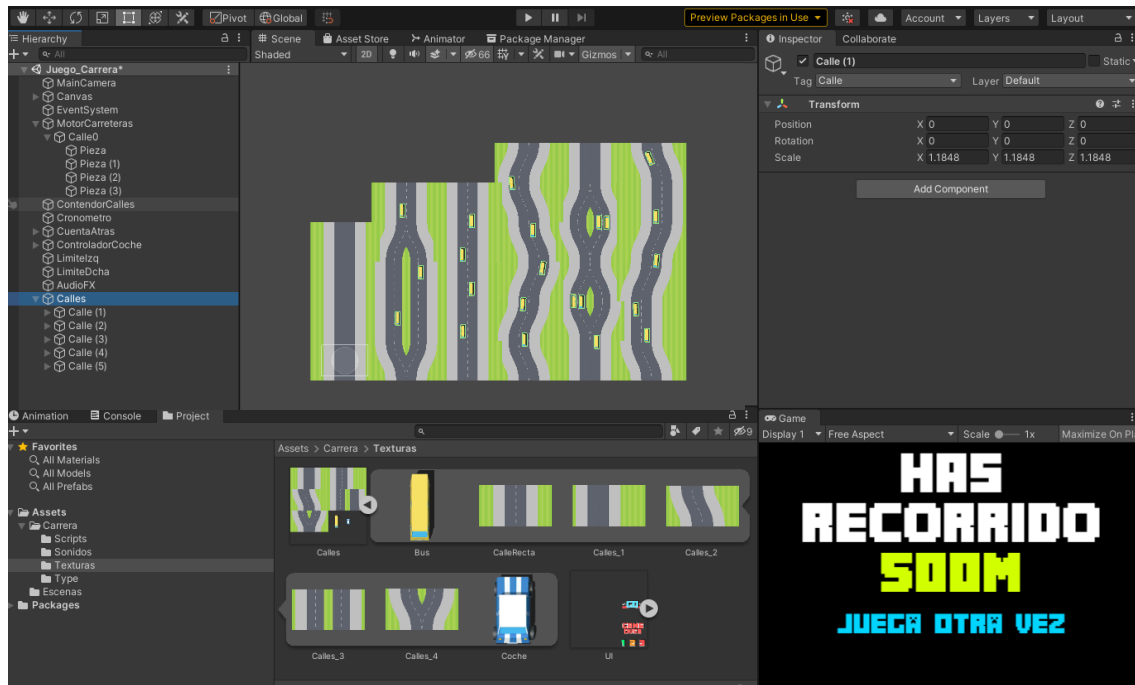
a) Ventana de juego



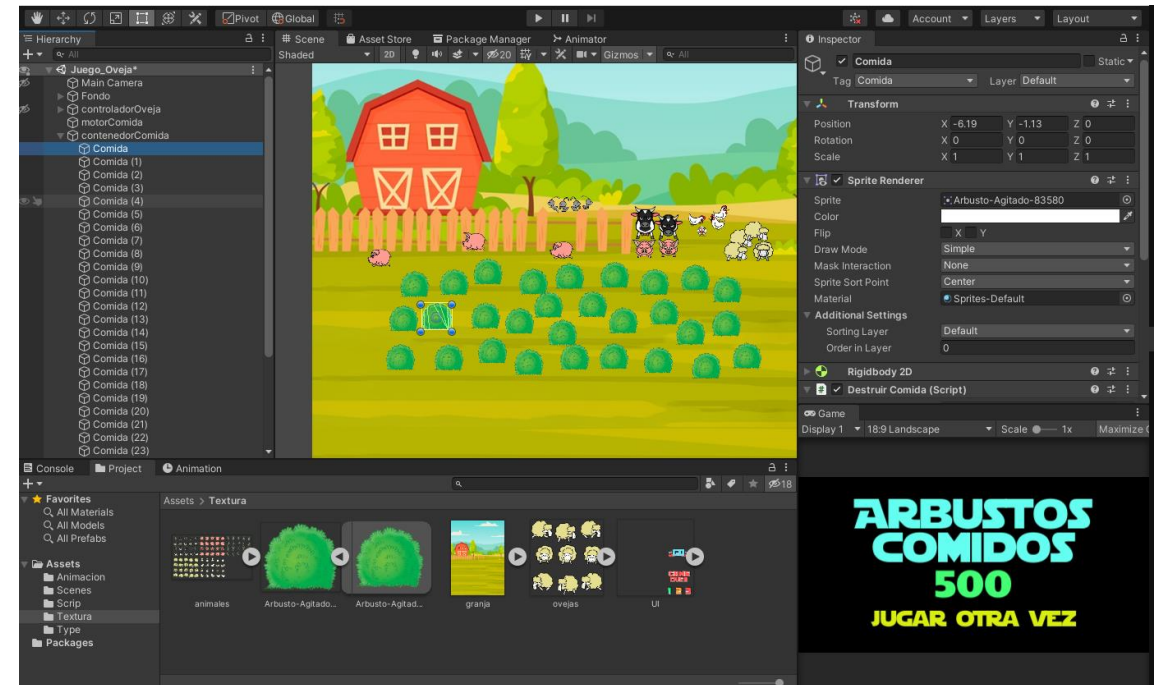
b) Esfera

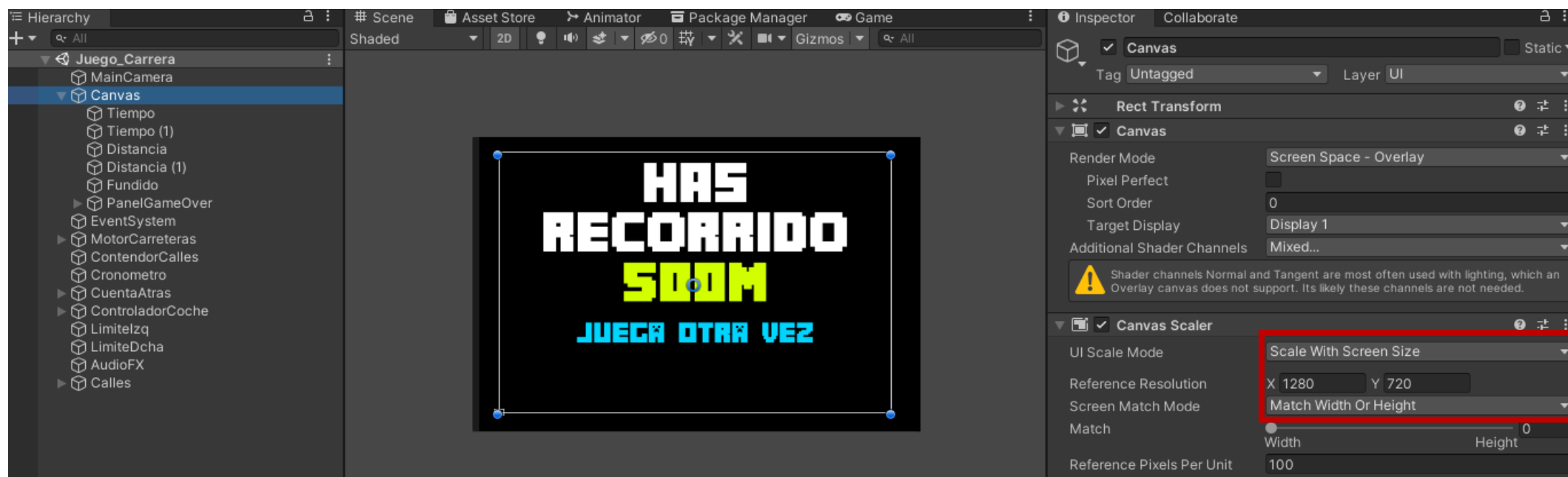


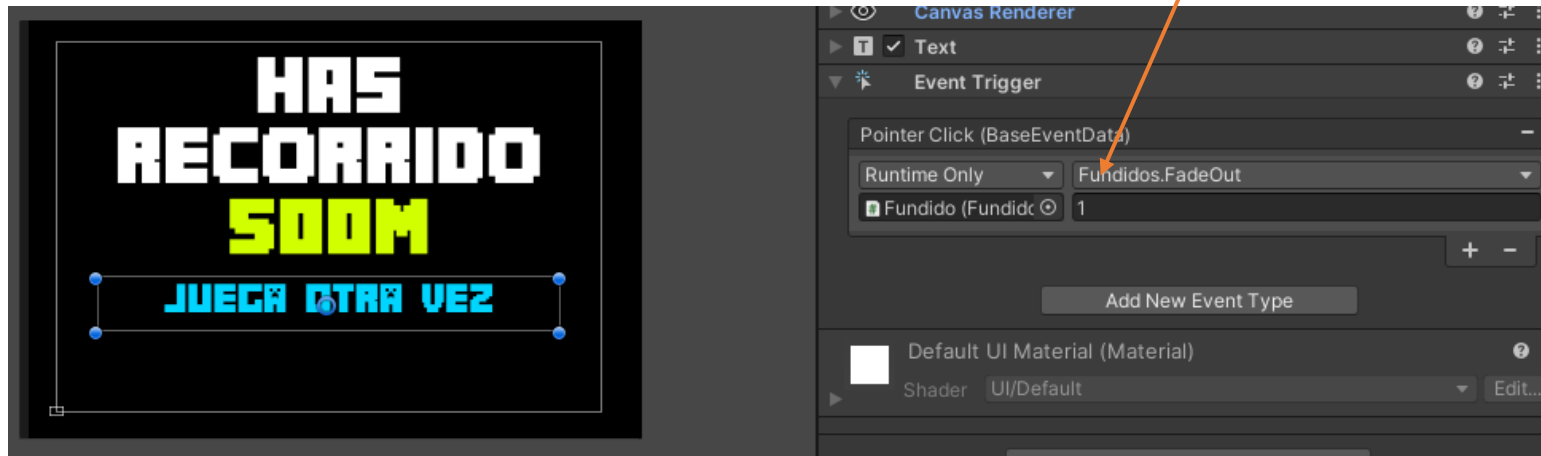
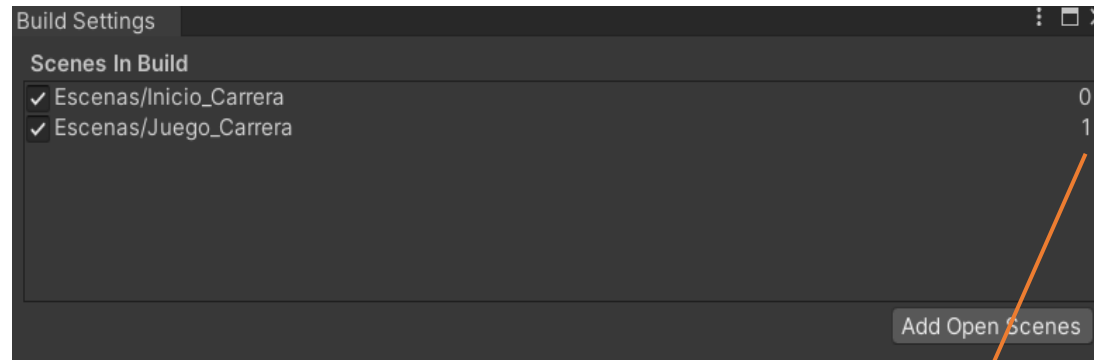
Fondos infinitos con objetos estáticos



Fondos estático con objetos infinitos

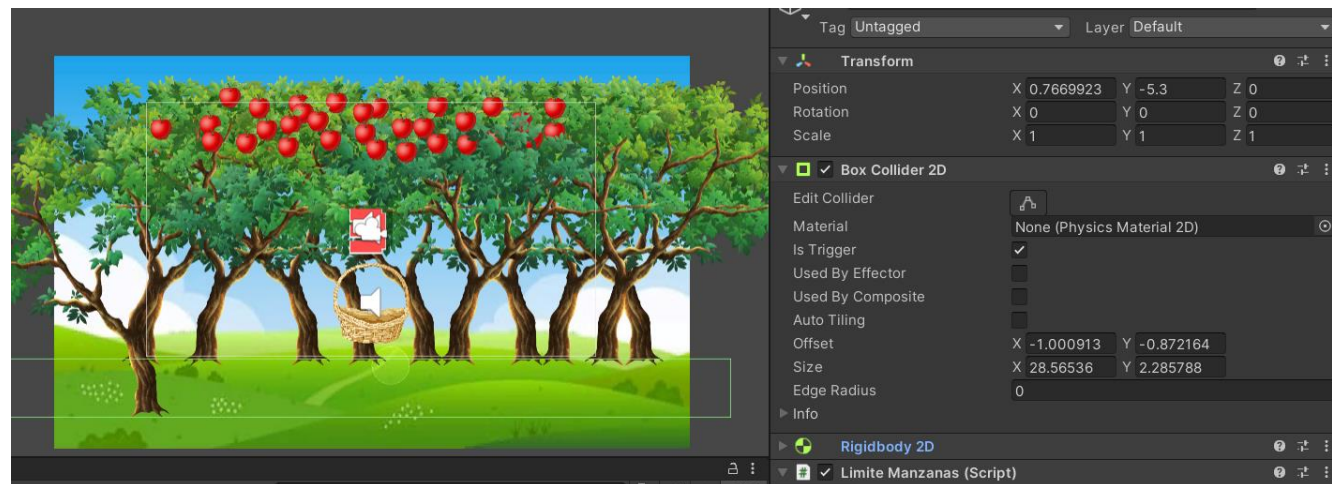




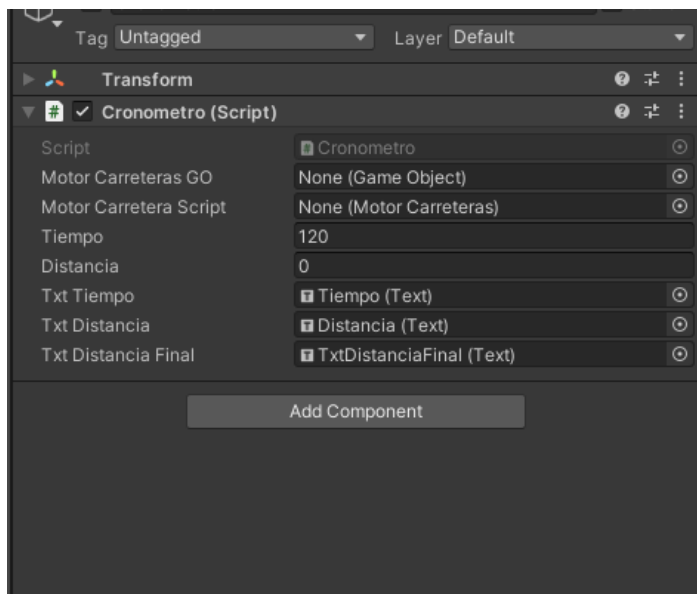
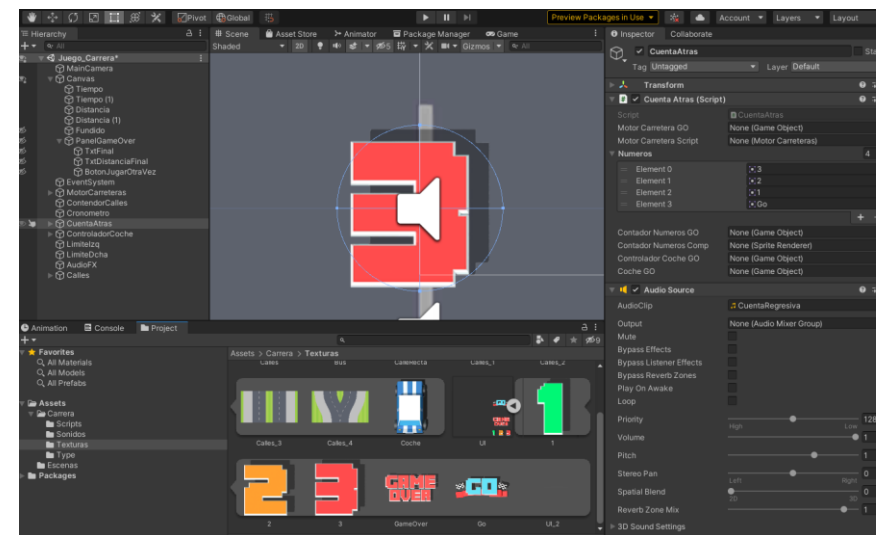


Eliminación de Objetos
Gravedad

Cronometro



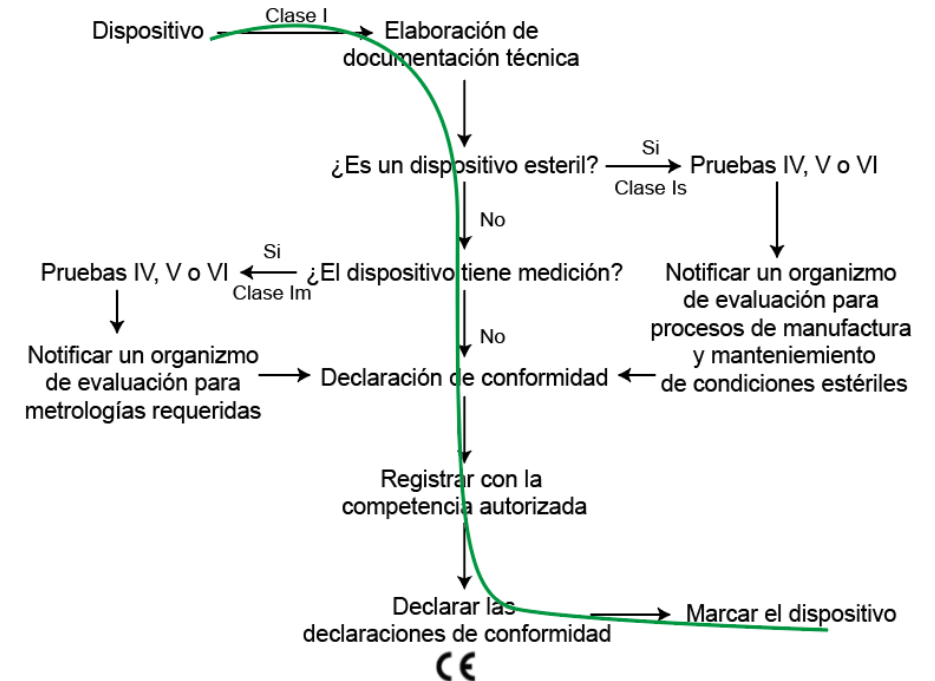
Cuenta
Regresiva



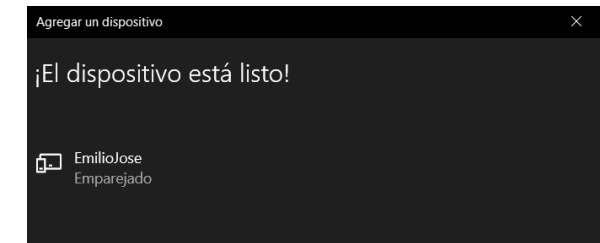
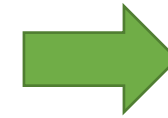
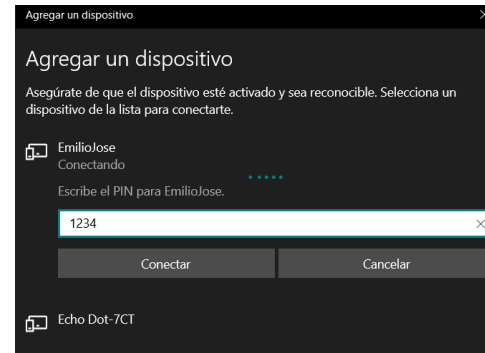
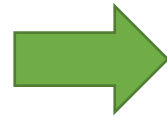
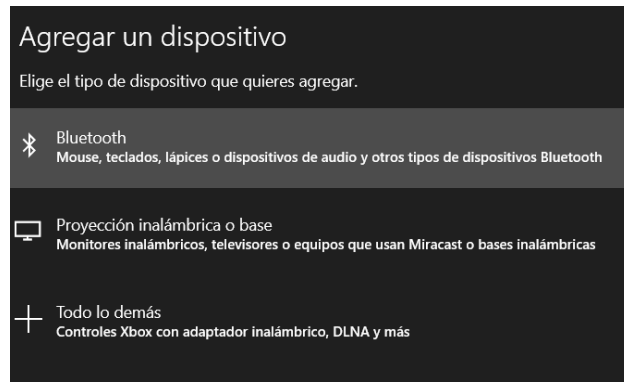




Estándares 94/42/EEC



Prueba	Tiempo de Carga	Tiempo de Descarga
1	22h 10min	3h
2	21h 60min	2h 50min
3	21h 40min	3h 10min



Tipo	Intentos	Conexión	Puerto	Auto conexión
Computador del desarrollador	1	Correcto	COM 4	Si
	2	Correcto	COM 4	Si
	3	Correcto	COM 4	Si
	4	Correcto	COM 4	Si
	5	Correcto	COM 4	Si
Computador de las pruebas	1	Correcto	COM 3	Si
	2	Correcto	COM 3	Si
	3	Correcto	COM 3	Si
	4	Correcto	COM 3	Si
	5	Correcto	COM 3	Si



Nombre del Juego	Ángulo x	Ángulo -x	Ángulo y	Ángulo -y
Crush Bus	12°	-11°	-	-
Apples Fall	12°	-13°	-	-
Math Solutions	13°	-13°	-	-
Sheep Eat	12°	-12°	7°	-7°
Asteroid Destroy	11°	-12°	-	-
Fly Bird	-	-	8°	-8°
Feed Fish	13°	-13°	9°	-8°
Surf Coins	-	-	6°	-8°



Tipo de movimiento	Prueba	Ángulo	Sentido	Tiempo (s)
Rápido	1	5° a -18°	y	3
	2	-8 a 15°	y	3
	3	0° a 10°	x	2
	4	10° a -1°	x	2
	5	-10 a 10°	x	3
Normal	1	10° a 4°	x	0
	2	3° a -10°	x	1
	3	3° a -6°	y	1
	4	-6° a 8°	y	1
	5	-6° a 4°	x	0
Lento	1	0° a 3°	x	0
	2	3° a 5°	x	0
	3	5° a 9°	y	0
	4	-4° a 3°	x	0
	5	-4° a -6°	y	0

Personal del patronato

N	Nombre	Edad	Cargo	Experiencia
1	Mag. Carlos Lopez	40	Fisioterapia y rehabilitación	18 años
2	Lic. Magdalena Patiño	59	Fisioterapeuta	20 años
3	Lic. Carla Alvear	29	Terapeuta estimulación temprana	2 años
4	Nicole Quimbita	21	Estudiante	
5	Jessica Udea	20	Estudiante	

Pacientes

N	Nombre	Edad	Enfermedad
1	Liam Yanez	4	Trastorno de lenguaje
2	Angela Muso	3	Visión limitada
3	Melanie Bautista	20	Enfermedad de Charcot
4	Cristian Lovato	28	Lesión en el brazo derecho
5	Elsa Villacis	73	Fractura dedo pulgar mano derecha
6	Diego Villavicencio	46	Esguince de manguito rotador
7	María Canchignio	60	Fractura de codo
8	Varia Bedón	46	Lesión de las clavículas





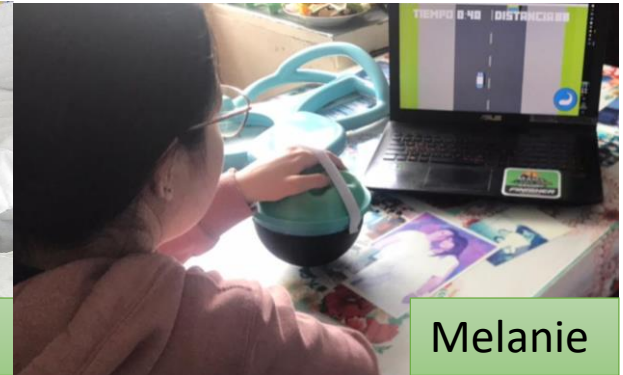
Mag. López



Lian



Angela



Melanie



Lic. Patiño



Cristhian



Elsa



Diego



Lic Alvear



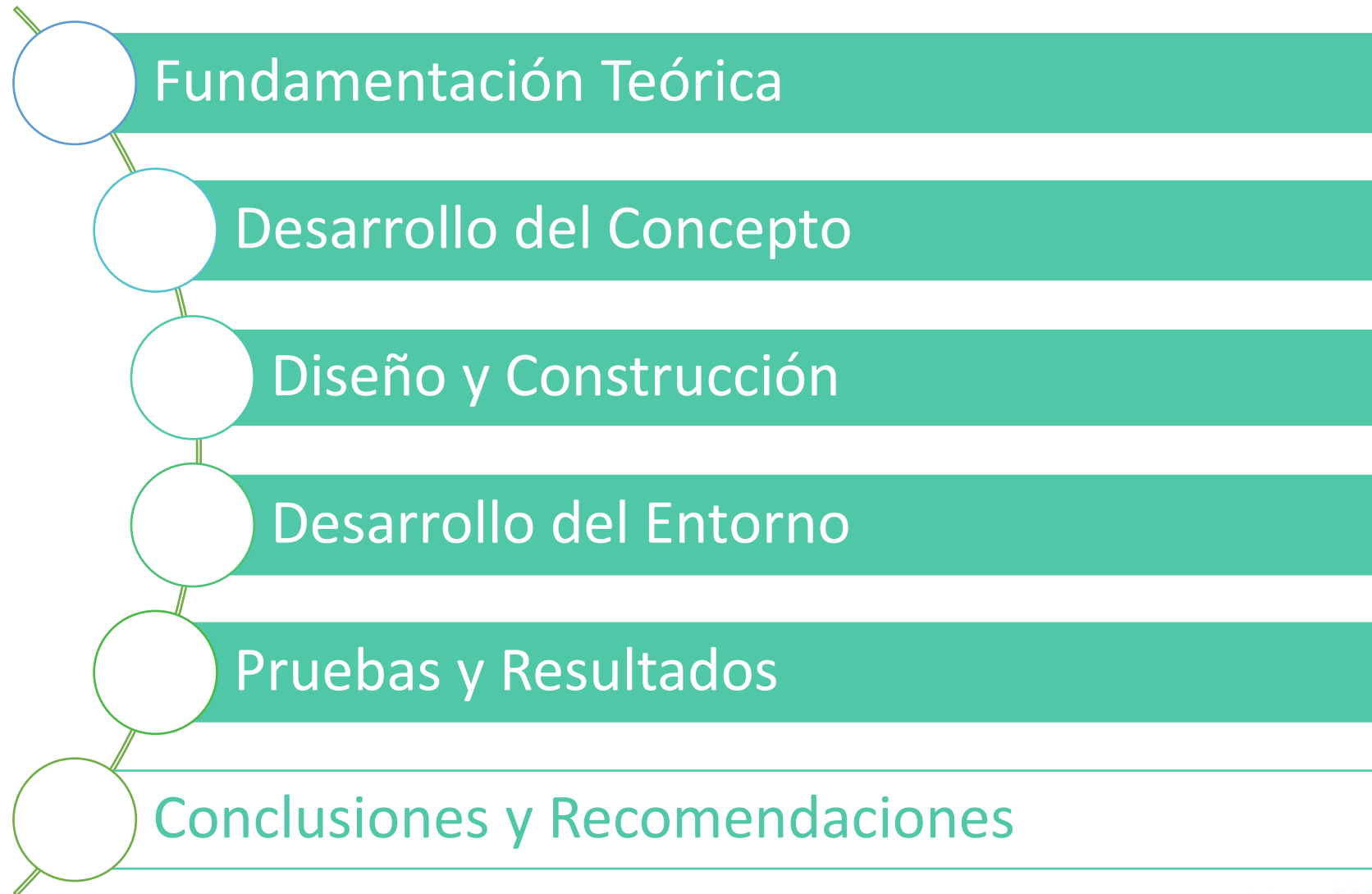
María



Valeria

Crush Bus	→	Medio
Apples Fall	→	Fácil
Math Solutions	→	Difícil
Sheep Eat	→	Fácil
Asteroid Destroy	→	Medio
Fly Bird	→	Difícil
Feed Fish	→	Medio
Surf Coins	→	Fácil





- Se construyó un sistema conformado por una parte física (Esfera de sensado, Apoyo de brazos, Computador) y una visual (Juegos de Unity), donde al girar la esfera sobre un punto fijo se recolectan los datos de los ángulos de orientación “X” y “Y” de la mano del usuario y se visualiza el movimiento correspondiente del jugador en la interfaz ayudando al proceso de rehabilitación de pacientes con movilidad reducida en extremidades superiores del Patronato Municipal de Amparo Social de Latacunga.
- Se desarrolló un sistema mecatrónico que satisface las necesidades de los usuarios, tanto de pacientes como terapeutas, el mismo que se basa en la normativa europea 94/42 EEC, siendo un dispositivo médico clase I no invasivo al paciente, y clase IIa correspondiente a dispositivos médicos de fisioterapia, por lo que se debe realizar pruebas de funcionamiento y tener la documentación o el manual del usuario.

- Se diseñó una esfera hueca en la cual se coloca la mano sobre la parte superior por medio de las hendiduras para los dedos, y un apoyo que se sobreponga a la esfera, con el fin de aumentar las zonas de trabajo del usuario, permitiendo colocar los codos sobre cada ala y las manos en la parte frontal de manera ergonómica, para el bosquejo se consideró las dimensiones de los ecuatorianos.
- Se construyó una esfera y un apoyo por medio de impresión 3D, el dispositivo de sensado tiene en su interior un controlador Arduino Nano, quien recibe las señales de un sensor MPU6050, los envía al computador por medio del módulo Bluetooth HC05, todo alimentado por medio de una Power Bank, debido a la fragilidad del sistema de apoyo se realizó recubrimiento con fibra de vidrio, masillado, lijado y pintado mejorando su apariencia, resistencia y durabilidad.

- Se desarrolló por medio de Unity una aplicación ejecutable .exe que consta de 8 juegos 2D con mecánicas infinitas, de los cuales Cruh Bus, Apple Fall, Math Solution, Asteriod Destroy se movilizan de izquierda a derecha, Fly Bird, Surf Coin se desplazan de arriba hacia abajo y Sheep Eat, Feed Fish con libre movilidad, los cuales se controlan en base a una velocidad y tiempo fijado antes de iniciar cada uno, ayudando a los pacientes en las diferentes etapas de rehabilitación.
- Se realizaron pruebas FAT una vez construido el sistema, con lo que se determinó que el sistema reacciona sin retraso cuando el movimiento se realiza lento, pero al realizar movimientos abruptos tienen un retardo de 2 segundos aproximados, pero para el proceso de rehabilitación no es considerable, también se determinó que el ángulo requerido no supera los 15° lo que ayuda a que el paciente no se lesione al usarlo

dentro de las pruebas SAT en el Patronato de Amparo Social de Latacunga se desarrolló un análisis de funcionamiento en 8 pacientes y 3 fisioterapeutas obteniendo reacciones positivas con un alto grado de aceptabilidad.

- Se implementó el sistema de rehabilitación en el Patronato Municipal de Amparo Social de Latacunga para pacientes con movilidad reducida en extremidades superiores, y como parte extra pudieron utilizar los pacientes de estimulación temprana y terapia de lenguaje teniendo una acogida superior de 3.5/4.

- Para que la interfaz desarrollada en Unity funcione se debe correr en sistema operativo Windows, debido que para usar en Android se necesitan otras librerías para la conexión con Arduino, por lo que se recomienda que en futuros proyectos se las implemente y se genere los ejecutables de GoogleStore con el fin de que el sistema sea portátil hacia zonas alejadas.
- El sistema puede ser utilizado por pacientes de todas las edades, se recomienda que para niños menores de 7 años se desarrolle un adaptador que calce de mejor manera a su mano.

- Debido a que la realización del proyecto fue en pandemia era difícil la adquisición de diferentes elementos, por lo que se recomienda colocar dos sensores de orientación en forma de cruz para obtener la posición del eje Z u otro sensor de mejor características, y así obtener nuevas posturas de movimiento en el proceso de rehabilitación, o se pudiera usar un ESP32 para unificar el Arduino y el módulo Bluetooth.
- Para una mejor comodidad del usuario se recomienda utilizar un dispositivo táctil sobre el cual se muestre la interfaz gráfica de usuario.
- Se recomienda desarrollar más juegos, considerando versiones en 3D para una mejor inmersión del usuario dentro de la plataforma.