



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS
APLICADAS

CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

TEMA:

“DISPOSITIVO DE APOYO PARA TERAPIAS DE
COMUNICACIÓN Y APRENDIZAJE EN PACIENTES CON
PARÁLISIS CEREBRAL”

AUTOR: Jean Paúl Herrera Moncayo

DIRECTOR: PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio

Ibarra-Ecuador

2021



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE. BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	0401863618		
APELLIDOS Y NOMBRES:	Herrera Moncayo Jean Paúl		
DIRECCIÓN:	Imbabura, Ibarra		
EMAIL:	jpherreram1@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:		TELÉFONO MÓVIL:	0987605438

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISPOSITIVO DE APOYO PARA TERAPIAS DE COMUNICACIÓN Y APRENDIZAJE EN PACIENTES CON PARÁLISIS CEREBRAL
AUTOR:	Jean Paúl Herrera Moncayo
FECHA: DD/MM/AAAA	21/10/2021
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	Pregrado
TITULO POR EL QUE OPTA:	Ingeniería en Mecatrónica
ASESOR /DIRECTOR:	PhD. Brizeida Nohemí Gámez Aparicio



**UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE.
BIBLIOTECA UNIVERSITARIA**

**AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN
A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE**

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se la desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que asume la responsabilidad sobre el contenido de esta y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamación por parte de terceros.

Ibarra, a los 21 días del mes de octubre del 2021

EL AUTOR:

(Firma).....

Nombre: Jean Paúl Herrera Moncayo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo previo a la obtención del título de Ingeniero en Mecatrónica con el tema **DISPOSITIVO DE APOYO PARA TERAPIAS DE COMUNICACIÓN Y APRENDIZAJE EN PACIENTES CON PARÁLISIS CEREBRAL**, fue desarrollado por el Sr. Jean Paúl Herrera Moncayo, bajo mi dirección.



Firmado electrónicamente por:
BRIZEIDA NOHEMI
GAMEZ APARICIO

PhD. Brizeida Gámez.

DIRECTOR



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

AGRADECIMIENTOS

Todos crecemos distinto, pero estamos llenos de anhelos y con la suerte de poder soñar. Son las personas a nuestro alrededor quienes hacen de estos sueños una intención, brindando su apoyo para que construyamos nuestro camino. Mis más sincera muestra de gratitud a todas las personas que han formado parte de mi vida y de este trabajo.

A mi tutora la PhD. Brizeida Gámez, quien a través de su guía me encamino a completar esta actividad como algo mucho más lindo que una tarea.

Al Centro de Desarrollo Integral “Renacer”, por brindarme la confianza con sus pacientes y mostrarme que el cariño de las personas son el combustible del planeta.

A mi familia: Fabricio, Jady, Joseph y Brayán por ser parte de cada una de las etapas de mi vida y a toda la gama de sentimientos que han generado en mí.

A mis abuelos y familiares: Livi, Iva, Carlos, Katy, Sofi y Samy por convertirse en mis consejeros y una segunda familia. No por último menos importantes: Pili y Napo quienes han sido de muchísima inspiración para mí.

A todos mis amigos, con quienes aprendí un tantito de la vida.

Jean Paúl H. Moncayo



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE
FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA

DEDICATORIA

A mi hermanito Joseph, quién sin saberlo formo parte de este proceso desde sus inicios.
Agradezco el tiempo y la motivación que me brindaste.

Tras responder tus dudas acerca del mundo, me has hecho entender el verdadero significado de este trabajo.

Jean Paúl H. Moncayo

RESUMEN

Se presenta el diseño e implementación de un dispositivo de tecnología asistida para personas con cuadriplejía, enfocado hacia el estímulo del aprendizaje y comunicación a partir de movimientos cervicales. Con este dispositivo se pretende ofrecer una herramienta para pacientes que requieren terapias de rehabilitación en la vida cotidiana. Para obtener el modelo, se plantearon dos alternativas de solución, basadas en las características esperadas y restricciones de un paciente seleccionado en el Centro de Desarrollo Integral “Renacer” ubicado en el Cantón Otavalo. Empleando el método de ponderación de soluciones según cada criterio, así como un análisis de Despliegue de la Función Calidad (QFD) se seleccionó la mejor propuesta. El dispositivo obtenido es un tablero de comunicación que ofrece 15 comandos que el paciente, previo entrenamiento, puede activar con movimientos cervicales empleando un casco, conectado a un puntero graduable, permitiendo establecer comunicación con las personas de su entorno. Adicionalmente, el tablero posee de una opción selectora de canciones y el sistema de casco-puntero puede ser utilizado por el paciente para colorear.



ABSTRACT

The development and implementation of an assistive technology device for quadriplegics are discussed, with a focus on the stimulation of learning and communication through cervical movements. This device is designed to provide a tool for patients who need rehabilitation therapies daily. Two solution alternatives were proposed to obtain the model, based on the expected characteristics and restrictions of a selected patient at the Otavalo Canton's Integral Development Center "Renacer."

The best proposal was chosen using a Quality Function Deployment (QFD) analysis and the solution weighting method, which took each criterion into account. The created device is a communication board with 15 commands that the patient can activate with cervical movements using a helmet connected to an adjustable pointer, allowing communication with those around them after training. In addition, the board has a song selector, and the patient can color images using the helmet-pointer system.

Reviewed by Víctor Raúl Rodríguez Viteri

INDICE GENERAL

CAPÍTULO I	1
1 El Problema	1
1.1 Descripción del Problema.....	1
1.2 Objetivos.....	3
1.2.1 Objetivo general.....	3
1.2.2 Objetivos específicos	3
1.3 Justificación	3
1.4 Alcance	4
CAPÍTULO II.....	5
2 Bases Teóricas.....	5
2.1 Antecedentes.....	5
2.1.1 Terapia ocupacional para mejorar la motricidad de los miembros superiores.....	5
2.1.2 Dispositivos de asistencia para movimientos cervicales	6
2.1.3 Modelo de apoyo para el acceso a internet de una persona con cuadriplejía	7
2.1.4 Mejora de niños con PC después de fisioterapias basadas en movimientos de cabeza y juegos serios	9
2.2 Fundamentos Teóricos.....	10
2.2.1 Parálisis cerebral	10
2.3 Causas de la Parálisis Cerebral (etiología y factores de riesgo)	11
2.4 Clasificación de la Parálisis Cerebral	11
2.4.1 Clasificación de acuerdo con la topografía.....	11
2.4.2 Clasificación clínica.....	12
2.4.3 Clasificación funcional	12
2.5 Características Clínicas.....	13
2.6 Efectos de la Parálisis Cerebral	14
2.6.1 Parálisis cerebral espástica.....	14
2.6.2 Parálisis cerebral atetósica	15
2.6.3 Parálisis cerebral atáxica.....	16
2.6.4 Parálisis cerebral mixta.....	17
2.7 Tratamientos	17
2.7.1 Ortesis	18
2.7.2 Farmacoterapia.....	19
2.7.3 Tratamiento quirúrgico	19

2.8	Fisioterapia Neurológica.....	19
2.8.1	Método de Bobath.....	20
2.8.2	Método de Vojta	20
2.8.3	Método de Petö	20
2.8.4	Método de Doman-Delacato	21
2.9	Terapias de Comunicación y Aprendizaje.....	21
2.9.1	Evaluación del lenguaje	21
2.9.2	Diseño del tratamiento	21
2.9.3	Limitaciones de comunicación por trastorno motor	22
2.9.4	Requerimientos para el acceso a la escritura y la preescritura.....	23
2.9.4.1	Necesidad de un medio de acceso a la escritura.....	23
2.9.4.2	Actividades de prelectura en alumnos no vocales.....	24
2.9.5	Acceso al código escrito	24
2.9.5.1	Ganar agilidad en el proceso motor de escribir, sin perder inteligibilidad	25
2.9.5.2	Entrenar procedimientos más complejos.....	25
2.10	Tecnologías Empleadas Para Dispositivos Dirigidos a Pacientes con PC	26
2.11	Dispositivos de Apoyo de Carácter Comercial Para Personas con PC.....	26
2.11.1	Sistemas guiados por el movimiento de la cabeza.....	27
2.11.1.1	enPathia	27
2.11.1.2	TrackerPro 2.....	27
2.11.1.3	Quha Zono 2.....	27
2.11.2	Sistemas guiados por el movimiento de ojos o parpados	28
2.11.2.1	a-blinX.....	28
2.11.2.2	EyeMobile Plus "Access" - con Windows Control software	28
2.11.2.3	Nous™	28
2.11.3	Sistemas guiados a través del movimiento de la boca o lengua	29
2.11.3.1	Tongo	29
2.11.3.2	SmartMouthware.....	29
2.11.3.3	IntegraMouse Plus.....	29
2.11.4	Sistemas guiados a través de la voz	29
2.11.4.1	Dragon Naturally Speaking	29
2.11.4.2	SpeechTexter.....	30
2.11.4.3	SpeechLogger.....	30
CAPÍTULO III.....		31

3	Marco Metodológico	31
3.1	Modelo de la Investigación.....	31
3.2	Diseño de la Investigación.....	31
3.2.1	Examen de las técnicas empleadas por profesionales para el desarrollo de terapias de comunicación y aprendizaje	32
3.2.2	Diseño un dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje.	32
3.2.3	Construcción del dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y/o aprendizaje	34
3.2.4	Evaluación de resultados con pruebas del dispositivo.....	34
CAPÍTULO IV.....		36
4	Resultados y Análisis	36
4.1	Especificaciones del Sistema a Diseñar.....	36
4.2	Planteamiento de Alternativas de Solución.....	37
4.2.1	Primera alternativa de solución.....	38
4.2.2	Segunda alternativa.....	40
4.3	Características del Sistema Por Diseñar	43
4.4	Diseño del Dispositivo de Apoyo.....	47
4.4.1	Casco de bicicleta	47
4.4.2	Sistema casco-puntero	48
4.4.2.1	Base de sujeción (3)	48
4.4.2.2	Tapa (2).....	48
4.4.3	Varilla	49
4.4.4	Adaptador de elementos.....	49
4.4.5	Esfera de sujeción	50
4.4.6	Sistema tablero.....	50
4.4.6.1	Laterales	50
4.4.6.2	Panel de acciones (12).....	51
4.4.6.3	Base (11)	52
4.4.6.4	Portador de imagen (13).....	53
4.5	Análisis Estático del Sistema Casco-Puntero	53
4.6	Diseño del Sistema de Control	55
4.6.1	Medidores de presión.....	56
4.6.2	Selección de sensor para medición de fuerza	56
4.6.3	Especificaciones del sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico	57

4.6.3.1	Sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico	58
4.6.4	Selección de acciones de comunicación	59
4.6.5	Modulo DFPlayer Mini MP3	59
4.6.6	Microcontrolador	61
4.6.6.1	Selección de microcontrolador	61
4.6.6.2	Especificaciones del microcontrolador Arduino Mega.....	61
4.6.7	Mesa inclinable	62
4.6.8	Mini Parlante.....	63
4.6.9	Sistema de alimentación energética	64
4.6.9.1	Batería de litio recargable 126090	64
4.6.9.2	Placa de carga para batería de litio por Micro USB 5V – 1A.	65
4.6.9.3	Tiempo de descarga en batería.	66
4.6.10	Programación del controlador.....	67
4.6.10.1	Diagrama de flujo.....	67
4.6.10.2	Control de presión y fuerza.	67
4.6.10.3	Diagrama de conexión.....	68
4.6.10.4	Shield para Arduino Mega 2560	68
4.7	Construcción y Ensamblaje.	68
4.7.1	Fabricación del sistema casco-puntero	69
4.7.1.1	Ensamblaje del sistema casco-puntero	70
4.7.2	Fabricación de la estructura del sistema tablero	70
4.7.3	Fabricación de la base para la batería y su placa de carga.....	71
4.7.4	Fabricación de soporte para mini parlantes	72
4.7.5	Grabación de audio para acciones de comunicación	72
4.7.5.1	Ensamblaje de estructura del sistema tablero.....	73
4.7.5.2	Ensamblaje del sistema electrónico.....	73
4.7.5.3	Ensamblaje del sistema tablero	74
4.8	Análisis de Costos	74
4.9	Pruebas de Funcionamiento.....	76
CAPÍTULO V.....		79
5	Manual de Operación y Mantenimiento.....	79
5.1	Desarrollo de la Guía de Usuario	79
5.1.1	Información preliminar	79
5.1.2	Descripción general	79

5.1.3	Descripción del sistema casco-puntero	79
5.1.3.1	Ajustes iniciales del sistema.....	79
5.1.4	Descripción del sistema tablero	81
5.1.4.1	Control de encendido y carga.....	81
5.1.4.2	Control de Audio	81
5.1.4.3	Panel de acciones	82
5.1.4.4	Ajustes iniciales del sistema.....	82
5.1.5	Precauciones.	82
5.1.6	Riesgos.....	83
CONCLUSIONES		84
RECOMENDACIONES.....		85
REFERENCIAS.....		86
ANEXOS		89
A.	Código de Programación	89
B.	Diagrama de Flujo	91
C.	Diagrama de Conexiones.....	92
D.	Varilla de Aluminio	93
E.	Sensor Piezoeléctrico Cerámico	94
F.	Batería Modelo: LP126090	95
G.	Planos Mecánicos	97

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.1 Esquema de usuario con "Licornio Láser" en habitación adaptada [31].....	6
Figura 2.2 Interior de interruptor Diana para "Licornio Láser" donde se observa las dos zonas fotosensibles asociadas a los LEDs Rojo y Verde [31].	7
Figura 2.3 Ilustración de la configuración de puntero cefálico para iPad® que uso Bill en el transcurso del entrenamiento [32].....	8
Figura 2.4 Sesión de entrenamiento con "Enlaza" colocado en una gorra de béisbol, controlando el juego "Extreme Tux Racer" [33].	10
Figura 2.5 Sistema de clasificación de la función motora gruesa (GMFCS), que cataloga cómo se moviliza un niño con parálisis cerebral de 6 – 12 años [13].....	13
Figura 2.6 Ortesis utilizada como complemento del tratamiento de fisioterapia cuando el paciente presenta pie quino dinámico [16].....	18
Figura 4.1 Alternativa de solución N°1 (Puntero cefálico), (a) Vista isométrica, (b)Vista de detalle (esfera de sujeción).....	38
Figura 4.2 Alternativa de solución N°1 (Tablero de comunicación aumentativa), (a) Vista dimétrica frontal, (b)Vista dimétrica posterior, (c)Vista de detalle (panel de acciones).	39
Figura 4.3 Alternativa de solución N°2 (Puntero cefálico), (a) Vista isométrica, (b)Vista de detalle (unión entre pestañas A y B).	41
Figura 4.4 Alternativa de solución N°2 (Tablero de comunicación aumentativa digital), (a) Vista dimétrica frontal, (b)Vista dimétrica posterior, (c) Vista de detalle (panel de acciones).	42
Figura 4.5 Vista en explosión del sistema diseñado (a) Casco-puntero, (b) Tablero	44
Figura 4.6 Configuración angular y longitudinal sistema casco-puntero (a) Rotación neutra, (b) Rotación -26.5°, (c) Rotación +26.5°.	46
Figura 4.7 Dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje en pacientes con parálisis cerebral.	46
Figura 4.8 Casco de ciclista para carretera.	47
Figura 4.9 Sistema angular (a) Base de sujeción (b) Tapa; modelo 3D.	49
Figura 4.10 Varilla de aluminio; modelo 3D.	49
Figura 4.11 Adaptador de elementos; modelo 3D.	50
Figura 4.12 Esfera de sujeción; modelo 3D.....	50
Figura 4.13 Partes laterales (a) Ensamblaje (b) Lateral superior (c) Lateral inferior (d) Lateral derecho (e) Lateral izquierdo; modelo 3D.	51
Figura 4.14 Panel de acciones; modelo 3D.....	52
Figura 4.15 Base; modelo 3D.	52
Figura 4.16 Portador de imagen; modelo 3D.....	53
Figura 4.17 Análisis estático sistema casco-puntero; (a) puntos de fijación (b) esfuerzo de Von Mises, (c) desplazamiento máximo, (d) factor de seguridad.	54
Figura 4.18 Diagrama de bloques del sistema tablero.	56

Figura 4.19 Sensor piezoeléctrico de diafragma (a) Elemento real (b)Partes y funcionamiento [44].	58
Figura 4.20 Plano de sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico (Unidades: mm) [44].	58
Figura 4.21 Acciones de comunicación del sistema tablero.	59
Figura 4.22 Módulo DFPlayer Mini MP3.	60
Figura 4.23 Arduino Mega.	62
Figura 4.24 Mesa inclinable de la maraca artecma.	63
Figura 4.25 Mini parlante de la maraca AMERICAN XTREME.	63
Figura 4.26 Batería de iones de litio 3.7v 8000mah recargable 126090.	64
Figura 4.27 Placa de carga para batería de litio por Micro USB 5V – 1A.	65
Figura 4.28 Shield para Arduino Mega 2560 con terminales de bloque.	68
Figura 4.28 Base de sujeción impresa en 3D.	69
Figura 4.29 Varilla de aluminio.	69
Figura 4.30 Ensamblaje del sistema casco-puntero.	70
Figura 4.31 Estructura del sistema tablero.	70
Figura 4.32 Portadores de imágenes con sensores Piezoeléctricos.	71
Figura 4.33 Base para batería y placa de carga.	71
Figura 4.34 Soporte para mini parlantes.	72
Figura 4.35 Toma de audios para acciones de comunicación.	72
Figura 4.36 Estructura del sistema tablero ensamblada.	73
Figura 4.37 Sistema electrónico ensamblado.	73
Figura 4.38 Ensamblaje del sistema tablero.	74
Figura 4.39 Actividades grafomotoras con dispositivo casco-puntero.	76
Figura 4.40 Pruebas de funcionamiento del sistema tablero.	77
Figura 5.1 Instrucciones de ensamblaje, sistema casco-puntero.	80
Figura 5.2 Control de encendido y carga, sistema tablero.	81
Figura 5.3 Control de audio, sistema tablero.	82
Figura 5.4 Zona para pulsar dentro de cada acción, sistema tablero.	82

INDICE DE TABLAS

Tabla 4.1 Listado de Piezas Primera Alternativa.....	40
Tabla 4.2 Listado de Piezas Segunda Alternativa.....	43
Tabla 4.3 Listado de Piezas que Conforman el Sistema Diseñado.....	44
Tabla 4.4 Especificaciones comerciales del casco.....	47
Tabla 4.5 Caracterización del material PETG [41].....	48
Tabla 4.6 Caracterización del material MDF de 3mm de espesor [42].	51
Tabla 4.7 Resultados de análisis de esfuerzos, desplazamiento y factor de seguridad del sistema casco puntero.	55
Tabla 4.8 Criterios de selección de sensores para medición de fuerza [43].	57
Tabla 4.9 Especificaciones técnicas del sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico [44].	58
Tabla 4.10 Especificaciones del Módulo DFPlayer Mini MP3 [45].	60
Tabla 4.11 Análisis de microcontroladores.	61
Tabla 4.12 Especificaciones del microcontrolador Arduino Mega [46].	62
Tabla 4.13 Especificaciones de Mini Parlante [47].	63
Tabla 4.14 Especificaciones de batería recargable 126090 [48].	64
Tabla 4.15 Especificaciones de Placa de carga [49].	65
Tabla 4.16 Consumo de carga por elemento.....	66
Tabla 4.17 Costos de construcción de sistema casco-puntero.	74
Tabla 4.18 Costos de construcción de sistema tablero.	75
Tabla 4.19 Pruebas realizadas al sistema casco-puntero.	76
Tabla 4.20 Pruebas realizadas al sistema tablero.....	77

CAPÍTULO I

1 El Problema

El presente capítulo muestra el problema a tratar y las características que lo generan, además aborda las partes que conforman la investigación a tratar como: objetivos, justificación y alcance.

1.1 Descripción del Problema

La Parálisis Cerebral (PC) es un trastorno crónico que se detecta durante la etapa precoz de la vida de una persona y produce efectos como limitaciones de movimiento, alteraciones de tono muscular y postura, déficit intelectual y epilepsia. A pesar de no existir una cura ni un tratamiento específico, la parálisis cerebral es un trastorno no progresivo que puede mejorar gradualmente con terapia [1].

La PC es un problema a nivel mundial con una incidencia de alrededor de 1,5 a 2,5 casos por cada 1.000 nacidos vivos y a pesar de todos los avances tecnológicos en el campo perinatal, no ha disminuido en los últimos 20 años. De acuerdo con la Carga Mundial de Morbilidad existen 190 millones de personas con algún tipo de discapacidad grave donde se asocian afecciones como la cuadriplejía, depresión o ceguera [2] [3].

Actualmente, en el Ecuador no se cuenta con un repositorio estadístico sobre la cantidad de personas con PC por parte del Consejo Nacional de Discapacidades (CONADIS); sin embargo, considerando el número de nacidos vivos del año 2019 y una incidencia de 2,5 se estima que hay alrededor de 713 personas que sufren de este trastorno crónico en el país [4].

En Imbabura a partir de los datos adquiridos por el Instituto Nacional de Estadística y Censo (INEC) en el 2019 hubo 7,231 nacidos vivos. De acuerdo con la tasa de incidencia del CONADIS se podría estimar que aproximadamente en el año en mención, nacieron 18 niños con PC en la provincia. A pesar de que el porcentaje de personas que sufren de esta afección representa una

minoría, la PC es considerada una enfermedad de primer orden debido al conjunto de problemas médicos, sociales y educacionales que conlleva tratarla [4] [5].

La pérdida de movilidad que conlleva la PC causa en las personas una disminución en sus actividades físicas, lo que produce un acelerado deterioro funcional en el cuerpo. Síntomas como la hipotonía y atrofia, afectan de manera directa a la masa muscular provocando dificultad para mover las articulaciones [6].

Las afecciones que produce la PC al tratarse de un trastorno que implica al cerebro, se expanden por todo el cuerpo causando problemas como babeo, incontinencia, lenguaje - audición y visión deteriorados, y en un tercio de los casos hasta retraso mental. Además, esta enfermedad genera problemas nutricionales y gastrointestinales tales como: reflujo gastroesofágico, estreñimiento crónico y trastornos de deglución [6] [7].

A pesar de que la PC no tiene cura, las personas que la padecen pueden mejorar sus capacidades y estilo de vida si reciben tratamientos adecuados. La fisioterapia tiene como objetivo reorganizar la motricidad del sistema nervioso y encaminar al paciente para el desarrollo de su autonomía en la mayor medida posible, tratando aspectos de tipos físicos, médicos, sociales, psicológicos y emocionales. Dentro de este campo de rehabilitación existen métodos de estimulación enfocados al aprendizaje y la comunicación.

La terapia ocupacional es una forma de tratamiento que permite al paciente ejecutar actividades de la vida diaria de forma autónoma como escribir o vestirse, esto ayuda a mejorar y mantener el sistema del paciente que se ve afectado por la PC. Por lo tanto, es necesario promover el uso de objetos para llevar a cabo ocupaciones para satisfacer necesidades humanas que impulsan a las personas a realizar tareas de forma individual y eficaz [8].

Para el desarrollo de cualquier ocupación se deben poner en funcionamiento las capacidades físicas y mentales. La limitante para las personas que sufren PC, en específico el grupo de personas con cuadriplejia, radica en la rigidez de sus brazos y piernas con tendencia a un cuello débil. Dispositivos de tecnología asistida en dependencia específica del caso de cuadriplejia, permiten a las personas interactuar y realizar actividades en base a la posibilidad de su movimiento [1]. En el país no existen dispositivos de tecnología asistida para el estímulo de personas con cuadriplejia, específicamente que permitan a las personas con esta discapacidad realizar actividades didácticas.

De acuerdo con lo anterior, el Grupo de Investigación en Sistemas Industriales y Biomecánica (SIBI), plantea la construcción de un dispositivo de tecnología de asistencia para terapias de comunicación y aprendizaje para pacientes con PC y discapacidades asociadas.

1.2 Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Construir un dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y/o aprendizaje en pacientes con parálisis cerebral.

1.2.2 Objetivos específicos

- Examinar las técnicas empleadas por profesionales para el desarrollo de terapias de comunicación y aprendizaje.
- Diseñar un dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje.
- Construir el dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y/o aprendizaje.
- Evaluar los resultados con pruebas del dispositivo.

1.3 Justificación

El número de personas que sufren de parálisis cerebral en el mundo es considerado una minoría, pero debido a la permanencia y complicaciones que producen en el paciente, es un problema

médico de gravedad. Cada persona que sufre de este trastorno posee un tratamiento específico donde dependiendo de las capacidades del paciente, el apoyo familiar y el nivel económico determina la calidad de vida que llevará. Los músculos al ser las principales partes afectadas de la parálisis cerebral se deben mantener en rehabilitación constante para evitar un deterioro funcional acelerado.

Con el desarrollo de este proyecto se oferta una alternativa que permitiría a las personas que sufren de cuadriplejía estimular su creatividad y actividad física, al nivel de sus capacidades, posibilitando realizar una ocupación de manera autónoma con beneficios al cuidado del desarrollo funcional y psicológico del paciente.

En términos económicos se pretende ofrecer un dispositivo de tecnología asistida, a un costo accesible al público y con un amplio grado de impacto hacia la rehabilitación y terapia de personas cuadripléjicas.

Finalmente, este proyecto simboliza la misión que conlleva la carrera de Ingeniería Mecatrónica, mejorando la calidad de vida de las personas con la aplicación de conocimientos científicos y tecnológicos.

1.4 Alcance

La investigación se limita al diseño y construcción de un dispositivo de tecnología asistida para personas con parálisis cerebral que permita al usuario realizar terapias de comunicación y/o aprendizaje. El proceso de diseño de la estructura se llevará a cabo empleando un software de modelado y la programación. Posteriormente, se construirá el modelo y se realizarán pruebas de funcionamiento para evaluar su efectividad.

CAPÍTULO II

2 Bases Teóricas

2.1 Antecedentes

2.1.1 Terapia ocupacional para mejorar la motricidad de los miembros superiores

De acuerdo con [10], en el Centro de Educación Especial “Ángel de la guarda” (Latores, Oviedo) cuando los alumnos con PC están en proceso de realizar actividades escolares, requieren de entrenamiento previo o ayuda técnica para hacerlo, esto debido a las múltiples dificultades físicas y mentales que posee cada uno.

Cuando un alumno tiene graves limitaciones y la escritura a mano no es posible, el Centro educa al paciente en el uso del “licornio”. Este es un dispositivo de ortopedia que va en la cabeza y tiene un percusor inclinable donde en su extremo posee una pieza para sujetar pincel, lápiz o brocha, lo que permite al usuario realizar actividades escolares y de comunicación. La práctica para el uso de este dispositivo comienza con el juego de mover un coche o cualquier otro objeto y aumenta progresivamente hasta llegar a pintar con brocha y recrear trabajos manuales, todo con el fin de conseguir que el usuario escriba sobre papel o a través de un ordenador. En su gran mayoría los alumnos del Centro aprenden a escribir aceptablemente con una letra muy grande y casi incomprensible [10].

El Centro de Educación Especial “Ángel de la guarda” incorpora a un niño con tetraplejía por PC en actividades escolares, a través del uso ortopédico del “licornio”. Además los anteriores autores resaltan los beneficios neurológicos, fisioterapéuticos, sociales y emocionales que se generan en el paciente a través de la inclusión en actividades asistidas e independientes. El Centro de Educación Especial señala que el “licornio” es usado por persona que tenga incapacidad de sujetar algo con sus manos y dispongan de cierto grado de movimiento con su cabeza.

2.1.2 Dispositivos de asistencia para movimientos cervicales

En el Centro para la Educación Especial Mercedes San Roma (Coruña) [31], se implementó un dispositivo de asistencia para personas con PC denominado “Licornio Láser”, su objetivo fue el de crear un circuito que encienda o apague dispositivos eléctricos como: televisores, radios y computadoras mediante movimientos cervicales.

En la figura 2.1 se presenta el modelo del “Licornio láser”, este a diferencia del convencional en su extremo inferior coloca un láser comercial de 4,5 V que sirve para activar un interruptor que enciende o apaga cualquier aparato electrónico, dentro del circuito implementado.

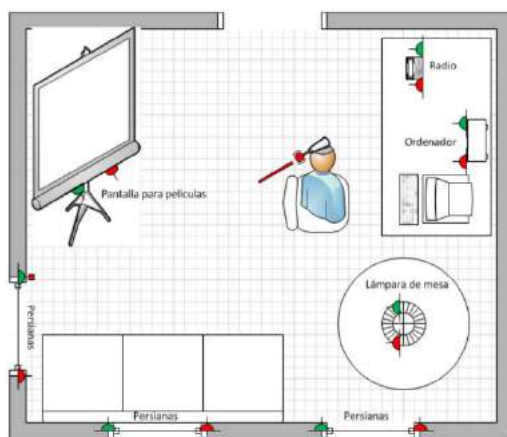


Figura 2.1 Esquema de usuario con " Licornio Láser" en habitación adaptada [31].

El paciente cuenta con dos señales luminosas, como se muestra en la figura 2.2, que le indican las acciones que se realizan en el dispositivo. Para encender algo debe apuntar el láser hacia la zona fotosensible asociada a un LED verde y para apagarlo debe apuntar a la zona fotosensible asociada a un LED rojo, cada luz se enciende en función de la actividad que se haya hecho. Los niños en los que se probó este dispositivo de asistencia consiguieron encender y apagar todos los dispositivos de una manera lúdica y adaptable que mejorará su calidad de vida. Además, al tratarse de una actividad nueva los pacientes tuvieron que practicar el movimiento de su cabeza con la ayuda de los especialistas del Centro antes de usar el dispositivo.



Figura 2.2 Interior de interruptor Diana para “Licornio Láser” donde se observa las dos zonas fotosensibles asociadas a los LEDs Rojo y Verde [31].

Los autores, con lo antes mencionado, muestran como la modificación del dispositivo “Licornio” posibilitó a sus pacientes el interactuar con dispositivos electrónicos. Esto pone en evidencia la predisposición por parte de las personas discapacitadas a interactuar con el mundo y las ganas de realizar actividades de forma independiente, por más sencillas que sean.

2.1.3 Modelo de apoyo para el acceso a internet de una persona con cuadriplejía

Bill un adulto de 44 años con cuadriplejía espástica producto de PC [32], recibió ayuda para acceder a contenido de internet a través de un iPad® configurado acorde a sus preferencias, la forma de acceso al dispositivo fue mediante un método de control directo usando un “Licornio”, como se muestra en la figura 2.3.

El tratamiento se estableció en un curso de 12 semanas con una visita de 45 a 60 minutos por cada semana, la primera sesión se enfocó en recopilar información sobre que le gustaría mirar a Bill en internet para configurar su dispositivo, entonces se crearon 4 íconos que se vincularon respectivamente a: videos deportivos, artículos de noticias, juegos/concursos y videos musicales. En las configuraciones técnicas se ampliaron los íconos a 3x3 cm y se redujo la sensibilidad táctil para evitar respuestas erróneas.

En cada sesión se estableció una meta de rehabilitación que se trataba de acceder al internet de manera independiente con el iPad® colocado de forma horizontal sobre un soporte. Las sesiones evaluaron el grado de independencia y conformidad al usar el dispositivo.

Bill aprendió a usar el iPad® con el “Licornio” a pesar de los inconvenientes que este le producía como: incomodidad y cansancio mental tras cada sesión, además se recalcaron las limitantes que posee el instrumento en comparación a otros similares de alta tecnología.

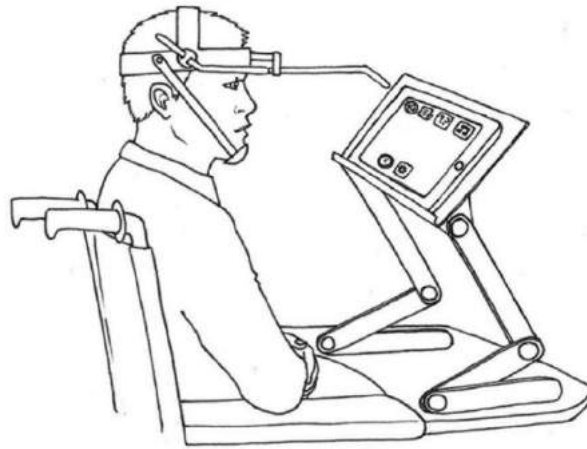


Figura 2.3 Ilustración de la configuración de puntero cefálico para iPad® que uso Bill en el transcurso del entrenamiento [32].

El cuadro clínico de Bill presenta a una persona con inteligencia normal que está limitada por el movimiento de sus extremidades, pero a través de la intervención de los autores en combinación al aprendizaje del “Licornio” y una forma de terapia basada en el cumplimiento de metas con o sin asistencia de un especialista, muestra la importancia de los dispositivos ortopédicos dentro de la vida de aquellos que los requieran.

Una conclusión del trabajo propuesto es el hecho de que el “Licornio” presenta muchas limitaciones para el usuario, pero debido a su costo es la opción más accesible dentro de las propuestas mercado en comparación a dispositivos de apoyo que cuestan miles de dólares.

2.1.4 Mejora de niños con PC después de fisioterapias basadas en movimientos de cabeza y juegos serios

De acuerdo con [33], una investigación realizada a 10 niños con PC por la Fundación Santa Lucia (FLS, Roma, Italia) evaluó cuatro medidas de movimiento en los pacientes como: escala de medición de control del tronco (TCMS), escala visual analógica (EVA), escala de logro de metas (GAS) y medida de la función motora gruesa (GMFM-88). Todo a partir de ejercicios realizados con videojuegos serios controlados por una interfaz de tecnología inercial llamada “ENLAZA” que se coloca en la cabeza.

Se crearon dos grupos de 5 niños cada uno. El grupo experimental de (4.8 ± 3.0 años) uso “ENLAZA” y el grupo de control de (11.2 ± 3.8 años) continuo con la terapia ocupacional y física convencional. El grupo experimental inició con una valoración del rango de movimiento cervical (CROM) que evaluó tres movimientos flexión-extensión, rotación y flexión lateral con el fin de que el terapeuta configure “ENLAZA” y el paciente puede acceder a todos los pixeles del televisor con el movimiento de su cabeza.

Al cabo de 10 sesiones de entre 25 y 30 minutos, con la configuración que se muestra en la figura 2.4, el grupo experimental presentó un cambio significativo en su evaluación funcional de control de cabeza y visomotor evaluado por GAS, en la evaluación cinemática el movimiento medido antes y después del grupo experimental aumento la CROM activa por parte de los pacientes en un +20, +38 y 85%, generando ángulos de movimiento entre 93° , 90° y 145° respectivamente al análisis previo.

En comparación al grupo de control el experimental que presentó una mejora significativa en TCMS, lo que representa que las mejoras producidas por la nueva terapia son mucho mayores que las que genera la terapia convencional.



Figura 2.4 Sesión de entrenamiento con “Enlaza” colocado en una gorra de béisbol, controlando el juego “Extreme Tux Racer” [33].

Los autores presentan como la fisioterapia convencional enfocada a la orientación de la postura y fortalecimiento del cuello es muy eficaz en programas de rehabilitación de corto plazo, no obstante, en los programas de largo plazo se evidencia pérdida de motivación por parte del paciente, lo que genera que la terapia pierda efectividad debido a su monotonía.

2.2 Fundamentos Teóricos

2.2.1 Parálisis cerebral

Según la International Cerebral Palsy Society (ICPS) [9], la Parálisis Cerebral es “un término que describe un grupo de trastornos permanentes del movimiento y la postura causados por una lesión no progresiva en el cerebro inmaduro. Es la causa más frecuente de deterioro físico en los niños. Además, las personas con CP también pueden tener epilepsia y dificultades de cognición, comunicación, alimentación, visión o audición, así como problemas musculoesqueléticos secundarios”.

A pesar de que la PC es un trastorno de carácter no evolutivo las lesiones neuropatológicas y el cuadro clínico de las persona puede cambiar a medida que el cerebro madura. Cuando el niño realiza sus primeras acciones de forma anormal y en este aprendizaje su única guía es su sistema

sensorial, dichas acciones mal logradas quedan fijadas en el cerebro creando un daño colateral en el cuerpo de la persona [10].

2.3 Causas de la Parálisis Cerebral (etiología y factores de riesgo)

Su origen es diverso y depende de múltiples factores como: causa congénita, genética, inflamatoria, infecciosa, anóxica, traumática o metabólica.

Las causas de la PC se clasifican de acuerdo con el momento en el que se produjo el daño al cerebro en desarrollo y es importante mencionarlas debido a que existen ciertos factores que se pueden prevenir. Además, facilitan la detección precoz.

Se estima la siguiente distribución de incidencia: origen prenatal (70 – 80) %, origen perinatal (5 – 10) % y origen posnatal (10 – 20) % [11].

Algunas de las causas más comunes son: nacimiento prematuro, infecciones durante el embarazo, trauma materno y partos múltiples.

2.4 Clasificación de la Parálisis Cerebral

Existen múltiples formas de clasificar la PC con ciertas variaciones y similitudes entre sí, donde sin importar la clasificación que se use, siempre crean conflictos para encasillar el caso de cada niño debido a la presencia de estados de transición de un grupo a otro. Un ejemplo son los casos de niños espásticos y atetósicos, otros atáxicos y atetósicos, otros simplemente torpes [10].

2.4.1 Clasificación de acuerdo con la topografía

La clasificación más sencilla de usar es la de topografía del trastorno motor, que es en base al número y distribución de los miembros afectados [11][12]:

- Tetraplejía: afecta los cuatro miembros.
- Diplejía: afecta más los brazos que las piernas.
- Paraplejía: afecta ambas piernas.

- Hemiplejía: afecta miembros superior e inferior del mismo lado.
- Triplejía: afecta tres miembros.
- Monoplejía: afecta un miembro.

2.4.2 Clasificación clínica

Actualmente desde el punto de vista clínico la PC se clasifica en cuatro grandes grupos, donde la cuarta se trata de la variedad mixta que comparte más de una característica de las tres variedades principales [12]:

- Espástica: lesión de vía piramidal.
- Atetósica: lesión de ganglios basales.
- Atáxica: lesión de cerebelo.
- Mixta: combinación de espástica y atetósica.

2.4.3 Clasificación funcional

Las clasificaciones topográfica y clínica no evalúan la participación o actividad del paciente, de allí parte el sistema de clasificación de la función motora gruesa (GMFCS), donde en dependencia de la edad, como se observa en la figura 2.5. Se dividen cinco grupos para determinar el grado de movilidad del paciente [13]:

- Nivel I: Sin limitación en la actividad.
- Nivel II: Limitación ligera o moderada.
- Nivel III: Limitación moderada o grave.
- Nivel IV: Incapacidad total.

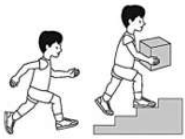
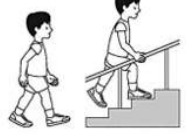



GMFCS para niños de 6 - 12 años: Descripción e ilustración				
				
GMFCS Nivel I	GMFCS Nivel II	GMFCS Nivel III	GMFCS Nivel IV	GMFCS Nivel V
Marcha sin restricciones. Limitación en las habilidades motoras más avanzadas, por ejemplo, correr o subir escaleras.	Marcha sin soporte ni ortesis. Limitaciones para andar fuera de la casa y en la comunidad, teniendo limitaciones en terrenos desconocidos	Marcha con soporte u ortesis, limitaciones para andar fuera de la casa y en la comunidad.	Movilidad independiente bastante limitada	Totalmente dependiente, auto movilidad muy limitada. Niño postrado.

Figura 2.5 Sistema de clasificación de la función motora gruesa (GMFCS), que cataloga cómo se moviliza un niño con parálisis cerebral de 6 – 12 años [13].

2.5 Características Clínicas

Los niños con PC presentan alguna o casi todas las anomalías con predominio al trastorno del movimiento como: rigidez, hipertonia extrapiramidal, temblor y atonía. Esto se caracteriza clínicamente como un síndrome de la neurona motora superior con signos positivos y negativos [12] [14].

Los signos positivos son producidos por la ausencia de inhibición en los circuitos corticales, lo que genera en la persona espasticidad, discinesia e hiperreflexia. Los signos negativos se enfocan en mostrar la falta de desarrollo sensoriomotor en el mecanismo de control, produciendo efectos como: debilidad, mala coordinación de movimientos y falta de equilibrio [14].

También existe una gran serie de comorbilidades producto de la PC que son exceptuadas de su definición básica y afectan al 75% de los niños, más comúnmente dolor (75%), discapacidad intelectual (50%), incapacidad para caminar (33%), desplazamiento de cadera (33%), incapacidad para hablar (25%), epilepsia (35 a 60%), incontinencia (25%), problemas auditivos (15%), alteraciones visuales o de motilidad ocular (30%) y trastornos de comportamiento del sueño (20% a 25%) [11] [15].

Otras deficiencias asociadas producto de los efectos a largo plazo de las fuerzas anormales y estiramientos impuestos sobre los músculos y el esqueleto son las alteraciones en la fibra y el tamaño de los músculos. Además, generalmente prevalecen enfermedades como: osteopenia, osteoporosis y mala nutrición a causa de la poca actividad física [14].

2.6 Efectos de la Parálisis Cerebral

Cada tipo de PC desde el punto de vista clínico maneja sus propios síntomas de forma individual en función a la particularidad del caso, pero es de suma importancia para los especialistas y la familia del afectado el entender que caso se está tratando para la planificación de un plan de recuperación eficiente desde la temprana edad. La forma en la que la descripción médica detalla cada caso se presenta a continuación.

2.6.1 Parálisis cerebral espástica

Es el aumento del tono muscular en dependencia de la velocidad del movimiento, producido por el estiramiento exagerado del reflejo muscular y algunos estímulos como: ruido, tacto, emociones y temperatura. Los niños de este grupo suelen dar la impresión de que tienen retraso mental debido a sus movimientos lentos, pero ellos lo hacen para no alterar su tono muscular [16].

La PC espástica es la forma más frecuente con un 80% del total y los niños que la padecen forman un grupo heterogéneo [11] [17]:

- Tetraplejía – Espástica: Es la forma más grave del grupo generando efectos como: disfunción cerebral, alteraciones cognitivas, convulsiones, estrabismo, persistencia de reflejos primitivos. Solo el 15% de niños tienen la posibilidad de caminar.
- Diplejía – Espástica: Es la forma más frecuente de grupo y afecta generalmente las extremidades inferiores. La epilepsia y el retraso mental se presentan con menos frecuencia en este grupo.

- Hemiplejía – Espástica: Es la disminución de fuerza y rango de movimiento de una de las dos partes que se forman al dividir al cuerpo por el plano sagital, donde hay una mayor incidencia en los varones con afección hacia el lado derecho. Sus efectos son: convulsiones, déficit visual y pérdida de la propiocepción.

Las características generales que se presentan en la PC espástica son [12]:

- Hipertonía “navaja”, si los músculos espásticos se estiran a velocidad determinada, responden en forma exagerada.
- Posturas anormales que se relacionan con los músculos antigravitatorios.
- Las posturas anormales se mantienen por los músculos espásticos, debido a que los antagonistas son débiles.
- Los cambios de postura se producen por excitación, miedo o ansiedad.
- Los músculos que pasan por dos articulaciones suelen ser más espásticos.
- La marcha es torpe, rígida, espasmódica y mantiene a los miembros deformados en posición de flexión, aducción y rotación interna (posición de tijera).
- En los músculos de la locución se refleja en la dificultad para hablar.
- Variación de la inteligencia, con tendencia a ser menor que en los atetósicos.
- Afectación de imagen y esquema corporal.

2.6.2 Parálisis cerebral atetósica

Se presenta como movimientos involuntarios que afectan cara, tronco, cabeza y extremidades, a causa de una lesión en los ganglios basales que provoca la interrupción de los circuitos de retroalimentación neuronal y crea movimiento anormales. La mayor cantidad de casos atetósicos son en niños tetrapléjicos donde regularmente su inteligencia es opacada por sus limitaciones motoras.

Los espasmos a menudo son producto del cambio de tono muscular o contracciones transitorias que se reflejan en muecas grotescas en muchos de los casos. En función de los síntomas se diferencian distintas formas clínicas [10]:

- Atetosis – Distónica: Presenta fluctuaciones del tono que va de la hipotonía a la hipertonía. La coreoatetosis presenta movimientos involuntarios acentuados que han sido llamados movimientos voluntarios sin objetivo. Son movimientos continuos que ocurren contra la voluntad del paciente.
- Atetosis y Espasticidad: Si el predominio de la espasticidad es grave se producen pocos movimientos y no se manifiesta la atetosis. Lo habitual es un predominio de la atetosis, con una espasticidad mínima

Las características generales que se presentan en la PC atetósica son [12]:

- Movimientos sin propósito determinado e incontrolados, pueden ser lentos o rápidos, son como, contorsiones, sacudidas, temblores, manoteos o rotaciones.
- Aparece en manos, pies, articulaciones proximales y distales, así como en cara.
- Los movimientos voluntarios son posibles con retraso inicial, el movimiento involuntario puede interrumpir el movimiento voluntario en forma parcial o total.
- Parálisis de los movimientos de la mirada.
- Carecen de tono postural sostenido y estabilidad, por inervación recíproca alterada, no mantienen posición contra la fuerza de gravedad.
- Inteligencia de buen nivel, llega a ser excelente o puede haber deficiencia mental.

2.6.3 Parálisis cerebral atáxica

Es la pérdida del control, la coordinación y la sensación cinestésica de grupos musculares producto de una lesión en las células y vías cerebelosas. Su forma pura no suele verse de manera concurrente y suele asociarse con la espasticidad y atetosis y presenta tres formas clínicas [16]:

- Diplejía – Atáxica: Se denomina así la forma clínica en la cual, al síndrome cerebelosos descrito se asocia espasticidad en las extremidades inferiores.
- Ataxia simple: Predominan el temblor, disimetría y ataxia de extremidades inferiores.
- Síndrome de desequilibrio: Se diferencia de la ataxia simple debido a que el desarrollo motor se produce de forma lenta, un gran porcentaje de este grupo se le asocia retraso mental y trastornos graves de lenguaje.

Las características generales que se presentan en la PC atáxica son [12]:

- Pérdida de postura y equilibrio, sea con los ojos abiertos o cerrados, se compensa con balanceo de brazos.
- Marcha tambaleante, inestable de base amplia.
- Orientación espacial trastornada, pérdida de la percepción de la posición de pies y piernas.
- Movimientos voluntarios presentes, pero torpes y no coordinados, temblor intencional, escasos movimientos manuales finos.
- Adiadococinesias, imposibilidad para realizar movimientos alternativos rápidos.

2.6.4 Parálisis cerebral mixta

Generalmente la PC no se presentan de manera pura en los niños y comparten aspectos de muchos de los tipos descritos antes. Siendo los más comunes ataxia y distonía o distonía con espasticidad.

2.7 Tratamientos

El tratamiento para los pacientes de PC se crea en función de los síntomas evaluados por un grupo multidisciplinario de expertos en diferentes campos, como la neurología, psicología, fisioterapia, terapia ocupacional, pedagogía, logopedia, ortopedia, oftalmología,

otorrinolaringología. Además, siempre se debe considerar a la familia dentro de la discusión del tratamiento por el hecho de ser los colaboradores principales hacia el paciente.

El tratamiento individualizado de cada persona además se enfoca en su situación tomando consideraciones de su edad, afectación, capacidades, entorno familiar y escolar, entre otros aspectos con la finalidad de conseguir ciertos objetivos básicos: máxima funcionabilidad en el aspecto motor y evitar complicaciones ortopédicas, control de trastornos asociados y prevención de los efectos sobre el desarrollo global en la persona [10] [16].

Para el control del trastorno motor existen cuatro tipos de tratamientos fundamentales: fisioterapia, ortesis o sistemas de adaptación, fármacos y tratamientos quirúrgicos.

2.7.1 Ortesis

Su uso más convencional se enfoca a mejorar las limitaciones de marcha en los niños producto de una deformidad en quino, provocando flexión hiperplantar del tobillo en personas con PC. La ortesis de tobillo mostrada la figura 2.6, ayuda al aumento de movimiento y las fuerza de las extremidades inferiores permitiendo una mejora al caminar. Aún no existen suficientes pruebas para respaldar las ortesis de extremidades superiores [16].

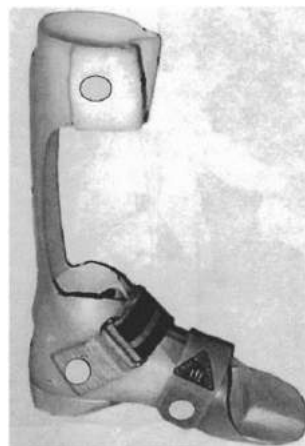


Figura 2.6 Ortesis utilizada como complemento del tratamiento de fisioterapia cuando el paciente presenta pie quino dinámico [16].

2.7.2 Farmacoterapia

Es una forma de tratamiento relajante que en función de su efectividad y efectos secundarios se escoge para disminuir la espasticidad, esto por el hecho de que no existe una medicación universalmente aceptada para todos los casos. Los pacientes a los que se les aplica cirugía ortopédica no se exentan del uso de fármacos. Un uso temprano de medicina en conjunto a programas de rehabilitación física, reducen el riesgo de cirugía [12] [16].

2.7.3 Tratamiento quirúrgico

Es usado para evitar, disminuir o prevenir deformaciones articulares, existen diferentes técnicas y presentan más o menos eficacia en función del caso. Dentro de la cirugía ortopédica se incluyen neurectomía, trasplantes de tendones, fusiones cerebrales, etc. Los principales procedimientos en la neurocirugía son: la bomba de baclofeno intratecal y la rizotomía dorsal selectica [16].

2.8 Fisioterapia Neurológica

La fisioterapia es sin duda la principal herramienta en el camino de la recuperación de los pacientes con PC, esto debido a que trata de manera directa la reparación del sistema nervioso donde las células cerebrales a partir de estimulación química y eléctrica pueden adoptar nuevas características que se muestran en forma de habilidades en los pacientes. Por tal echo se sugiere iniciar la fisioterapia antes de que el niño cumpla los seis meses de edad, ya sean casos donde se haya detectado o se presuma PC [11].

El diagnóstico es el primer paso para detallar el tratamiento, esto por el hecho de que cada caso combina características clínicas y deficiencias asociadas de la PC en una forma o grado único. Cada paciente necesita un programa que se ajuste a sus necesidades y le permita desarrollar actividades y habilidades enfocadas al neurodesarrollo, esto se refiere a seleccionar acciones que

no impliquen una afección al desarrollo del movimiento y potencialice las funcionalidades generales en el paciente, para que este pueda adaptarse al medio en el que interactúe [10].

El tratamiento agrupa una serie de especialistas que en conjunto al compromiso de los padres, buscan obtener una respuesta activa por parte del paciente para que este pueda mejorar su postura y movimientos, sin dejar de lado los aspectos perceptuales, sensoriales, cognitivos y emocionales que hacen del ser humano una persona [18].

A continuación se presentan las características fundamentales de los métodos más usados por la demostración de su utilidad en la rehabilitación de PC.

2.8.1 Método de Bobath

Parte de evaluar el tono postural anormal y compararlo con el normal, para poder controlar el tono muscular y la postura anormal a través de la inhibición de los movimientos anormales. Para ello se utilizan puntos clave del cuerpo, generalmente proximales como: cabeza, tronco, hombros y pelvis, donde el tono anormal se inhibe y genera la sensación de movimientos correctos en el paciente [16].

2.8.2 Método de Vojta

Se basa en la estimulación de determinados reflejos posturales complejos como el arrastre, para obtener movimientos coordinados. Utiliza dos estimulaciones propioceptivas como: reptación refleja (decúbito prono) y volteo reflejo (decúbito supino y lateral). Su mayor inconveniente está en que necesita de inmovilizar al niño para poder aplicar el estímulo en el punto adecuado, lo cual provoca oposición y llanto, lo que muchas veces lleva el abandono de la terapia [16].

2.8.3 Método de Petö

Es la combinación de la terapia y la educación a través de la terapia recreativa, guiada a través de una conductriz con formación en fisioterapia, terapia ocupacional, logopedia y enfermería [16].

2.8.4 Método de Doman-Delacato

Su objetivo es reorganizar el movimiento del niño a través de la repetición de los esquemas de movimiento de los anfibios y reptiles. El inconveniente que presenta es el alto grado de exigencia de ejercicios diarios hacia los niños [16].

2.9 Terapias de Comunicación y Aprendizaje

Las terapias del habla y del lenguaje para niños y jóvenes con PC buscan promover el desarrollo de sistemas afectivos de comunicación y lenguaje, a través de potenciar las habilidades del paciente o el aprendizaje del uso de dispositivos de comunicación.

La comunicación en los niños con PC conlleva desde leves dificultades a grandes alteraciones motrices que imposibilitan el comunicarse de forma independiente.

2.9.1 Evaluación del lenguaje

Para definir un tratamiento es necesario que un especialista evalúe los componentes del lenguaje fonética, morfología, sintaxis, semántica y pragmática dentro de cada paciente, con el fin de identificar cual es el componente que requiere de mayor rehabilitación por parte de la escuela o familia [34].

Generalmente las áreas de intervención más priorizadas por los terapeutas del habla y del lenguaje (SLT) son: disartria, comunicación aumentativa y alternativa (CAA), interacción y receptivo [46].

2.9.2 Diseño del tratamiento

Cada paciente al poseer características tan específicas e individuales producto de la PC hace de la creación de su tratamiento un trabajo plenamente designado a los especialistas en el cuidado del paciente. Los factores generales que se evalúan en el paciente para designar un programa de tratamiento son [34]:

- Su edad: El tratamiento del logopeda comenzará entre el primer mes y el segundo año, de existir la posibilidad. En este pueden intervenir profesionales como el fisioterapeuta, el terapeuta ocupacional, el psicólogo, el pedagogo, el trabajador social, etc. Durante la primera infancia, el tratamiento se centrará más en aspectos médicos, de fisioterapia, logopedia y psicología. En la etapa escolar, presentara más importancia el maestro, el pedagogo y el psicólogo. En lo profesional y social, de ser viable, se tendrá presencia de los terapeutas ocupacionales, monitores de taller y técnicos en adaptaciones.
- El pronóstico de marcha: Puede prolongar la importancia de su primera etapa médica.
- Afectación cognitiva: Limita las posibilidades escolares y laborales, y en caos graves requiere vigilancia continua.
- Dónde se enmarca el tratamiento: En un centro escolar normal, en un centro de educación especial, o como parte de un tratamiento ambulatorio.

2.9.3 Limitaciones de comunicación por trastorno motor

Para los niños cuya inteligibilidad del habla está severamente limitada por su trastorno motor, el lenguaje puede expresarse usando dispositivos de comunicación aumentativa/alternativa (AAC) o dispositivos modificados en base a las habilidades del paciente [46].

La comunicación oral está limitada por las dificultades motoras en los casos de PC, las afecciones más comunes que afectan la ejecución de movimientos del habla son: contracciones de los extensores de la nuca y del tronco, a la vez que los movimientos pasivos o activos de la mandíbula están limitados o son imposibles. Existen casos graves donde únicamente se logra la apertura de la boca cuando se producen contracciones en la extensión del cuello [34].

2.9.4 Requerimientos para el acceso a la escritura y la preescritura

El escribir dentro de la persona representa el desarrollo de la destreza motriz y el dominio de habilidad lingüística para el uso de sistemas de signos escritos, habilidad estratégica para la organización de ideas, habilidad social para desarrollar posibilidades en la comunicación e interacción. Entonces la escritura es un potenciador cognitivo que exige el desarrollo de capacidades perceptivas, grafomotoras, espaciales, motrices, lingüísticas, etc., que facilitan el aprendizaje y memorización de letras, además de aportar a la conversación del paciente con palabras oídas en escritura y viceversa.

A continuación, se presentan los requerimientos para que la persona con PC desarrolle la lectura y preescritura:

2.9.4.1 Necesidad de un medio de acceso a la escritura

Cuando los problemas motrices impiden la aplicación de métodos habituales de escritura en el paciente se buscan alternativas en relación con las capacidades de las personas y así poder realizar terapias de grafomotricidad. A continuación, se detallan algunos ejercicios para desarrollar la escritura [34]:

- Identificar grafías y sílabas. Se pueden recortar tarjetas con letras y sílabas diferentes. El niño tiene que “barrer” de su mesa aquellas tarjetas que no coinciden con el modelo dado.
- Dibujar letras con ayuda del adulto. La mano del adulto es un coche que avanza según las órdenes que da el niño, bien oralmente o por gestos.
- Utilizar el ordenador para trabajar la producción de letras y números de forma secuencial, tapando o retirando las letras del teclado que no se han trabajado o son superfluas, o bien creando teclados en pantalla de complejidad progresiva para los niños que utilizan conmutadores.

- En circunstancias especiales, como imposibilidad de escritura grafomotora, debe plantearse seriamente el prioridad al aprendizaje del tipo de letra máquina, dejando para más adelante el manejo de la letra enlazada, buscando materiales didácticos adecuados.
- El proceso de aprendizaje de las grafías en la escritura debe ser paralelo al proceso de aprendizaje de la lectura.

2.9.4.2 Actividades de prelectura en alumnos no vocales

En muchos de los casos de PC el habla se encuentra afectado por problemas motores, esto afecta directamente las capacidades de prelectura, por tal motivo se debe sustituir el enfoque de rehabilitación motor hacia habilidades auditivas y fonológicas como se presentan a continuación.

- Introducción temprana de medios de comunicación asistida, que entre sus muchos objetivos permiten entrenar capacidades previas a la lectura como la direccionalidad, captación de la secuencia, construcción de frases con elementos pictográficos, etc.
- Utilizar materiales de aula que trabajan la prelectura a partir de pictogramas.
- Sustituir progresivamente las fotos e imágenes por la palabra escrita.
- Se ha demostrado que puede ser de gran utilidad asociar un gesto sencillo, un dibujo del sonido, o un esquema de la ejecución articulatoria para cada una de las letras, jugando a realizar composiciones para facilitar su fijación en la memoria.
- Introducir tempranamente programas informáticos adaptados a las capacidades motrices del alumno, que proporcionen una retroalimentación auditiva de aquello que el niño va escribiendo.

2.9.5 Acceso al código escrito

El aprendizaje de los instrumentos de escritura parte desde la etapa infantil, pero en el caso de aquellos niños con problemas de motricidad fina se les dificulta o imposibilita el uso de los instrumentos de escritura convencionales. La solución de este problema es la adaptación de

dispositivos de apoyo hacia una zona del cuerpo donde el paciente tenga un movimiento controlado de manera voluntaria. Con los problemas de escritura solucionados se requiere de un programa de actividades que permitan generar las habilidades necesarias para crear una escritura funcional en el paciente, esto supone [34]:

2.9.5.1 Ganar agilidad en el proceso motor de escribir, sin perder inteligibilidad

Se trata de un objetivo que puede ser asumido también por los alumnos con alteraciones en la motricidad fina que utilizan otros medios de acceso a la escritura, y son actividades o ejercicios muy simples que ayudan a la persona a dominar el uso del dispositivo de apoyo con el que se desenvuelven, acciones tales como:

- Dibujar líneas rectas, entrecortadas o círculos.
- Colorear.
- Replicar letras.

2.9.5.2 Entrenar procedimientos más complejos

Esto tienen que ver con la capacidad de elaborar textos escritos, resúmenes, esquemas, etc. Para poder llevar a cabo acciones en base a la escritura más complejas, a continuación se presentan algunos ejercicios:

- Adaptar los textos, remarcando las ideas fundamentales. Muchos alumnos con parálisis cerebral son incapaces de subrayar, pero pueden marcar una idea fundamental con sencillas señales en el margen.
- Facilitar la elaboración de esquemas, proporcionando el dibujo para que el alumno sólo tenga que completar los nudos y los nexos.
- Elaborar textos escritos de forma escueta y simplificada. No se trata de proponer la realización de incorrecciones gramaticales, sino de ser breve, conciso y claro.

2.10 Tecnologías Empleadas Para Dispositivos Dirigidos a Pacientes con PC

El control e interacción de un dispositivo son de las principales características que se enfocan hacia la comodidad del usuario. Las personas con PC debido a sus limitantes para la interacción con el medio disponen de una amplia gama de herramientas tecnológicas, que acopladas a cada necesidad en específico les permiten ejecutar acciones que normalmente no estarían a su alcance.

Dentro de los últimos avances en la tecnología de interacción se destacan los sistemas que detectan movimientos de la cabeza y movimientos de los ojos.

Los sistemas de detección de movimientos de la cabeza son dispositivos que miden el campo magnético que genera un sensor que se coloca en la cabeza del usuario [39]. El valor del campo magnético varía con los movimientos de la cabeza y produce una señal que se traduce en coordenadas para el control de un computador o dispositivos inteligentes. Su limitante principal es que no todos los movimientos de la cabeza serán para la comunicación, generando así la creación errores inminentes.

Los dispositivos que detectan movimientos del ojo detectan y graban los potenciales de polarización de córnea, retina y globo ocular cuando se producen pequeños movimientos del ojo [38]. Para su control basta con la fijación por algunos segundos sobre la acción que se desee hacer y como el control por movimiento de cabeza presenta ciertos errores involuntarios por parte del accionamiento de la persona.

2.11 Dispositivos de Apoyo de Carácter Comercial Para Personas con PC

Existe una gran variedad de alternativas comerciales que amplifican la comunicación e interacción con el mundo para personas con cuadriplejía, pero su uso se restringe al manejo de un ordenador a través de dispositivos de control adaptados, a movimientos de la área en la que el paciente tenga mayor control, como: cabeza, parpados u ojos, boca y el reconocimiento voz. La

tecnología asistida genera cierto grado de independencia y un nuevo mundo de posibilidades dentro de cada persona con PC, pero conlleva acciones molestas de calibración o configuración por parte de otra persona antes de ser usados.

2.11.1 Sistemas guiados por el movimiento de la cabeza

2.11.1.1 enPathia

El dispositivo “enPathia” fue desarrollado por la empresa Eneso y facilita el acceso al ordenador a personas con movilidad reducida o nula en las extremidades superiores. Es una adaptación, un periférico que permite trabajar con el ordenador con la misma facilidad que con un ratón y un teclado convencionales, pero sin necesidad de usar las manos. También es un teclado adaptado, una interfaz para usar hasta dos pulsadores con el ordenador y una aplicación para simular clics virtuales de ratón [19].

2.11.1.2 TrackerPro 2

El dispositivo desarrollado por AbleNet, proporciona un control fiable del ratón manos libres para las personas que no pueden usar un ratón de computadora tradicional. El control de cursor suave y preciso en píxeles de “TrackerPro 2” abre un mundo de posibilidades para el usuario. Un individuo puede usar software de comunicación, navegar por Internet, leer un libro digital, escribir un correo electrónico o casi cualquier otra cosa que se pueda hacer en una computadora, tableta o teléfono [20].

2.11.1.3 Quha Zono 2

Es un ratón inalámbrico manos libres operado con movimientos de cabeza. Detecta el movimiento y lo transforma en un movimiento intuitivo del cursor en pantalla [21].

2.11.2 Sistemas guiados por el movimiento de ojos o parpados

2.11.2.1 *a-blinX*

Es un interruptor de detección parpadeante compuesto por un pequeño sensor electrónico que se acopla a cualquier marco de anteojos. Con “a-blinX” el usuario a través del parpadeo puede ejecutar comandos simples de selección en un ordenador o dispositivos electrónicos [22].

2.11.2.2 *EyeMobile Plus "Access" - con Windows Control software*

Desarrollado por la empresa tobii dynavox, “EyeMobile Plus” brinda a los individuos con problemas físicos y de movilidad, ya sea por lesiones de la médula espinal, todas las herramientas necesarias para que se comuniquen de manera efectiva, y los empodera para que accedan manos libres a la tecnología. “EyeMobile Plus” combina lo mejor del seguimiento ocular, parlantes de primera calidad, reconocimiento de voz, acceso mediante interruptores para escaneo (o uso en combinación con seguimiento ocular) y control infrarrojo (IR) en una solución [23].

2.11.2.3 *Nous™*

Es un dispositivo que permite controlar un computador a través de un método de acceso de conmutador de dos estados, activado y desactivado, esto requiere una entrada física mínima por parte del usuario, por lo que pueden ser utilizados por personas con discapacidades físicas, que no pueden usar métodos de acceso a computadoras más tradicionales, como un ratón de computadora, pantalla táctil y teclados. “Nous™” es un método único de acceso a interruptores, que permite a las personas controlar el software de asistencia parpadeando. Sólo utiliza parpadeos intencionales, por lo que la gente todavía puede parpadear cómodamente [24].

2.11.3 Sistemas guiados a través del movimiento de la boca o lengua

2.11.3.1 Tongo

Permite a los usuarios controlar los dispositivos digitales con la lengua, sin depender de sus manos. Es la primera interfaz lengua-computadora disponible en el mercado de la tecnología [25].

2.11.3.2 SmartMouthware

El ratón inteligente de la computadora del “SmartMouthware” se puede considerar como un retenedor ortodoncia con un ratón inalámbrico incorporado. Puede conectarse a varios dispositivos como teléfonos, tabletas, computadoras y auriculares de realidad aumentada, y permite a un usuario controlar el cursor, desplazarse, deslizar y hacer clic (izquierda, derecha y clic-arrastrar) con su lengua [26].

2.11.3.3 IntegraMouse Plus

El “IntegraMousePlus” es un ratón de computadora inteligente e inalámbrico que actualmente está siendo diseñado para personas con lesiones completas de la médula espinal o deficiencias relacionadas con enfermedades motoras. El dispositivo está diseñado para ser operado sólo por la boca y cumple todos los requisitos como dispositivo médico para su uso en centros de cuidados intensivos o rehabilitación [27].

2.11.4 Sistemas guiados a través de la voz

2.11.4.1 Dragon Naturally Speaking

Es un software de reconocimiento de voz para computadores, evita el uso de las manos como un medio hacia el acceso digital. Las órdenes dictadas pueden ejecutar acciones como escribir, abrir ventanas, crear archivos y manejar un ratón de computadora [28].

2.11.4.2 SpeechTexter

Es una aplicación multilingüe gratuita de voz a texto destinada a ayudarle con la transcripción de cualquier tipo de documentos, libros, informes, entradas de blog, etc., mediante el uso de la voz. El diccionario personalizado de “SpeechTexter” permite agregar comandos cortos para insertar datos utilizados con frecuencia (signos de puntuación, números de teléfono, direcciones, etc). El software de voz a texto es excepcionalmente valioso para las personas que tienen dificultades para usar sus manos debido a un trauma, personas con dislexia o discapacidades que limitan el uso de dispositivos de entrada convencionales [29].

2.11.4.3 SpeechLogger

Es un software de reconocimiento de voz y traducción instantánea de la web. Para conseguir los mejores resultados, utiliza las tecnologías de voz a texto de Google. Es la única aplicación web con puntuación automática, guardado automático, marcas de tiempo, capacidad de edición de texto, transcripción de archivos de audio, opciones de exportación (a texto y subtítulos) [30].

CAPÍTULO III

3 Marco Metodológico

3.1 Modelo de la Investigación

En el presente trabajo de grado se desarrolla una investigación aplicada, ya que la misma está orientada a resolver un problema en particular [35]. En este caso en específico se trata de plantear una solución que proporcione una herramienta terapéutica para pacientes infantiles con PC.

La investigación es documental ya que se lleva a cabo un proceso sistemático de búsqueda de información en base de datos de artículos científicos, libros y catálogos comerciales. Así mismo, la investigación desarrollada es de campo, ya que requiere el contacto a un Centro de Cuidados Especiales para realizar entrevistas, encuestas y observaciones [36].

Complementado los campos de estudio la investigación, esta también es del tipo descriptiva por el hecho de que busca especificar propiedades importantes del objeto de estudio y medir sus componentes más relevantes, en este caso los dispositivos que usan los niños con PC para terapias de rehabilitación y el grupo de personas idóneo para su uso. De la misma forma la investigación es de tipo experimental por el hecho de que se pretende un dispositivo no invasivo apto para pruebas de funcionalidad [37].

3.2 Diseño de la Investigación

En el capítulo presente se informa sobre la ejecución de cada una de las actividades necesarias para el cumplimiento de los objetivos específicos de este trabajo de grado con el propósito de instruir de forma secuencial y detallada el proceso que se llevó a cabo para la construcción de un dispositivo de apoyo para niños con PC.

3.2.1 Examen de las técnicas empleadas por profesionales para el desarrollo de terapias de comunicación y aprendizaje

En esta fase aplicando la metodología documental se recopila información sobre la PC y las distintas formas de afectación hacia los niños, para posteriormente proceder a caracterizar los distintos casos y enfocarse en los dispositivos usados para terapias de comunicación y aprendizaje en pacientes cuadripléjicos.

Actividad 1: “búsqueda de información acerca de terapias de comunicación y aprendizaje”; esta actividad es para obtener información acerca de los procesos terapéuticos llevados a cabo en niños con PC, con un enfoque más específico hacia los casos de cuadriplejía. Esto con el propósito de detectar el uso de dispositivos ortopédicos o tecnología de asistencia.

Actividad 2: “realización de entrevistas a especialistas en terapia física”; con base en la experiencia de profesionales que han tratado a pacientes con cuadriplejía por PC, determinar los resultados y las limitantes de las terapias que ellos han llevado a cabo.

Actividad 3: “evaluación de dispositivos de asistencia para pacientes con PC”; es un sondeo de dispositivos comerciales o adaptados donde se analiza su funcionalidad, eficacia y precio, dentro de las terapias de comunicación y aprendizaje.

3.2.2 Diseño un dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje.

A través de la metodología de campo y descriptiva, en esta fase se diseñará un dispositivo de apoyo para personas con cuadriplejía por PC, valiéndose de parámetros mecánicos como: el análisis de las cargas y esfuerzos, restricciones y mecanismos.

Actividad 1: “elaboración de encuesta sobre requerimientos para la terapia específica”; esta actividad es para obtener información sobre las necesidades del usuario y el cómo las va a satisfacer el dispositivo de apoyo dentro de las terapias, además de información sobre

características que generan atención por parte del paciente como: sonidos, colores, figuras, juegos, entre otros.

Actividad 2: “determinación de requerimientos del dispositivo”; se establecen las características mecánicas de peso, tamaño, forma y mecanismo que debe cumplir el dispositivo de apoyo para ser funcional dentro de terapias comunicación y aprendizaje.

Actividad 3: “planteamiento de alternativas de solución”; se formulan varias opciones que satisfagan la misma necesidad, dentro del proceso de terapias específicas.

Actividad 4: “selección de la mejor solución”; en base a la comparación de criterios ponderados, determinar la solución que más se acople y cumpla las necesidades del usuario como: facilidad de uso, precio, funcionalidad, etc.

Actividad 5: “modelado de la estructura del dispositivo y del accionamiento”; con el uso de software especializado para diseño y modelado 3D, se crea un bosquejo de la estructura y mecanismo del dispositivo de apoyo, con la finalidad de tener una vista más amplia hacia la selección de componentes y materiales.

Actividad 6: “selección de materiales y controladores”; basado en la disponibilidad del mercado y requerimientos del diseño, se establece los materiales mecánicos y electrónicos que se usaran en el proceso de construcción del dispositivo de apoyo.

Actividad 7: “análisis de esfuerzos en el dispositivo”; aquí se modela en 3D el dispositivo con todos sus componentes estructurales, para realizar un análisis de esfuerzos que permite predecir el comportamiento del dispositivo cuando la persona lo use.

3.2.3 Construcción del dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y/o aprendizaje

Con un diseño funcional de la estructura y la selección de materiales, en esta fase se busca la construcción del dispositivo a partir de procesos de mecanizado y la implementación de elementos electrónicos. Esto con el fin de tener un dispositivo completamente funcional.

Actividad 1: “construcción de estructura”; a través de una serie de procesos mecánicos llevar la idea digital al mundo real, esto basado en el seguimiento de planos y especificaciones del modelo 3D.

Actividad 2: “programación del controlador”; en esta fase se programa el controlador que comandará los sensores y actuadores dentro del dispositivo de apoyo.

Actividad 3: “pruebas de funcionamiento electrónico”; se prueba sobre un protoboard toda la electrónica que llevará el dispositivo de apoyo, con el fin de garantizar el funcionamiento correcto del mecanismo de accionamiento.

Actividad 4: “diseño y creación de PCB”; la creación de la Placa de Circuito Impreso (PCB) permite acoplar toda la electrónica dentro un sólo circuito haciendo un dispositivo más compacto y estable. Para la creación de la forma se usará un software especializado y para la implementación física se usará una máquina de Control Numérico por Computadora (CNC) que grabará las pistas del PCB sobre baquelita.

Actividad 5: “sujeción de componentes electrónicos”; con el uso de herramientas mecánicas y de soldadura electrónica, se acoplarán todos los componentes que comparten espacio en el PCB para posteriormente colocarlos dentro de la estructura principal del dispositivo de apoyo.

3.2.4 Evaluación de resultados con pruebas del dispositivo

Con base en la metodología experimental en esta fase se probará el dispositivo para el cumplimiento de todos sus cometidos en base a las terapias para las cuales haya sido designado.

Actividad 1: “ajustes y correcciones”; en esta actividad se busca corregir ciertos errores electrónicos o mecánicos que pueden estar presentes en el dispositivo.

Actividad 2: “ensayo de funcionamiento”; el dispositivo de apoyo será probado por un paciente dentro de una actividad específica que aporte a las terapias de comunicación y aprendizaje que él pueda desarrollar.

CAPÍTULO IV

4 Resultados y Análisis

En este capítulo inicia con la descripción de las especificaciones de requerimientos necesarias para la construcción de un dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje en pacientes con PC, a partir de criterios y restricciones propuestas en base a características esperadas en el dispositivo.

Posteriormente se propondrán alternativas que cubran las funciones del dispositivo, y se selecciona la opción más útil en base a las especificaciones de requerimientos. Así mismo se continua con un estudio a detalle dentro del sistema diseñado, la parte mecánica del dispositivo será sometida a un análisis de esfuerzo con elementos finitos en SolidWorks 2017 y su contraparte electrónica será evaluada en Proteus 8. Finalmente, se presentan los resultados obtenidos, proceso de fabricación y costo del dispositivo de apoyo para pacientes con PC.

4.1 Especificaciones del Sistema a Diseñar

A continuación, se identifican los parámetros de criterios y restricciones que contribuyen al diseño del dispositivo.

Peso. El dispositivo al ser controlado y soportado por la cabeza debe ser lo más liviano posible y no sobrepasar los 350g.

Geometría. Las dimensiones para la selección del casco donde se adaptará el dispositivo serán acorde a la edad del paciente.

Precio. El costo del dispositivo debe ser lo más accesible posible, teniendo como referencia al precio comercial de \$277.00 en dispositivos similares.

Resistencia. La fuerza que debe ser capaz de soportar el dispositivo es la igual a la presión ejercida por la cabeza del paciente.

Mecanismo simple. El ajuste y funcionamiento del dispositivo será de forma simple, permitiendo a la persona presionar un teclado o dibujar a partir del movimiento de la cabeza.

Seguridad. El dispositivo debe ofrecer seguridad al momento de ser manipulado por el usuario.

Tiempo de respuesta. La ejecución de la acción por parte del dispositivo será proporcional a la velocidad de movimiento del paciente.

Materiales. La selección de componentes para el dispositivo se dará comparando la línea comercial existente y en base a su disponibilidad en el mercado.

Apropiado para la rehabilitación. El dispositivo debe ser capaz de ayudar al paciente a realizar terapias de comunicación y aprendizaje.

Interfaz. El dispositivo tendrá que ser fácil e intuitivo al momento de usar.

Ergonomía. El dispositivo debe ofrecer sus funciones sin obviar la postura correcta que el paciente debe tomar para manipularlo.

Dirigido a. Las persona a quienes se enfoca el dispositivo son aquellas que únicamente poseen la movilidad de su cabeza para la interacción con el medio.

Innovación. Se trata de crear un de dispositivos cefálico de forma diferente a los del tipo comercial.

4.2 Planteamiento de Alternativas de Solución

A través de los criterios y restricciones planteados se proponen dos ideas que solventan la problemática del presente estudio. A continuación, se describen detalladamente cada una de las alternativas.

4.2.1 Primera alternativa de solución

El dispositivo de apoyo completo se divide en dos subconjuntos de elementos. El sistema de casco-puntero en su mayor parte está formado de elementos impresos en 3D, como se presenta en la figura 4.1.

El componente estructural del dispositivo consta de un casco (1) de origen comercial. A dicho casco se conecta la base de sujeción (3) la cual sirve de soporte para la esfera (6) por medio de un ajuste a presión, entre la tapa (2) y la base de sujeción (3). Adicionalmente, una varilla de aluminio (4) con un diámetro de 5/16" atraviesa la esfera (3).

En el extremo anterior de la varilla se instala un adaptador de elementos (5), que permite colocar lápiz, bolígrafo, pincel, señalador, etc., acorde a las necesidades del usuario. La varilla de aluminio (4) permite ajustar longitud y ángulo del adaptador de elementos (5).

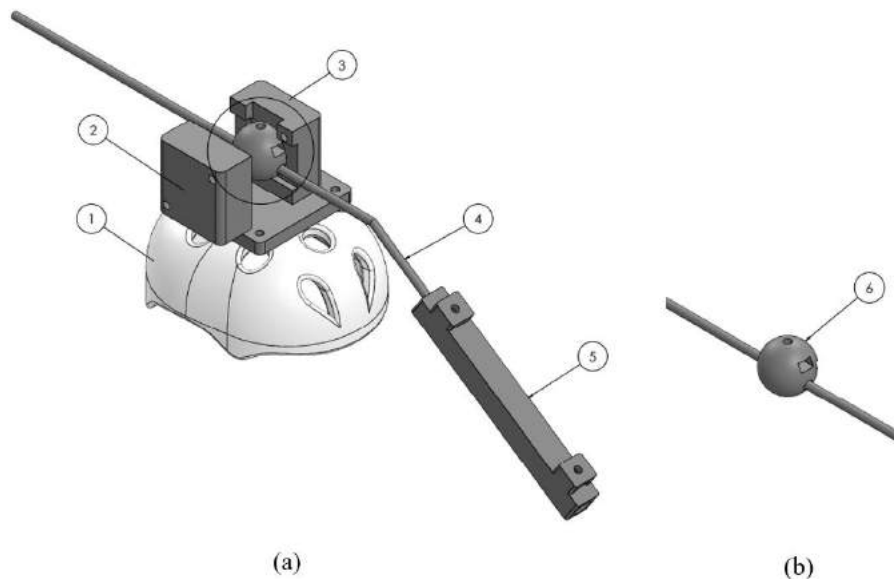


Figura 4.1 Alternativa de solución N°1 (Puntero cefálico), (a) Vista isométrica, (b) Vista de detalle (esfera de sujeción).

Para la utilización del dispositivo el paciente debe encontrarse previamente sentado con todas las sujeciones necesarias, que aseguran una postura correcta. Se coloca el casco (1) y se ajusta al

tamaño de la cabeza de la persona, con todos los elementos de seguridad preestablecidos que este trae de fábrica

El segundo subconjunto es el sistema tablero con 16 opciones representadas a través de un sistema pictográfico, la estructura del tablero está constituida por fibras de densidad media (MDF) de 3mm melamínico blanco, y se presenta en la figura 4.2. Debajo de cada portador de imagen (13) se encuentra un sensor de presión, que tras ser tocado reproduce el sonido asociado a su acción. Esto permite al usuario comunicarse con las personas que lo rodean.

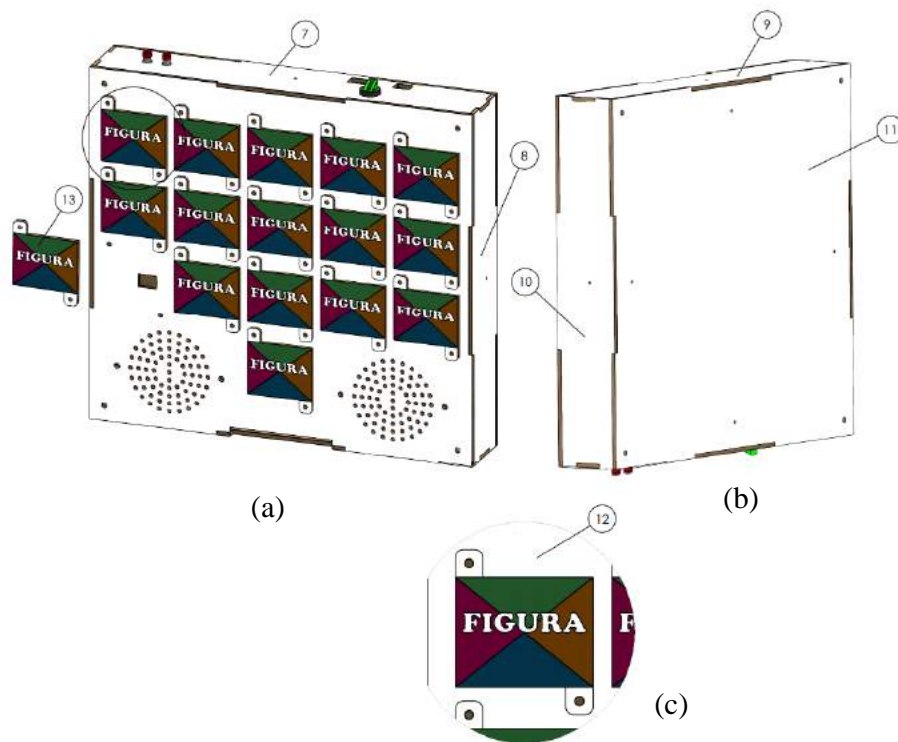


Figura 4.2 Alternativa de solución N°1 (Tablero de comunicación aumentativa), (a) Vista dimétrica frontal, (b) Vista dimétrica posterior, (c) Vista de detalle (panel de acciones).

El tablero debe colocarse a en una mesa frente al usuario y con ayuda de las personas que se encuentren a su cuidado, se encargarán de encender y regular el volumen del dispositivo.

En la tabla 4.1 se presenta una lista de las piezas que conforman la alternativa para la primera solución.

Tabla 4.1 Listado de Piezas Primera Alternativa.

N° de Elemento	Descripción	Cantidad
1	Casco	1
2	Tapa (Diseñar)	1
3	Base de sujeción (Diseñar)	1
4	Varilla de aluminio (Porque es la dimensión comercial - Peso)	1
5	Adaptador de elementos (Diseñar)	1
6	Esfera de sujeción (Diseñar)	1
7	Lateral superior – (Diseñar – Sistema de comunicación)	1
8	Lateral derecho	1
9	Lateral inferior	1
10	Lateral izquierdo	1
11	Base	1
12	Panel de acciones	1
13	Portador de imagen	16
Total		28

4.2.2 Segunda alternativa

El dispositivo de apoyo completo se divide en dos sistemas. El primero es un puntero cefálico formado por 6 partes, como se presenta en la figura 4.3.

Su estructura está constituida por un casco (1) de procedencia comercial, a este se le fija la base (3), misma que cumple la función de soportar la varilla de 34 cm (2). En el extremo anterior de dicha varilla se coloca la pestaña A (4) y en la varilla de 16 cm (6) se le coloca la pestaña B (5).

En el extremo anterior de la varilla de 16 cm (6) se instala un adaptador de elementos (7), que permite colocar lápiz, bolígrafo, pincel, señalador, etc., acorde a las necesidades del usuario. La base (3) configura la longitud del dispositivo y la unión entre las pestañas el ángulo de inclinación.

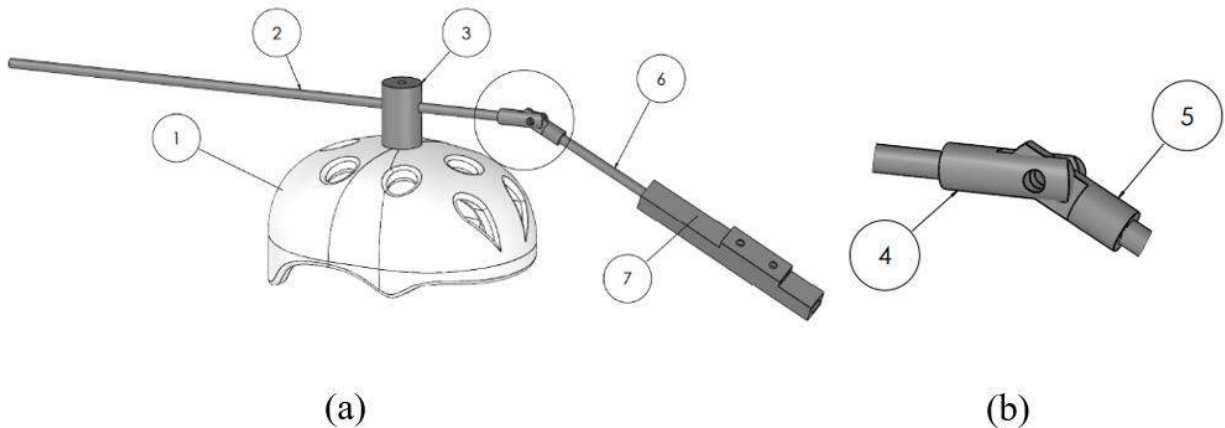


Figura 4.3 Alternativa de solución N°2 (Puntero cefálico), (a) Vista isométrica, (b) Vista de detalle (unión entre pestañas A y B).

Para utilizar del dispositivo el usuario debe estar sentado con todos los elementos de sujeción que este requiera para una postura correcta. El casco (1) es colocado en la cabeza de la persona y se ajusta acorde a su tamaño.

El segundo componente es un tablero de CAA digital con nueve pantallas oled de 0,96” que sirven para representar un sistema pictográfico hacia el usuario. Toda la estructura del tablero está compuesta por MDF de 5mm, como se muestra en la figura 4.4.

Tras presionar uno de los botones bajo cada pantalla, se producirá un mensaje sonoro acorde a la acción que se haya escogido. Creando un medio de comunicación para el usuario hacia los que lo rodean.

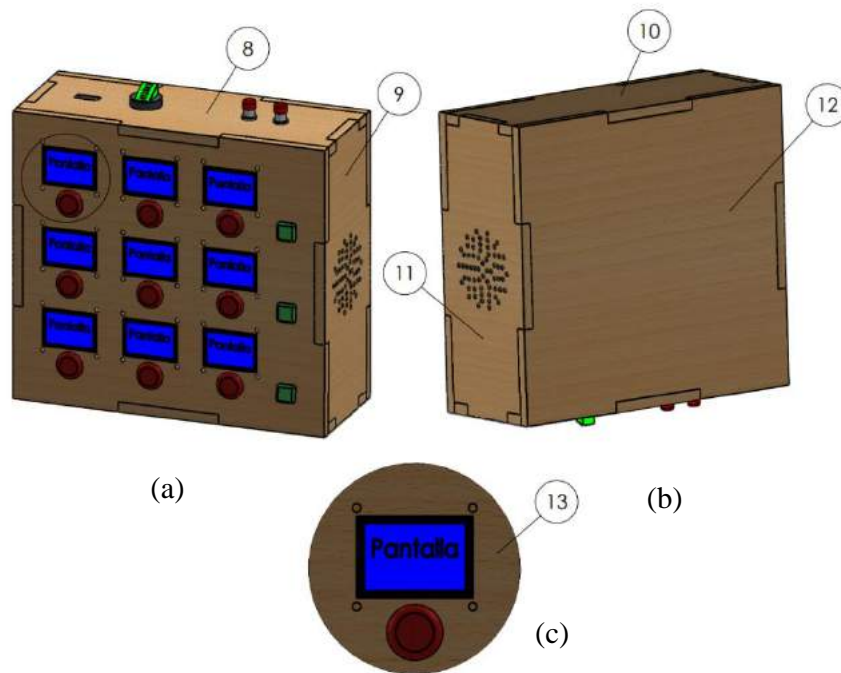


Figura 4.4 Alternativa de solución N°2 (Tablero de comunicación aumentativa digital), (a) Vista dimétrica frontal, (b) Vista dimétrica posterior, (c) Vista de detalle (panel de acciones).

El tablero se coloca en una mesa frente al paciente, en el panel de acciones (13) los botones de la parte derecha cambian la configuración de las acciones que se están usando, dando la posibilidad de tener 27 imágenes y mensajes sonoros.

En la tabla 4.2 se presenta una lista de las piezas que conforman la alternativa para la segunda solución.

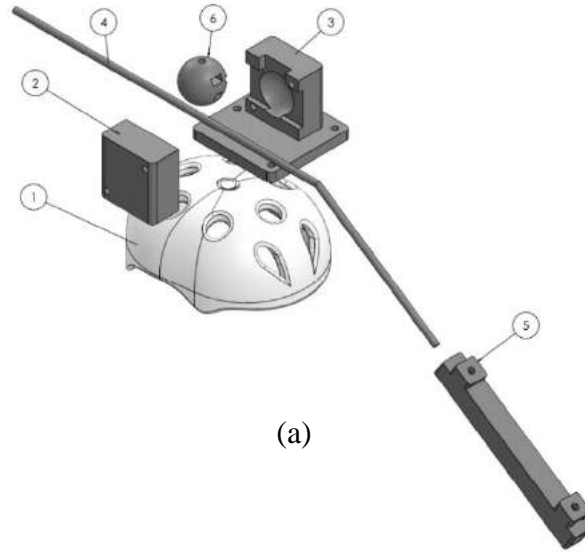
Tabla 4.2 Listado de Piezas Segunda Alternativa.

N° de Elemento	Descripción	Cantidad
1	Casco	1
2	Varilla de 34 cm	1
3	Base	1
4	Pestaña A	1
5	Pestaña B	1
6	Varilla de 16 cm	1
7	Adaptador de elementos	1
8	Lateral superior	1
9	Lateral derecho	1
10	Lateral inferior	1
11	Lateral izquierdo	1
12	Base	1
13	Panel de acciones	1
Total		13

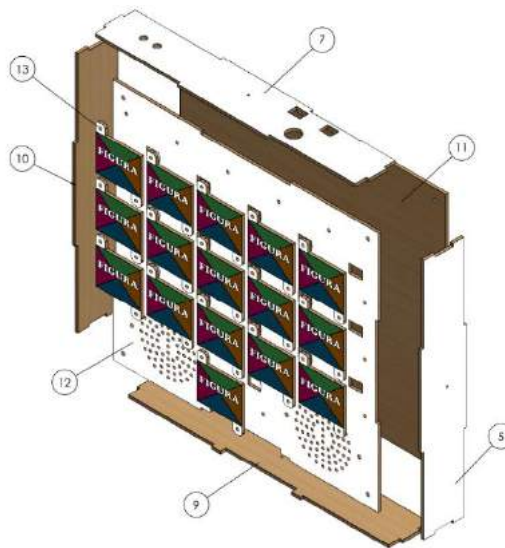
4.3 Características del Sistema Por Diseñar

En esta sección se detallan dimensiones, materiales y funcionamiento de cada uno de los elementos que conforman la solución seleccionada.

En la figura 4.3 se presenta la vista en explosión del modelo en 3D del sistema diseñado con cada una de sus partes.



(a)



(b)

Figura 4.5 Vista en explosión del sistema diseñado (a) Casco-puntero, (b) Tablero

Tabla 4.3 Listado de Piezas que Conforman el Sistema Diseñado.

Nº de elemento	Descripción	Cantidad
1	Casco	1
2	Tapa	1
3	Base de sujeción	1
4	Varilla de aluminio	1
5	Adaptador de elementos	1

6	Esfera de sujeción	1
7	Lateral superior	1
8	Lateral derecho	1
9	Lateral inferior	1
10	Lateral izquierdo	1
11	Base	1
12	Panel de acciones	1
13	Portador de imagen	16

El dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje en pacientes con parálisis cerebral está conformado por dos sistemas que permitirán su funcionamiento.

El *sistema de casco-puntero* conformado por un casco comercial, utilizado por ciclistas, modificado que permite regular el desplazamiento longitudinal y angular de una varilla de aluminio con una curvatura de 34°. En uno de sus extremos, por medio de un adaptador, se colocan utensilios para dibujar, pintar, escribir o interactuar.

El *sistema tablero* que funciona como elemento de comunicación aumentativa y adaptativa con la capacidad de reproducir 16 sonidos tras ejercer presión sobre un portador de imagen. La cantidad de presión es captada a través de un transductor piezoeléctrico que es colocado detrás de cada portador de imagen, el sistema es alimentado por una batería de litio con dos celdas de 3.7V y 8000mAh que brinda autonomía y portabilidad. El reabastecimiento energético se realiza a través de un módulo de carga para bancos de energía con un indicador led que detalla el estado de la batería.

Para ejecutar la rehabilitación el paciente se coloca en posición sedente y ajusta el ángulo de inclinación y la longitud la varilla del sistema casco-puntero acorde a sus requerimientos de espacio, como se muestra en la figura 4.6.

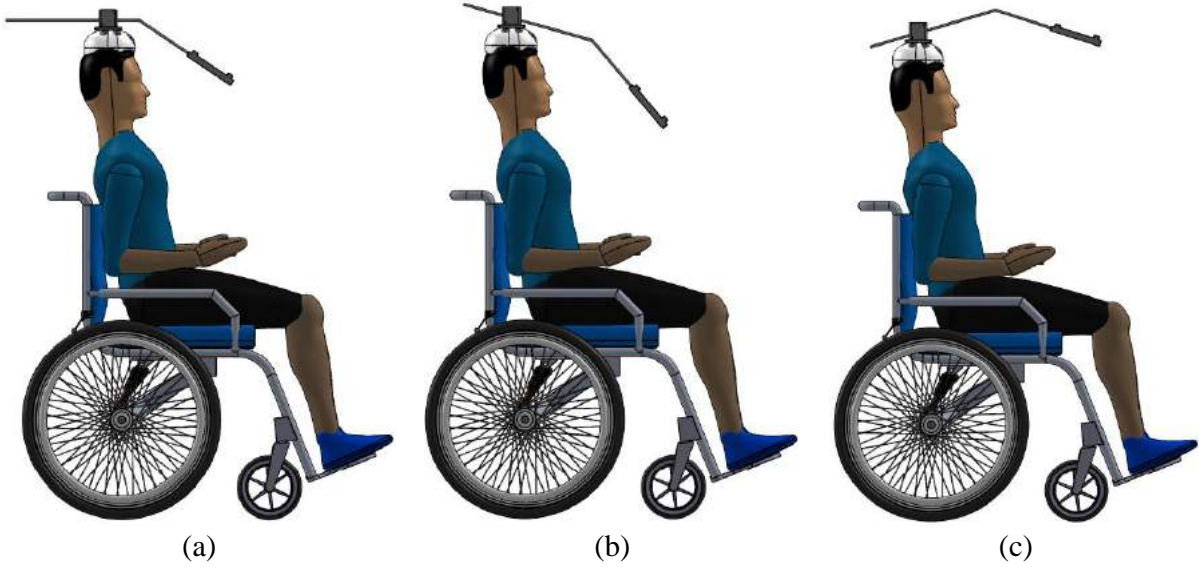


Figura 4.6 Configuración angular y longitudinal sistema casco-puntero (a) Rotación neutra, (b) Rotación -26.5° , (c) Rotación $+26.5^\circ$.

El sistema tablero es colocado en una mesa frente al paciente, para iniciar su funcionamiento hay que presionar el botón de encendido y regular el volumen del dispositivo. La interacción de ambos sistemas se produce a través del movimiento de la cabeza del paciente, cuando este con ayuda del casco-puntero presiona los portadores de imagen del tablero lo que genera la acción de comunicación, como se muestra en la figura 4.7.



Figura 4.7 Dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje en pacientes con parálisis cerebral.

4.4 Diseño del Dispositivo de Apoyo

4.4.1 Casco de bicicleta

El casco comercial (1), empleado por ciclistas, permite el acople de los elementos que forman parte del sistema de casco-puntero, además es el medio de sujeción para la cabeza del paciente. El material de fabricación de las almohadillas internas del casco (1) es espuma de poliestireno y su carcasa esta hecha de acrilonitrilo butadieno estireno (ABS). Para colocar el casco (1) acorde a la antropometría de la persona este cuenta con correas laterales, corredera frontal y un broche de ajuste para la barbilla. En la tabla 4.4 se indican las especificaciones comerciales del casco.



Figura 4.8 Casco de ciclista para carretera.

Tabla 4.4 Especificaciones comerciales del casco.

Característica	Descripción
Peso	198[g]
Dimensiones	54-58[cm]
Talla	XS

4.4.2 Sistema casco-puntero

4.4.2.1 Base de sujeción (3)

Se obtiene a través de un proceso de impresión 3D utilizando material PETG. Su forma asemeja a la de un prisma rectangular unido a un cubo con una cavidad esférica concéntrica en uno de sus lados. En la tabla 4.5 se presenta la caracterización del material empleado para la base de sujeción (3).

Tabla 4.5 Caracterización del material PETG [41].

Propiedad Física	Valor
Densidad	1.27[g/cm ³]
Resistencia a tracción	50[MPa]
Resistencia a flexión	700[kg/cm ²]
Resistencia al impacto	85[KJ/m ²]
Módulo de elasticidad	2150[MPa]
Temperatura de deformación	85[°C]

4.4.2.2 Tapa (2)

Es un diseño que comparte características físicas similares a la base de sujeción (3) pero su forma solo es un cubo con una cavidad esférica de menor tamaño.

El sistema casco-puntero se fija en el casco (1) a través de 3 agujeros para tornillos de 1/4" en la base de sujeción (3), su función dentro del dispositivo es regular el ángulo de la varilla (4) de 0° a 26,5° por la presión que se ejerce tras juntar la base de sujeción (3) con la tapa (2) como se muestra en la figura 4.9.

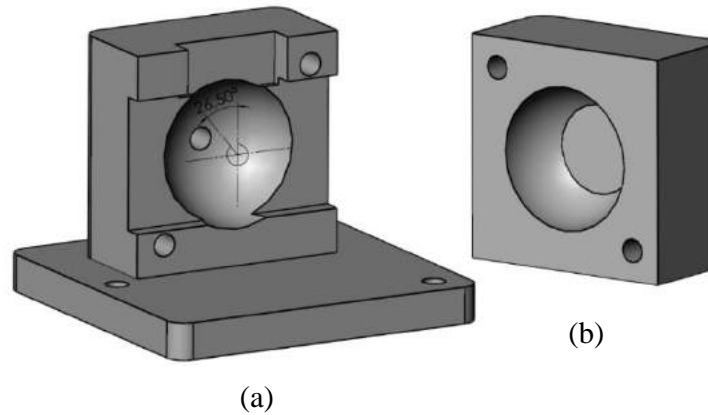


Figura 4.9 Sistema angular (a) Base de sujeción (b) Tapa; modelo 3D.

4.4.3 Varilla

La varilla de aluminio (4) mostrada en la figura 4.10, tiene un diámetro 5/16" con una longitud de 50cm, su espesor es de 1.20mm y su geometría se ha diseñado en base a dispositivos comerciales para simplificar el estudio de la ergonomía y comodidad en el paciente. La principal función de este elemento es permitir la interacción directa entre el usuario y el medio.

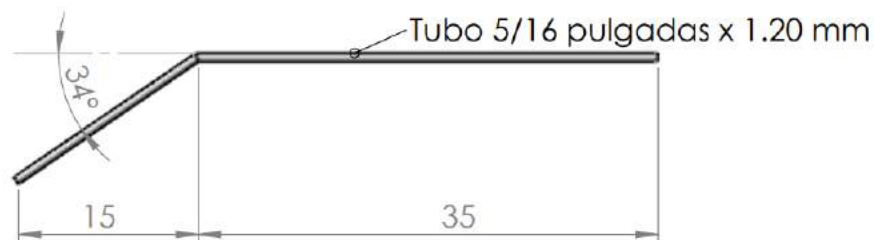


Figura 4.10 Varilla de aluminio; modelo 3D.

4.4.4 Adaptador de elementos

Está diseñado con la forma de un prisma rectangular y su construcción parte de la impresión 3D en PETG. Sus extremos albergan dos perforaciones, la primera concuerda con las dimensiones de la varilla de aluminio (4) y la segunda con un mayor diámetro, es un compartimiento de utensilios para dibujar, escribir, pintar o interactuar. La función del adaptador de elementos (5)

presentado en la figura 4.11, es ser colocado en el extremo anterior de la varilla de aluminio (4) y que mediante tornillos de 1/4" se adhieran los elementos según la necesidad del usuario.

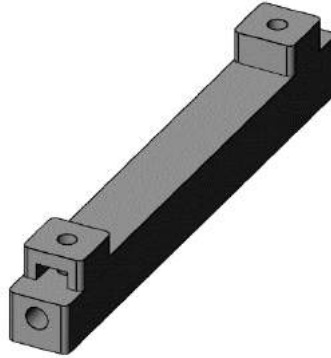


Figura 4.11 Adaptador de elementos; modelo 3D.

4.4.5 Esfera de sujeción

La esfera de sujeción (6) mostrada en la figura 4.112, está construida a base de impresión 3D en PETG, su diámetro es de 4cm y posee una perforación pasante de 5/16" para albergar la varilla de aluminio (4) y controlar su longitud a partir de la presión que ejerce un tornillo de 1/4". La esfera de sujeción (6) es colocada entre la base de sujeción (2) y la tapa (3) para evitar su desplazamiento.

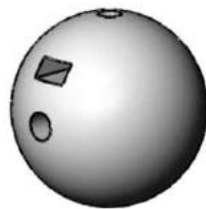


Figura 4.12 Esfera de sujeción; modelo 3D.

4.4.6 Sistema tablero

4.4.6.1 Laterales

Están hechas de MDF de 3mm melamínico blanco y se obtienen a partir de corte laser, su forma es rectangular con pequeñas aberturas en sus extremos que permite articular cada una de sus partes

como se muestra en la figura 4.13. En Lateral superior (7) existen cuatro perforaciones para pulsadores, cargador micro USB y pantalla led, las propiedades del material MDF se detallan en la tabla 4.6.

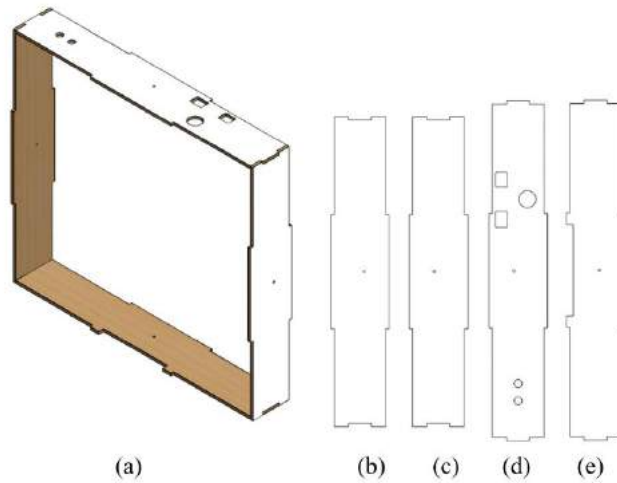


Figura 4.13 Partes laterales (a) Ensamblaje (b) Lateral superior (c) Lateral inferior (d) Lateral derecho (e) Lateral izquierdo; modelo 3D.

Tabla 4.6 Caracterización del material MDF de 3mm de espesor [42].

Propiedad Física	Valor
Densidad	$820 \pm 50[\text{Kg}/\text{m}^3]$
Resistencia a tracción	$1.00[\text{N}/\text{mm}^2]$
Resistencia a flexión	$45[\text{N}/\text{mm}^2]$
Módulo de elasticidad	$4000[\text{N}/\text{mm}^2]$

4.4.6.2 Panel de acciones (12)

Su forma es la de un rectángulo de 27.1 x 29.7cm, tiene 16 perforaciones rectangulares para colocar sensores piezoeléctricos y pequeñas aberturas circulares para la emisión de sonido, como se muestra en la figura 4.14. Se obtiene a través de corte laser y su material es MDF melamínico blanco con un espesor de 3mm.

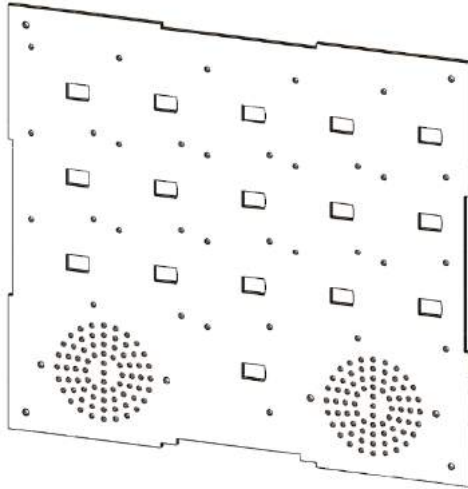


Figura 4.14 Panel de acciones; modelo 3D.

4.4.6.3 Base (11)

Mantiene las mismas dimensiones y forma que el panel de acciones (13). Se diferencia por poseer perforaciones que se ensamblan a las partes laterales del conjunto a través de abrazaderas para esquinas, además existen simples cortes en sus extremos para la articulación con todas las partes del tablero como se muestra en la figura 4.15.

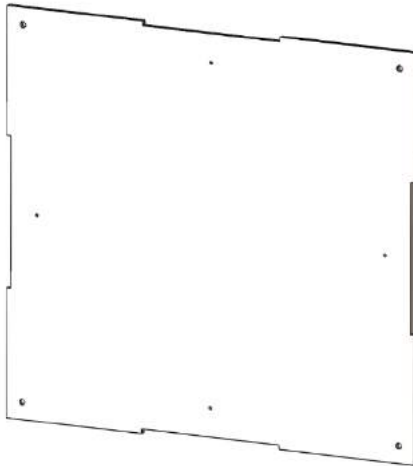


Figura 4.15 Base; modelo 3D.

4.4.6.4 Portador de imagen (13)

Mantiene las mismas propiedades y procesos de fabricación que las partes laterales, su forma es la de un rectángulo de 4 x 5cm con un cuadrado de 1cm en cada uno de sus lados más largos, estos tienen una perforación de 3mm que permiten la unión del portador de imagen (13) con el panel de acciones (12) a través de tornillos, como se muestra en la figura 4.16.



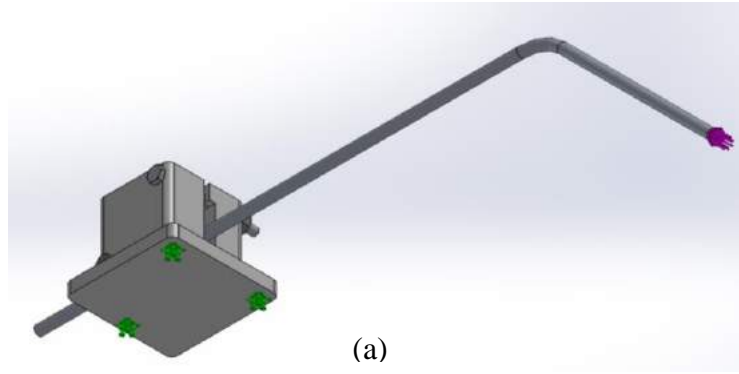
Figura 4.16 Portador de imagen; modelo 3D.

4.5 Análisis Estático del Sistema Casco-Puntero

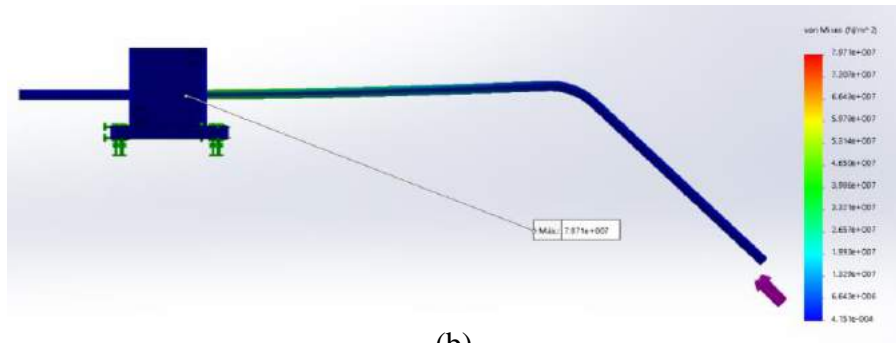
Este análisis del modelo en 3D parte de la evaluación de elementos finitos a través del software “SolidWorks 2017”. Permite determinar los esfuerzos de Von Mises, desplazamiento máximo y factor de seguridad. Todo para afirmar si el prototipo en mención soportará la fuerza que aplicada durante su uso.

Los sistema formado por los músculos de la nuca son los encargados de producir la fuerza de movimiento cefálico, la cantidad de fuerza que esta parte del cuerpo puede producir se estima a partir del peso promedio de la cabeza de una persona que es 8Kg.

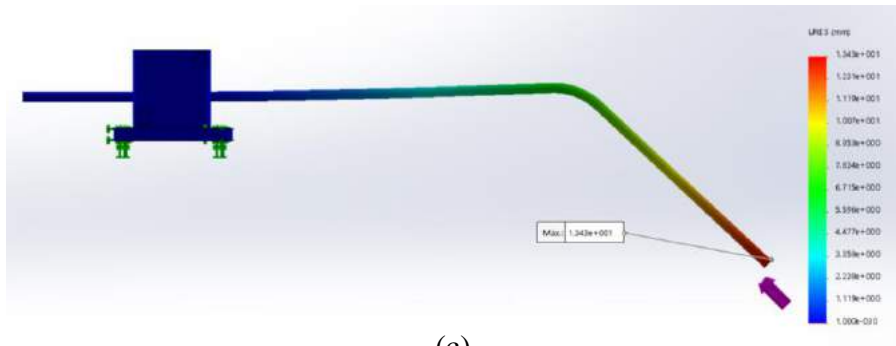
La figura 4.17 muestra los puntos de fijación del sistema casco-puntero, los cuales se ubican en sus perforaciones que unen al sistema con el casco de ciclista. La carga axial que se aplica en la punta de la varilla de aluminio corresponde al 10% del total de la fuerza que produce los músculos de la nuca de una persona, esto por el hecho de que las actividades para las cuales se usará del sistema casco-puntero no requieren de más fuerza.



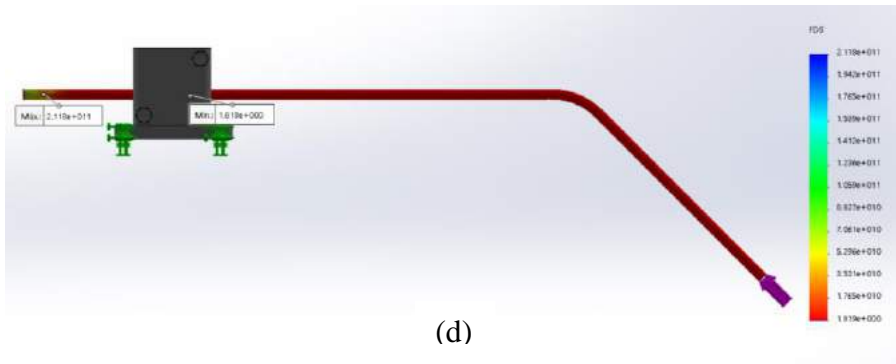
(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 4.17 Análisis estático sistema casco-puntero; (a) condiciones de contorno (b) esfuerzo de Von Mises (Pa), (c) desplazamiento máximo (mm), (d) factor de seguridad.

Con los resultados de los análisis se observa que los esfuerzos de Von Mises no superan el esfuerzo de tracción del material del cual esta echo la varilla de aluminio (6063), el valor del desplazamiento no interfiere al movimiento que cumple la varilla dentro del dispositivo. El aspecto final es el evaluar el factor de seguridad que 1,819 lo que significa que presenta un rango de seguridad aceptable.

Tabla 4.7 Resultados de análisis de esfuerzos, desplazamiento y factor de seguridad del sistema casco puntero.

Elemento	Esfuerzo Máximo [MPa]	Desplazamiento Máximo [mm]	Factor de seguridad
Casco-puntero	7971	1,34	1,819

4.6 Diseño del Sistema de Control

A continuación, en la figura 4.18 se describe el funcionamiento interno del sistema tablero, esto por el hecho de que maneja una serie procesos propios a partir de la captación de señales de entrada para generar una acción determinada. El primer bloque se enfoca en enviar la cantidad la fuerza aplicada en cada uno los sensores de presión en forma de voltaje hacia las entradas digitales del microcontrolador, esta magnitud es analizada en el segundo bloque y determina si el usuario a presionado o no un sensor dentro del sistema tablero. Tras superar una cantidad de voltaje determinada en la programación, el microcontrolador detecta que se presionó un sensor y ordena al módulo de reproducción ejecutar un audio en específico a través de los parlantes.

El sistema de control es un lazo abierto, por el hecho de que la fuerza medida en el sensor que se presionó no es retroalimentada de nuevo al sistema. Una vez leído el valor del sensor de presión este es determinado como una carga estática precargada, por lo que su valor es cero dentro del microcontrolador y para volver a presionarlo hay que quitar la presión antes echa.

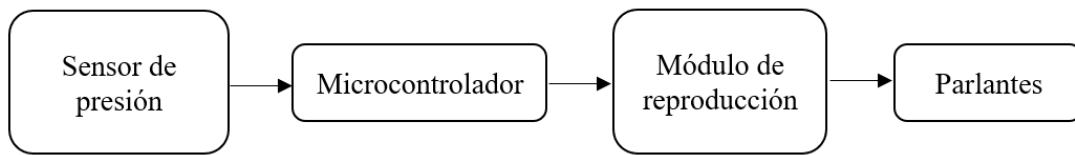


Figura 4.18 Diagrama de bloques del sistema tablero.

El circuito de control está conformado por sensores de presión, un microcontrolador, un módulo de reproducción y parlantes. La selección adecuada a cada elemento se realizó acorde a los siguientes criterios y restricciones propios hacia el diseño de control:

- Bajo consumo de energía.
- Bajo costo de implementación.
- Disponibilidad en el país.
- Adaptación al espacio.
- Portabilidad.

4.6.1 Medidores de presión

Los sensores generadores con los que se pueden medir la fuerza de presión tienen como casi todos, sus propias ventajas y desventajas cuando se mide una magnitud. En el mercado existe disponibilidad de varios dispositivos y en diferentes gamas, de entre ellos sobresalen las galgas extensométricas y los piezoeléctricos. El aplicar presión o torsión en estos sensores produce un valor eléctrico proporcional a la fuerza ejercida.

4.6.2 Selección de sensor para medición de fuerza

Al momento de seleccionar un sensor para la medición de fuerza se debe considerar el tipo de resultados que se busca obtener. Los métodos existentes parten desde elementos para uso industrial con extrema precisión y los de uso general, donde a pesar de ser menos precisos funcionan en ciertas aplicaciones.

Posterior al análisis de las alternativas disponibles, en la tabla 4.8 se evalúa para que criterio es “más adecuado” el uso de cada sensor en la medición de fuerza.

Tabla 4.8 Criterios de selección de sensores para medición de fuerza [43].

Criterio de Selección	Galgas Extensométricas	Piezoeléctricos
Medición de fuerza dinámica	-	Más adecuado
Rango de medida de fuerza	-	Más adecuado
Linealidad	Más adecuado	-
Repetibilidad	-	Más adecuado
Medición fuerza estática	Más adecuado	-
Montaje	Más adecuado	-
Medición de fuerzas estáticas precargadas	-	Más adecuado

A partir de la evaluación y considerando como criterios principales la medición de fuerzas dinámicas y la repetibilidad, queda en evidencia que la mejor opción es un sensor piezoeléctrico. Dentro de la amplia gama que existe alrededor de estos dispositivos, el enfoque se centra en aquellos que se usan fuera de la industria, por el hecho de los altos costos que estos representan.

4.6.3 Especificaciones del sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico

El fenómeno piezoeléctrico parte del efecto físico en el que materiales como el cuarzo, formado por cristales de silicio con carga positiva y átomos de oxígeno con carga negativa, en estado de reposo mantiene todos sus elementos dispersos de una forma uniforme, pero cuando el cuarzo es sometido a compresión o estiramiento sus cristales se concentran donde se produjo la fuerza, creando un diferencial de potencia que puede ser medido y es proporcional a la fuerza ejercida sobre este.

Los sensores piezoeléctricos de diafragma cerámicos se adaptan perfecto al espacio y las condiciones de instalación que se requiere, además de su fácil adquisición y programación, para

un uso general, el sensor permite medir la fuerza que se ejerce al presionar su electrodo, como se muestra en la figura 4.19, de una manera sencilla y con bajo costo.

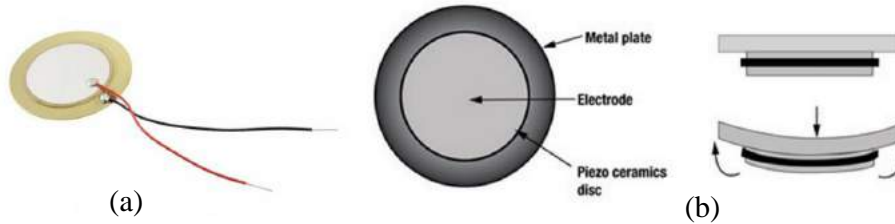


Figura 4.19 Sensor piezoeléctrico de diafragma (a) Elemento real (b)Partes y funcionamiento [44].

4.6.3.1 Sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico

Las dimensiones que corresponden al sensor se pueden observar en la figura 4.20.

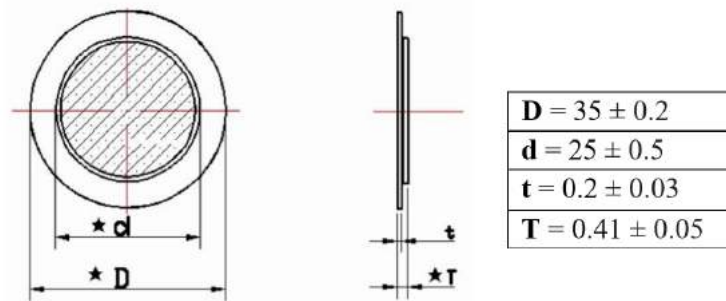


Figura 4.20 Plano de sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico (Unidades: mm) [44].

Tabla 4.9 Especificaciones técnicas del sensor piezoeléctrico de diafragma cerámico [44].

Característica	Descripción
Frecuencia de resonancia	2.3 ± 0.3[kHz]
Impedancia de resonancia	≤ 500
Capacitancia	45 ± 30% [nF]
Perdida dieléctrica	5%
Voltaje de salida	0 – 5[V]
Temperatura de operación	-20~+70[°C]
Material	Latón

El voltaje de salida es un punto importante para considerar, muchos de los microcontroladores para uso general solamente manejan 5V en sus entradas analógicas, un valor superior a este podría generar daños en la placa.

4.6.4 Selección de acciones de comunicación

Las consideraciones para determinar las frases que se incluirán en el sistema tablero, se dan a partir de un análisis a expresiones de comunicación necesarias para la persona a quien se destina el dispositivo de comunicación aumentativa (ver figura 4.21).

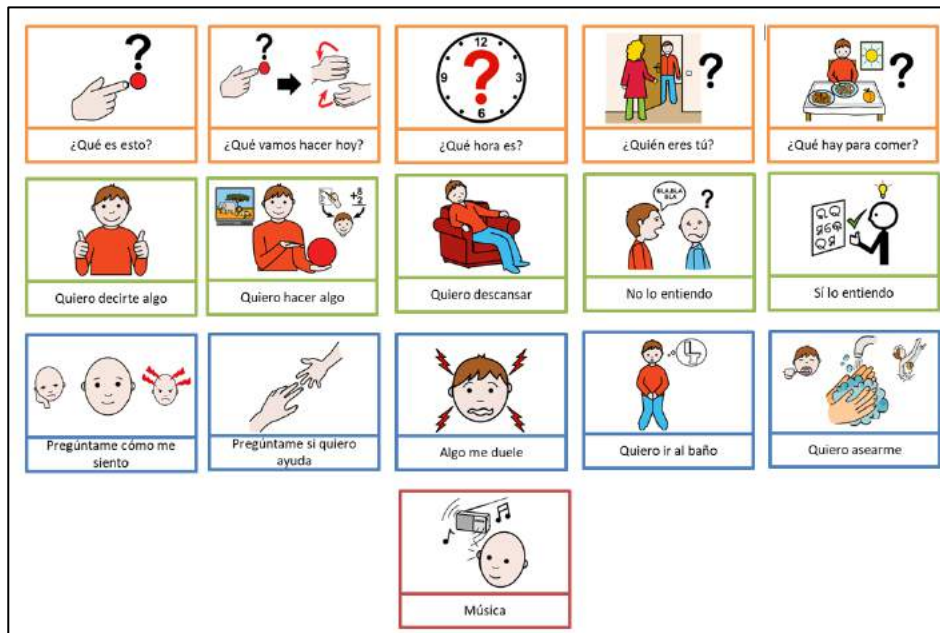


Figura 4.21 Acciones de comunicación del sistema tablero.

Todas las acciones reproducen la grabación de su expresión leída a excepción de “Música”, que está destinada a reproducir aleatoriamente entre un número determinado de canciones.

4.6.5 Modulo DFPlayer Mini MP3

El módulo de reproducción mostrado en la figura 4.22, es el encargado de decodificar hardware MP3 y WMV de forma integrada a través de una microSD. Una de sus cualidades más

sobresalientes es el poseer un amplificador integrado que soporta conexión directa hacia altavoces por debajo de 3 watts, lo que genera sonidos con una alta resolución.



Figura 4.22 Módulo DFPlayer Mini MP3.

Tabla 4.10 Especificaciones del Módulo DFPlayer Mini MP3 [45].

Característica	Descripción
Voltaje de operación	3.2 - 5[V]
Frecuencia soportada	8/11.025/12/16/22.05/24/32/44.1/48[kHz]
Salida	24 – bit DAC
Soporte para Micro SD	FAT16 y FAT32
Interfaz	Pines de control I/O para pulsadores
Volumen ajustable	30 niveles
Control de ecualización	6 niveles
Capacidad de memoria	32[GB]
Comunicación	RX/TX

El control de audio y alimentación de energía se gestionará mediante el microcontrolador y sus puertos de comunicación serial. Cabe mencionar que el manejo del volumen se realizará de forma directa en módulo DFPlayer a través de pulsadores conectados a sus puertos.

4.6.6 Microcontrolador

El microcontrolador es un dispositivo programable que es encargará de gestionar el manejo de las señales enviadas por los sensores de presión y el orden para la ejecución de sonidos.

4.6.6.1 Selección de microcontrolador

Su selección parte de la necesidad de requerir un sistema que posea un número determinado de entradas analógicas acorde con la cantidad de sensores que se utilizará. En el mercado existe disponibilidad de una amplia gama de estos pequeños ordenadores que se adaptan a la necesidad de cada usuario. En la tabla 4.11 se presenta una comparativa de los microcontroladores que se consideraron para este proyecto.

Tabla 4.11 Análisis de microcontroladores.

Característica	Arduino Uno	Arduino Mega	Raspberry pi zero
Procesador	ATMEGA 328	ATMEGA2560	BCM2835
Pines Análogos	6	16	40
Precio	15[\$]	25[\$]	55[\$]

Con base a que el sistema tablero requiere captar la señal de 16 sensores, se selecciona el Arduino Mega como la mejor alternativa, ya sea por el número de entradas analógicas o su bajo costo, además de tener un sencillo entorno de programación y varios elementos disponibles en el mercado para su implementación.

4.6.6.2 Especificaciones del microcontrolador Arduino Mega

El microcontrolador Arduino Mega, de la figura 4.23, analiza cada una de las señales de los sensores piezoeléctricos e indica al módulo DFPlayer que archivo reproducir.

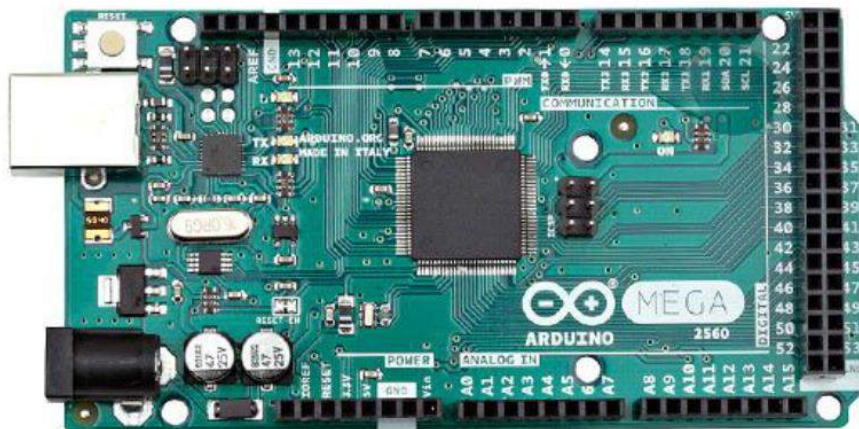


Figura 4.23 Arduino Mega.

Tabla 4.12 Especificaciones del microcontrolador Arduino Mega [46].

Característica	Descripción
Microcontrolador	ATmega2560
Voltaje Operativo	5[V]
Tensión de Entrada	7-12[V]
Voltaje de Entrada(límites)	6-20[V]
Pines digitales de Entrada/Salida	54
Pines análogos de entrada	16
Corriente DC Entrada/Salida	40[mA]
Memoria Flash	256[KB]
SRAM	8[KB]
EEPROM	4[KB]
Clock Speed	16[MHz]

4.6.7 Mesa inclinable

Este elemento es de carácter comercial y permite ajustar la posición del sistema tablero en 6 ángulos ($20^\circ / 25^\circ / 30^\circ / 35^\circ / 40^\circ$) para asegurar que el paciente encuentre una postura correctamente ergonómica al momento de usar el dispositivo (ver figura 4.24).



Figura 4.24 Mesa inclinable de la marca artecma.

4.6.8 Mini Parlante

Es el dispositivo utilizado para transformar la corriente eléctrica en sonido a partir de dos etapas que finalizan con la producción de ondas sonoras. En la figura 4.25 se presenta el modelo de los dos mini parlantes que se usaron.



Figura 4.25 Mini parlante de la maraca AMERICAN XTREME.

Tabla 4.13 Especificaciones de Mini Parlante [47].

Característica	Descripción
Tamaño	6[cm]
Resistencia	8[Ω]
Salida de poder	1[Watt]

4.6.9 Sistema de alimentación energética

El sistema tablero al tratarse de un dispositivo móvil con la capacidad de ser transportado con facilidad, contiene una batería que proporciona la energía necesaria para todas las funciones del sistema.

4.6.9.1 Batería de litio recargable 126090

Proporciona una capacidad de 3.7V - 8000mAh por celda y un circuito integrado PCM para evitar sobrecarga o descarga excesiva que alarga su vida útil (ver figura 4.26).



Figura 4.26 Batería de iones de litio 3.7v 8000mah recargable 126090.

Tabla 4.14 Especificaciones de batería recargable 126090 [48].

Característica	Descripción
Tipo de batería	Bolsa (polímero)
Capacidad estándar	8000[mAh]
Voltaje nominal	3.7[V]
Voltaje máximo de carga	4.2[V]
Corriente de carga	< 1[A]
Corriente máxima de descarga	< 3[A]
Temperatura de almacenamiento	-20[°C]~45[°C]
Ciclo de vida	500

Su conexión interna en paralelo suma una capacidad de 16000mAh para la alimentación del sistema.

4.6.9.2 Placa de carga para batería de litio por Micro USB 5V – 1A.

Esta placa (ver figura 4.27) a través de un puerto Micro USB reestablece los niveles energéticos de la batería recargable, además de ofrecer protección a cortocircuitos y el control de los niveles de carga y descarga para dos celdas en paralelo. Una de sus funciones más importantes es el gestionar la alimentación energética que se usará en la parte electrónica del sistema tablero.



Figura 4.27 Placa de carga para batería de litio por Micro USB 5V – 1A.

Tabla 4.15 Especificaciones de Placa de carga [49].

Característica	Descripción
PCM	$\leq 65[m\Omega]$
Voltaje/Corriente de alimentación	5[V] - 1[A]
Voltaje de entrada B+ a B-	3.0 – 4.2[V]
Voltaje/Corriente de salida	5[V] - 2[A]

La placa cuando detecta que un dispositivo se está alimentado a través de ella, indica el porcentaje de carga disponible en la batería por medio de un display de 7 segmentos para 3 dígitos con valores que van de 0 a 100 en forma porcentual al estado de carga de la batería.

4.6.9.3 Tiempo de descarga en batería.

El tiempo de descarga de una batería parte del comparar los amperios horas que esta brinda y la carga que se consume en todo el sistema.

Tabla 4.16 Consumo de carga por elemento.

Dispositivo	Corriente consumida[mA]
Arduino Mega	93
DFPlayer Mini Mp3	20
Mini Parlante	363 (x2)
Display 7 segmentos	20
Total	839

Ahora, a partir de una expresión reducida de la ecuación de Peukert para un caso teórico donde no se considera que a mayor cantidad de ciclos de descarga la batería pierde más energía, se presenta la siguiente ecuación para determinar el tiempo de descarga.

$$T = \frac{C}{I} \quad (4.1)$$

Donde:

- T = Tiempo de descarga
- C = Capacidad de batería
- I = Corriente de descarga

A partir de la ecuación 4.1, se obtiene el siguiente resultado; T = 19.07[h].

Este tiempo de duración es un estimado para condiciones teóricas, pero se asemeja mucho a la realidad de cuanto sería el tiempo de duración de la batería.

4.6.10 Programación del controlador.

La programación es implementada a través del software “Arduino (IDE)” donde su lenguaje de procesamiento oficialmente está basado en otro llamado wiring, el cual es un conjunto de funciones de los lenguajes C y C++ lo que lo hace ser un entorno de programación multiparadigma, donde se destaca la orientación a objetos y el manejo de clases [50].

Dentro del **Anexo A** se presenta el código de programación cargado en el microcontrolador, este incluye librerías como: SoftwareSerial para analizar los valores producidos en los sensores de presión y DFPlayer Mini Mp3 que controla el módulo de reproducción dentro del sistema.

4.6.10.1 Diagrama de flujo.

Partiendo de un flujograma presentado en el **Anexo B**, se detalla la secuencia que llevará a cabo el microcontrolador, destacando el proceso para la adquisición de valores generados por los sensores de presión y los parámetros de volumen en reproductor durante su estado inicial.

4.6.10.2 Control de presión y fuerza.

El proceso para accionar cada uno de los sonidos parte de la presión ejercida por el usuario, los sensores se encuentran ubicados bajo un elemento que aparentemente generan su propia presión, pero es importante recalcar que los sensores se adaptan a esta presión precargada y no la censan.

Las entradas analógicas captan un voltaje de 0 a 5V que internamente dentro de la resolución del microcontrolador se traduce en un intervalo de 0 a 1024, a partir de estos valores y ciertas pruebas de funcionamiento con el monitoreo serial, se establece que los valores necesarios de aplicación de fuerza para activar cada uno de los sonidos es de 25, esto sí, considerando que la activación de una acción produce ciertas vibraciones que son captadas por los demás sensores.

4.6.10.3 Diagrama de conexión.

En el **Anexo C** se presenta el diagrama de conexiones para el circuito implementado dentro del sistema tablero, este contiene una batería de 3.7V para alimentar el microcontrolador y todos los elementos adicionados a este.

4.6.10.4 Shield para Arduino Mega 2560

Para la implementación de toda la circuitería se utilizó una placa de circuito impreso (PCB) de tipo comercial, como se observa en la figura 4.28. Esto por el hecho de no existir la posibilidad de utilizar el circuito integrado de Arduino Mega 2560 en forma separada de su estructura.

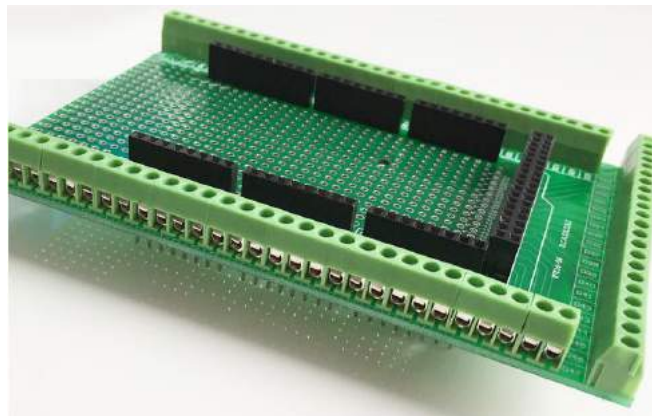


Figura 4.28 Shield para Arduino Mega 2560 con terminales de bloque.

El dispositivo Shield se conecta a todos los sockets del microcontrolador y convierte la conexión de cableado convencional al uso de borneras, esto asegura una mayor fijación en los cables del sistema y además cuenta con un espacio para soldar elementos de manera fija sobre la PCB.

4.7 Construcción y Ensamblaje.

El proceso de construcción del dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje parte en primeras instancias de la creación del sistema casco-puntero a partir de manufactura por adición, de manera seguida, la fabricación del sistema tablero se divide en su

estructura física y ensamble de componentes electrónicos. El dispositivo brinda al usuario una herramienta de apoyo para terapias de comunicación con seguridad y comodidad.

4.7.1 Fabricación del sistema casco-puntero

En su mayoría los elementos que conforman este sistema fueron creados a base de impresión 3D en un copolímero denominado PETG, como se muestra en la figura 4.28. Todo a partir de los modelos tridimensionales que se detallan en los planos del **Anexo G**.



Figura 4.28 Base de sujeción impresa en 3D.

La parte varilla, como se muestra en la figura 4.29, es realizada en tubo redondo de aluminio de 5/16", su proceso de manufactura parte desde una dobladora y acciones de corte que generan el dobles y medidas necesarias para su implementación.



Figura 4.29 Varilla de aluminio.

4.7.1.1 Ensamblaje del sistema casco-puntero

Cada pieza dentro de este sistema es acoplada acorde a lo establecido en su diseño por medio de tornillos de 1/4" que varían su longitud acorde a su localización por pieza, como se muestra en la figura 4.30.



Figura 4.30 Ensamblaje del sistema casco-puntero.

4.7.2 Fabricación de la estructura del sistema tablero

En su totalidad las partes que conforman la estructura del sistema tablero, como se muestra en la figura 4.31, están realizadas en MDF melamínico de color blanco, a través de un proceso térmico de alta precisión y velocidad denominado corte laser.

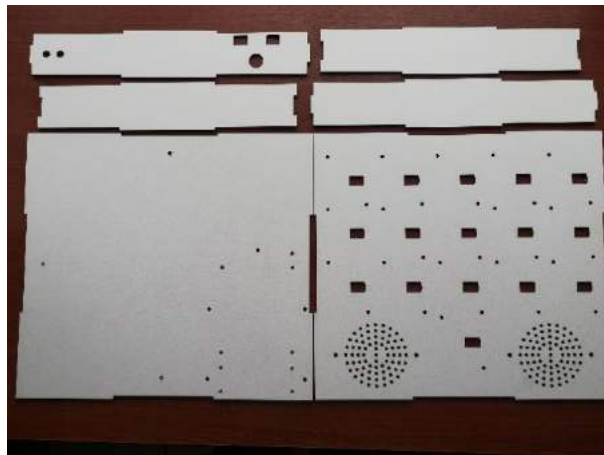


Figura 4.31 Estructura del sistema tablero.

Los portadores de imágenes mantienen el mismo proceso de fabricación en corte laser y se presenta en la figura 4.32.

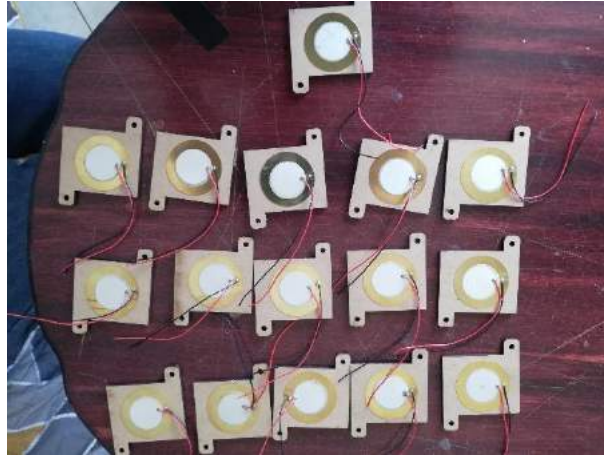


Figura 4.32 Portadores de imágenes con sensores Piezoeléctricos.

4.7.3 Fabricación de la base para la batería y su placa de carga

Para mantener la batería fijada y aislada dentro del sistema tablero se diseñó una carcasa de material acrílico a partir de corte laser, como se muestra en la figura 4.33.

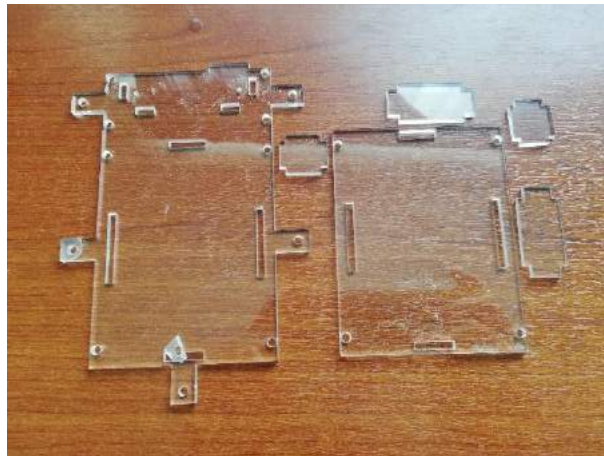


Figura 4.33 Base para batería y placa de carga.

4.7.4 Fabricación de soporte para mini parlantes

Las bocinas al no contar con una forma de sujeción propia, mediante impresión 3D se diseñó los soportes presentados en la figura 4.34 para poder incorporarlas en la estructura del sistema tablero.



Figura 4.34 Soporte para mini parlantes.

4.7.5 Grabación de audio para acciones de comunicación

A través de consideraciones en específico hacia la persona a quien va dirigida el tablero de comunicación aumentativa, se seleccionó a la madre del paciente para grabar cada una de las frases correspondientes con las acciones de comunicación del sistema tablero, como se muestra en la figura 4.35.

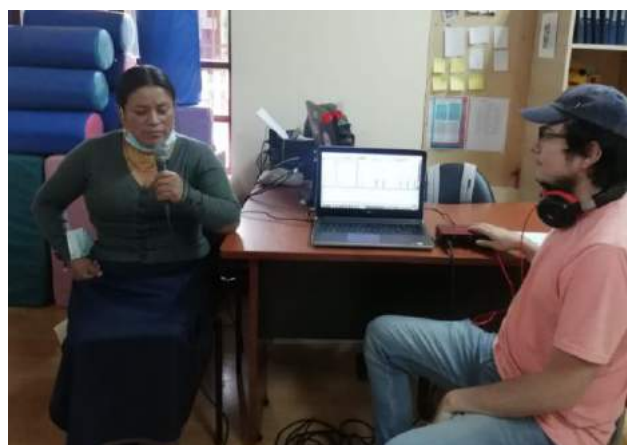


Figura 4.35 Toma de audios para acciones de comunicación.

4.7.5.1 *Ensamblaje de estructura del sistema tablero*

Las paredes laterales son fijadas a la base por medio de abrazaderas para esquinas de 1/8", mientras el panel de acciones se incorpora con una bisagra de 75x40mm que facilita el acceso al interior del sistema (ver figura 4.36).

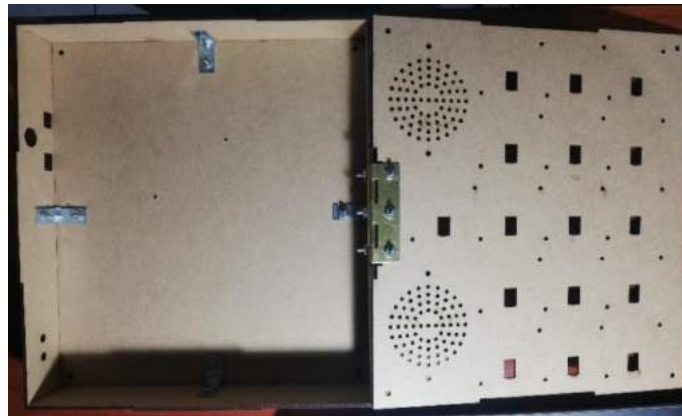


Figura 4.36 Estructura del sistema tablero ensamblada.

4.7.5.2 *Ensamblaje del sistema electrónico*

Toda la electrónica va acoplada en la estructura del sistema tablero, creando un espacio de tres secciones: fuente de alimentación, microcontrolador y sensores, como se muestra en la figura 4.37.

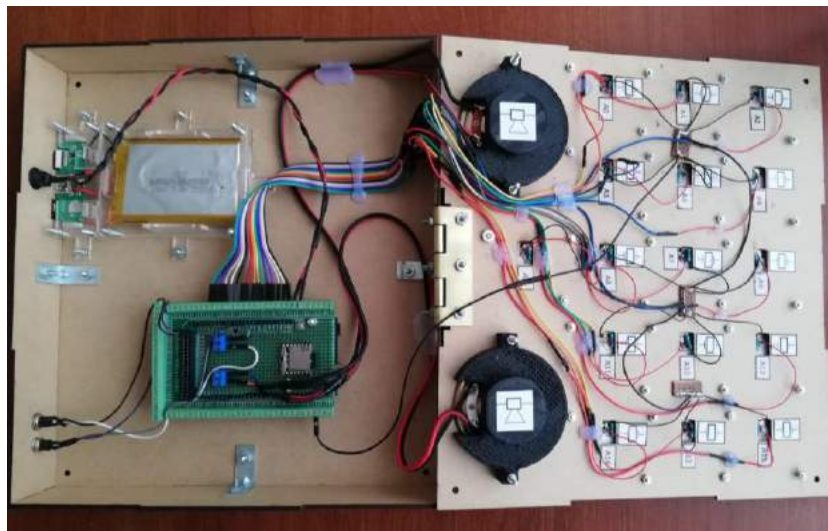


Figura 4.37 Sistema electrónico ensamblado.

4.7.5.3 Ensamblaje del sistema tablero

Con la fabricación de todas las partes necesarias que forman el sistema tablero, se procede a ensamblar cada uno de sus elementos como se muestra en la figura 4.38.



Figura 4.38 Ensamblaje del sistema tablero.

4.8 Análisis de Costos

Los costos de construcción del sistema casco-puntero se presentan en la tabla 4.17.

Tabla 4.17 Costos de construcción de sistema casco-puntero.

Descripción	Costo unitario
Partes impresas en 3D	\$15.00
Casco de ciclista	\$35.00
Varilla de aluminio	\$3.50
Tornillos	\$2.00
Costo Total	\$55.50

El nombre comercial del sistema casco-puntero es “Licornio” y este ostenta precios de entre \$250 y \$300, en dependencia del tamaño de su varilla de alcance o posibilidad de configuración angular. El sistema casco puntero cuenta con todas las funcionalidades de un “Licornio” pero con costos mucho más bajos y mayor facilidad de adquisición.

El sistema tablero cuenta con muchas formas comerciales que asemejan su funcionalidad donde el gran diferenciador es el nivel tecnológico que poseen cada uno de ellos. A continuación, en la tabla 4.18 se indican los costos de construcción del sistema tablero.

Tabla 4.18 Costos de construcción de sistema tablero.

Descripción	Costo unitario
Estructura	\$10.00
Microcontrolador	\$25.00
Shield	\$7.00
Batería y placa de carga	\$15.00
Pulsadores	\$2.00
Imágenes adhesivas	\$4.00
Cableado y tornillos	\$5.00
Sensores	\$8.00
Costo Total	\$76.00

Los sistemas de alta tecnología generalmente son tabletas comerciales a las que se les adapta un software especializado y sistemas de protección para golpes, que también brindan ajustes de ergonomía acorde al usuario. Sus costos oscilan entre \$1500 y \$3000.

Ahora los sistemas de mediana tecnología son dispositivos a las que se interactúa de manera analógica presionando un botón y ejercen la acción de comunicación, sus costos están entre \$200 y 600\$ dependiendo el número de mensajes que reproduzcan. El sistema tablero cuenta con una cantidad limitada de mensajes sonoros, lo que lo diferencia mucho de sus semejantes comerciales, pero en cuanto a funcionalidad abarca todo lo referente a un sistema de mediana tecnología y con la capacidad de ser programable para ampliar sus usos.

4.9 Pruebas de Funcionamiento

En principio el dispositivo de apoyo para terapias de comunicación es hecho en base a necesidades de un niño de 14 años, a quien desde este momento se llamará (E), con cuadriplejía producto del síndrome de parálisis cerebral. Dentro de las habilidades cognitivas y motrices a resaltar en (E) está su alto nivel de comprensión hacia la interacción con el medio y la capacidad de movimiento con su cabeza.

En la figura 4.39 se muestran las pruebas de funcionamiento con el sistema casco-puntero para actividades grafomotoras en (E). Para evaluar la manipulación del dispositivo se pidió al paciente que coloreara dentro de 3 diferentes formas geométricas sin salirse de sus bordes. En la tabla 4.19 se detallan los resultados obtenidos.



Figura 4.39 Actividades grafomotoras con dispositivo casco-puntero.

Tabla 4.19 Pruebas realizadas al sistema casco-puntero.

Nº de prueba	Forma geométrica	Resultado
1	Círculo	Funciona correctamente
2	Cuadrado	Funciona correctamente
3	Rectángulo	Funciona correctamente

Previo a la evaluación de la funcionalidad del sistema tablero por parte del paciente (E), se procedió a verificar el accionamiento de cada una de las acciones sin el paciente.

El funcionamiento de cada una de las acciones disponibles en el sistema tablero, fueron evaluadas por (E) a partir del uso del sistema casco-puntero, que permite presionar cada uno de los sensores a partir del movimiento de su cabeza, como se muestra en la figura 4.40.



Figura 4.40 Pruebas de funcionamiento del sistema tablero.

En la tabla 4.20 se determinó el número de intentos que fueron necesarios en cada acción por parte de (E) para reproducir el sonido de comunicación deseado.

Tabla 4.20 Pruebas realizadas al sistema tablero.

Nombre de la acción	Nº de intentos	Resultado
¿Qué hay para comer?	1	Funciona correctamente
¿Quién eres tú?	4	Funciona correctamente
¿Qué hora es?	3	Funciona correctamente
¿Qué vamos a hacer hoy?	1	Funciona correctamente
¿Qué es esto?	4	Funciona correctamente
Si lo entiendo	1	Funciona correctamente
No lo entiendo	4	Funciona correctamente
Quiero descansar	1	Funciona correctamente
Quiero hacer algo	1	Funciona correctamente

Quiero decirte algo	1	Funciona correctamente
Quiero asearme	2	Funciona correctamente
Quiero ir al baño	1	Funciona correctamente
Algo me duele	6	Funciona correctamente
Pregúntame si quiero ayuda	3	Funciona correctamente
Pregúntame como me siento	3	Funciona correctamente
Música	3	Funciona correctamente

CAPÍTULO V

5 Manual de Operación y Mantenimiento

5.1 Desarrollo de la Guía de Usuario

5.1.1 Información preliminar

El diseño del dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje está basado en el conocimiento y reflexión de las necesidades de un niño con parálisis cerebral donde a partir de sus particularidades motrices y cognitivas, se diseñó un sistema coherente para promover su desempeño comunicativo y acceso a la socialización.

Se recalca el hecho de ser un sistema personalizado para evitar la generación de falsas expectativas en el tipo de población que podría ser candidata para el uso del dispositivo. Esto debido a que no existe un diseño universal y lo que resulta funcional para algunas personas tal vez no lo sea para otras.

5.1.2 Descripción general

Se presenta un dispositivo de comunicación aumentativa y alternativa (CAA) para pacientes con parálisis cerebral que se subdivide en dos sistemas.

5.1.3 Descripción del sistema casco-puntero

El sistema casco-puntero funciona a través del movimiento cefálico voluntario y permite al usuario realizar actividades grafomotoras e interactuar con el medio. Se coloca en la cabeza y es totalmente acolchado con la posibilidad de ajustarse al tamaño y necesidades del usuario.

5.1.3.1 Ajustes iniciales del sistema

Para utilizar el sistema casco-puntero se debe seguir los siguientes pasos:

1. Ensamblar las partes según las instrucciones de la figura 5.1.
2. Ubicar al usuario en postura sedente.

3. Colocar el sistema casco-puntero en la cabeza del usuario, para posteriormente proceder al proceso de ajuste:

- La posición correcta del casco va nivelada a una altura de dos dedos sobre las cejas.
- Abrochar la hebilla y verificar que se coloque bajo la barbilla.
- Ajustar las correas laterales a forma de forma una “V” bajo cada oreja.
- Ajustar las correas de la barbilla hasta que haya espacio para un o dos dedos.
- Ajustar el diámetro del casco a través de su regulador de anillo en la parte trasera.

4. En el extremo anterior de la varilla se instala un adaptador de elementos que permite colocar lápiz, bolígrafo, pincel, señalador, etc., que no sobrepasen un diámetro de 1.5cm.

5. Configurar el ángulo y longitud de la varilla de aluminio acorde a la actividad que se requiera.

6. En caso de movimientos inesperados dentro del sistema, asegurarse que los tornillos estén bien ajustados.

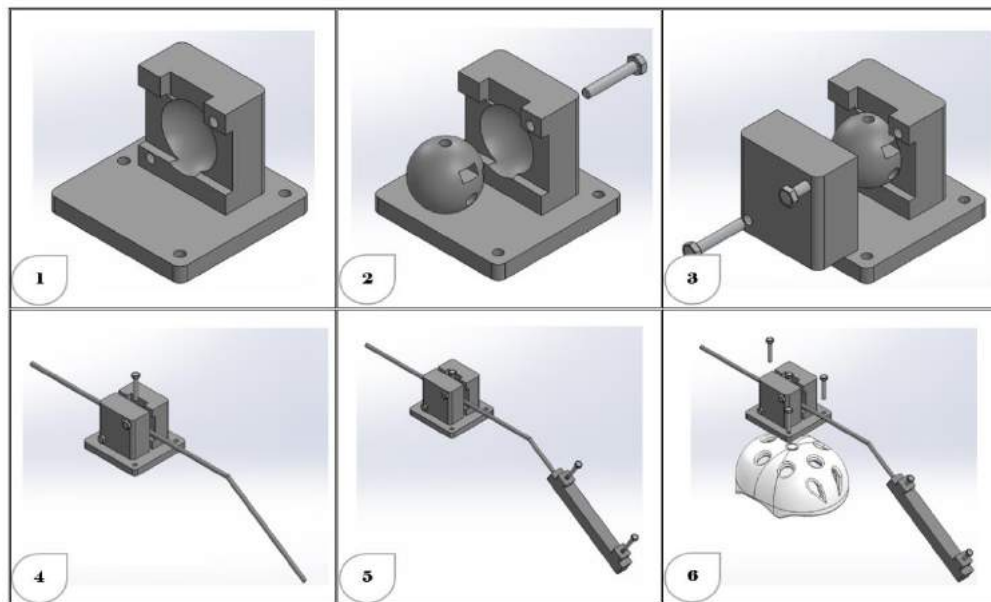


Figura 5.1 Instrucciones de ensamblaje, sistema casco-puntero.

5.1.4 Descripción del sistema tablero

Supliendo la expresión del lenguaje convencional se presenta el sistema tablero. Este es un dispositivo que cuenta con 16 diálogos o acciones representados a través de símbolos pictográficos, que tras ser pulsados reproducen una nota de voz con el dialogo de cada acción, recreando así una comunicación oral limitada.

A continuación, se detalla el funcionamiento de cada una de sus partes.

5.1.4.1 Control de encendido y carga

Una presionado el botón de encendido, se enciende una pantalla que indica el porcentaje de batería de 0 a 100 (ver figura 5.2). Para recargar el dispositivo cuenta con entrada Micro USB del tipo B para carga de 5V – 1A.



Figura 5.2 Control de encendido y carga, sistema tablero.

5.1.4.2 Control de Audio

Para aumentar (+) o disminuir (-) el volumen del sonido se debe mantener presionado los pulsadores por algunos segundos. Una sola pulsación cambia de manera ordena los audios disponibles en el sistema.



Figura 5.3 Control de audio, sistema tablero.

5.1.4.3 Panel de acciones

Existen 16 opciones dentro del sistema tablero, para presionarlas se debe considerar el lugar adecuado como se muestra en la figura 5.4.



Figura 5.4 Zona para pulsar dentro de cada acción, sistema tablero.

5.1.4.4 Ajustes iniciales del sistema.

Para utilizar el sistema tablero se debe seguir los siguientes pasos:

1. Colocar el dispositivo sobre la mesa inclinable y regular la posición acorde a lo necesitado.
2. Presionar el botón de encendido.
3. Verificar el nivel de batería disponible.
4. Configurar la cantidad de volumen.
5. En caso de la reproducción de acciones en forma involuntarias, verificar que el lugar en que se encuentre no produzca vibraciones.

5.1.5 Precauciones.

Es muy importante leer las indicaciones antes de poner a funcionar el dispositivo de apoyo.

La posición del paciente debe ser en forma sedente, considerando que esta sea anatómicamente correcta y cómoda.

El dispositivo tablero debe usarse en áreas secas y en caso de existir filtración de líquidos, debe ser inspeccionado por personal autorizada o el fabricante.

La batería soporta hasta 500 ciclos de carga.

5.1.6 Riesgos.

Para el uso del dispositivo de apoyo, la persona que acompañe al usuario debe cerciorarse que los tornillos de ajustes y elementos se encuentren en perfecto estado.

Solo personal autorizado puede realizar acciones de mantenimiento y reparación.

CONCLUSIONES

El lenguaje en el parálítico cerebral se desarrolla de forma permanente desde su infancia a través de la interacción que produce su familia. Dentro de las funciones de comunicación, la reproducción fonética en el paciente se ve alterada por problemas motores, dificultando de manera parcial o completa el habla; no obstante, es indispensable la constante estimulación auditiva de palabras básicas que sirvan al paciente como recordatorio del sonido de cada fonema, además de aportar a su desarrollo cognitivo y adquisición de léxico.

El sistema tablero es un dispositivo de comunicación aumentativa/alternativa que usa medios pictográficos para remplazar la oralidad en pacientes con trastorno de comunicación, este dispositivo pretende que el paciente sea productivo con su lenguaje oral y realice acciones de comunicación que modifiquen el entorno. Su diseño parte a través del conocimiento del paciente y sus particularidades físicas, emocionales y sociales.

El lenguaje escrito comprende el desarrollo de un conjunto de capacidades perceptivas, grafomotoras, espaciales, motrices, lingüísticas, etc., de allí la importancia de poseer un medio de acceso a la escritura para la persona con PC. Dispositivos de apoyo como el sistema casco-puntero sustituyen el medio habitual hacia la escritura y permiten a la persona realizar ejercicios de grafomotricidad que aportan al desarrollo de las funciones de comunicación en el paciente.

El uso de dispositivos de apoyo en pacientes con trastornos de movimientos, generan la posibilidad de realizar actividades de forma autónoma, lo que trae beneficios hacia el autoestima de la persona y posible adquisición de habilidades para un futuro laboral.

El costo de fabricación del sistema casco-puntero es de \$55 que representa el 22% del costo de un “Licornio” importado, lo que representa una gran reducción a su costo de implementación comercial.

RECOMENDACIONES

Para futuras investigaciones el sistema tablero puede ser usado como un periférico de entrada para interactuar con dispositivos inteligentes a través de su puerto USB, simulando ser un teclado o un controlador MIDI acorde a la necesidad. Dicha actualización involucra de una programación más compleja y de ciertas modificaciones a la estructura física del dispositivo.

Para el uso del dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje, es importante primero realizar ciertos ajustes y consideraciones a la posición del paciente, esto asegura su ergonomía con el entorno y evita malas posturas que traen afecciones a futuro.

Cuando se diseña un dispositivo para una persona con comunicación limitada, es de gran importancia trabajar de manera cooperativa con su familia o especialistas a su cuidado, esto para evaluar más allá de los aspectos motores y no dejar de lado lo emocional.

El usar el dispositivo de apoyo para terapias de comunicación y aprendizaje, genera hacia el paciente un cansancio físico y mental. Para evitar la pérdida de motivación durante prácticas de rehabilitación, es de suma importancia llevar un control de sus tiempos de uso.

REFERENCIAS

- [1] N. M. P. Patel DR, «Cerebral palsy in children: a clinical overview,» *Transl Pediatr*, vol. 9, nº 10.21037, pp. 125-135, 2020.
- [2] M. Inpyo Jeon, M. P. Moon Suk Bang, M. P. Jae Young Lim, M. P. Hyung-Ik Shin, M. Ja-Ho Leigh, M. P. KeeWon Kim, M. P. Bum Sun Kwon, P. Soong-Nang Jang y M. P. Se Hee Jung, «Sarcopenia among Adults with Cerebral Palsy in South Korea,» *pmjournal*, Seoul, 2019.
- [3] OMS y B. Mundial, «Informe sobre la Discapacidad,» Ediciones de la OMS, Malta, 2011.
- [4] I. N. d. E. y. Censo, «ecuadorencifras,» Gobierno de la República del Ecuador , 2019. [En línea]. Available: https://www.ecuadorencifras.gob.ec/nacimientos_y_defunciones/. [Último acceso: 11 Enero 2021].
- [5] INEC, «ecuadorencifras,» Gobierno de la República del Ecuador , [En línea]. Available: <https://www.ecuadorencifras.gob.ec/proyecciones-poblacionales/>. [Último acceso: 13 Enero 2021].
- [6] A. M. Muñoz, «LA PARÁLISIS CEREBRAL,» Instituto de Mayores y Servicios Sociales (IMSERSO) , España, 2010.
- [7] D. C. C. y D. C. V. R., «Parálisis cerebral infantil: definición y clasificación a través de la historia,» *Revista Mexicana de Ortopedia y Pediatría*, vol. 16, nº 1, pp. 6-10, 2014.
- [8] M. P. D. H. y M. Cuadrado, «Terapia ocupacional en Neurología,» *REV NEUROL*, vol. 35, nº 4, pp. 366-372, 2002.
- [9] I. C. P. Society, «cpint,» 23 02 2020. [En línea]. Available: <https://www.cpint.org/what-is-cp>. [Último acceso: 24 03 2021].
- [10] A. G. Prieto, Niños y niñas con Parálisis Cerebral DESCRIPCIÓN, ACCIÓN EDUCATIVA E INSERCIÓN SOCIAL, Madrid: Narcea, 2016.
- [11] D. C. Perret, Manual de Pediatría, Chile: Pontificia Universidad Católica de Chile, 2020.
- [12] J. L. Guerra, Manual de fisioterapia, México: El Manual Moderno, 2018.
- [13] N. Wimalasundera y V. L. Stevenson, «Cerebral Palsy,» *Pract Neurol*, vol. I, nº 16, pp. 184-194, 2016.
- [14] C. RICHARDS y F. MALOUIN, «Cerebral palsy: definition, assessment and rehabilitation,» *Handbook of Clinical Neurology*, vol. III, nº 3, pp. 184-195, 2013.
- [15] K. Vitrikas, H. Dalton y D. Grant, «Cerebral Palsy: An Overview,» *American Family Physician*, vol. 101, nº 4, pp. 214-220, 2020.
- [16] A. A. E. d. Pediatría, M. Cruz Tratado de Pediatría, Madrid: Panamericana , 2014.
- [17] P. P. Argüelles, «Parálisis cerebral infantil,» *Protocolos Diagnóstico Terapéuticos de la AEP: Neurología Pediátrica*, pp. 272-277, 2008.
- [18] G. Arévalo y M. Piedad, «Fisioterapia en neurología: estrategias de intervención en parálisis cerebral,» *Umbral Científico*, nº 7, pp. 24-32, 2005.
- [19] E. T. d. A. S.L., «Eneso,» Eneso Tecnología de Adaptación S.L., [En línea]. Available: <https://www.enso.es/shop/product/enpathia>. [Último acceso: 8 Abril 2021].

- [20] I. AbleNet, «AbleNet,» AbleNet, Inc., 2021. [En línea]. Available: <https://www.ablenetinc.com/trackerpro-2/#Description>. [Último acceso: 4 Abril 2021].
- [21] Q. oy, «Quha: Productos,» Quha oy, 2020. [En línea]. Available: <https://www.quha.com/products-2/zono/>. [Último acceso: 8 Arbil 2021].
- [22] Key2Enable, «Key2Enable: a-blinX,» Key2Enable, 2021. [En línea]. Available: <https://key2enable.com/produtos/a-blinx/>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [23] T. Dynavox, «Tobii Dynavox: Eyemobile-Plus,» Tobii Dynavox, 2021. [En línea]. Available: <https://www.tobiidynavox.com/es/devices/dispositivos-control-traves-mirada/eyemobile-plus-soporte/>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [24] T.-W. Ltd., «Nous,» Thought-Wired Ltd., 2021. [En línea]. Available: <https://getnous.app/pages/how-nous-works>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [25] tongo.tech, «tongo,» tongo.tech, [En línea]. Available: <http://tongo.tech/index.html>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [26] sapienllc, «sapienllc: SmartMouthware,» sapienllc, [En línea]. Available: <https://sapienllc.com/>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [27] IntegraMouse, «IntegraMouse Plus,» IntegraMouse, [En línea]. Available: <https://www.integramouse.com/en/home/>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [28] Nuance, «Nuance: Dragon,» Nuance, [En línea]. Available: <https://www.nuance.com/dragon/business-solutions/dragon-professional-individual.html>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [29] SpeechTexter, «SpeechTexter,» SpeechTexter, 2021. [En línea]. Available: <https://www.speechtexter.com/>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [30] SpeechLogger, «SpeechLogger,» SpeechLogger, [En línea]. Available: <https://speechlogger.appspot.com/es/>. [Último acceso: 8 Abril 2021].
- [31] J. C. J. Revuelta, «SISTEMAS ELÉCTRONICOS PARA LA ASISTENCIA, AYUDA Y RECREACIÓN DE PERSONAS CON DICAPACIDAD,» Universidad de Sevilla, Sevilla, 2018.
- [32] J. Sigafoos, A. Carnett, S. McNamee, G. E. Lancioni y M. F. O'Reilly, «Helping a Man With Cerebral Palsy Access Preferred Internet Content Using Assistive Technology and a Participant-Directed Support Model,» SAGE, Colorado, 2017.
- [33] M. A. Velasco, R. Raya, L. Muzzioli, D. Morelli, A. Otero, M. Iosa, F. Cincotti y E. Rocon, «Evaluation of cervical posture improvement of children with cerebral palsy after physical therapy based on head movements and serious games,» *BioMedical Engineering OnLine*, vol. I, nº 16, pp. 2-13, 2017.
- [34] M. P. Sanclemente y J. Á. A. d. l. Fuente, PARÁLISIS CEREBRAL INFANTIL Aspectos comunicativos y psicopedagógicos Orientaciones al profesorado y a la familia, Málaga: Ediciones Aljibe, S.L., 2000.
- [35] E. A. R. Moguel, METODOLOGÍA DE LA INVESTIGACIÓN La creatividad, el rigor del estudio y la integridad son factores que transforman al estudiante en un profesional de éxito, Villahermosa: Universidad Juárez Autónoma de Tabasco, 2005.
- [36] J. T. Málaga, G. Vera y R. O. Ramos, «Tipos, métodos y estrategias de investigación científica,» *Pensamiento y Acción*, nº 5, pp. 145-154, 2008.

- [37] S. Winick y P. Bartis, La tradición popular y la investigación de campo: Una introducción a las técnicas de investigación, Washington DC: Biblioteca del Congreso, 2016.
- [38] R. M. Watson y L. Penningto, «Assessment and management of the communication difficulties of children with cerebral palsy: a UK survey of SLT practice,» *International Journal of Languaje & Communication Disorders*, vol. 50, nº 2, pp. 241-259, 2015.
- [39] H. WS y J. RD, «Analysis of intentional head gestures to assist computer access by physically disabled people,» *J Biomed Eng*, nº 12, pp. 193-8, 1990.
- [40] C. S. Matín y S. S. d. Riego, «Comunicación vocal y no vocal en la parálisis cerebral infantil,» *Rehabilitación (Madr)*, vol. 35, nº 2, pp. 114-120, 2001.
- [41] G. X. D. S. (. e. I. Evolutiva), «grupoxds,» 12 12 2016. [En línea]. Available: <https://www.grupoxds.com/wp-content/uploads/2016/12/PETG.pdf>. [Último acceso: 19 Junio 2021].
- [42] MASISA, «www.masisa.com,» 12 09 2016. [En línea]. Available: <https://www.maderas20.com/wp-content/uploads/2016/09/MDF.pdf>. [Último acceso: 19 06 2021].
- [43] A. E. F. Galeano, «Estudio de sensores piezoeléctricos en aplicaciones de medición de fuerza,» Universidad Politécnica de Valencia, Valencia, 2018.
- [44] L. ELECTRONIC CERAMIC CO., «Cerámica Electrónica CO., LTD de PZT,» [En línea]. Available: <http://m.es.piezodisc.com/piezo-diaphragm/external-drive-piezo-diaphragm/disk-type-piezo-sensor-element.html>. [Último acceso: 24 07 2021].
- [45] picaxe, «picaxe,» [En línea]. Available: <https://picaxe.com/docs/spe033.pdf>. [Último acceso: 25 07 2021].
- [46] Arduino, «Arduino Store,» Arduino, [En línea]. Available: <https://store.arduino.cc/usa/mega-2560-r3>. [Último acceso: 25 07 2021].
- [47] G. Velasco, «Velasco,» Grupo Velasco, [En línea]. Available: <http://www.velasco.com.ec/velasco/producto.php?id=493>. [Último acceso: 25 07 2021].
- [48] elektronik.ropla.eu, «elektronik.ropla.eu,» ropla, [En línea]. Available: <https://www.elektronik.ropla.eu/pdf/stock/aky/aky0883.pdf>. [Último acceso: 01 08 2021].
- [49] W. O. store, «AliExpress,» AliExpress, [En línea]. Available: <https://n9.cl/pjhjx>. [Último acceso: 01 08 2021].
- [50] C. Pedregosa, «Programación C++ y Arduino,» Universidad de Granada, España, 2019.

ANEXOS

A. Código de Programación

```
//Librerías
#include <SoftwareSerial.h>
#include <DFRobotDFPlayerMini.h>
SoftwareSerial
mySoftwareSerial(10,11); //Puertos de
control
DFRobotDFPlayerMini Reproductor;

const int PizoPush = 75; //Valor de
presión
const int Time = 100; //Tiempo de
retardo
long randomNumber; //Número
aleatorio

//Declaración de Puertos Analógicos
const int Pizo0 = A0;
const int Pizo1 = A1;
const int Pizo2 = A2;
const int Pizo3 = A3;
const int Pizo4 = A4;
const int Pizo5 = A5;
const int Pizo6 = A6;
const int Pizo7 = A7;
const int Pizo8 = A8;
const int Pizo9 = A9;
const int Pizo10 = A10;
const int Pizo11 = A11;
const int Pizo12 = A12;
const int Pizo13 = A13;
const int Pizo14 = A14;
const int Pizo15 = A15;

//Declaración de Sensores
Piezoeléctricos
int LecturaPizo0 = 0;
int LecturaPizo1 = 0;
int LecturaPizo2 = 0;
int LecturaPizo3 = 0;
int LecturaPizo4 = 0;
int LecturaPizo5 = 0;
int LecturaPizo6 = 0;
int LecturaPizo7 = 0;
int LecturaPizo8 = 0;
int LecturaPizo9 = 0;
int LecturaPizo10 = 0;
int LecturaPizo11 = 0;
int LecturaPizo12 = 0;
int LecturaPizo13 = 0;
int LecturaPizo14 = 0;

int LecturaPizo15 = 0;

void setup() {
//Condiciones para el Reproductor
//Comunicación Serial
Serial.begin(9600);
mySoftwareSerial.begin(9600);
Reproductor.begin(mySoftwareSerial);
Reproductor.setTimeout(500);
Reproductor.volume(15);

Reproductor.EQ(DFPLAYER_EQ_NO
RMAL);

Reproductor.outputDevice(DFPLAYER
_DEVICE_SD);
Reproductor.disableLoopAll();
}

void loop() {
//Rango de Números Aleatorios
randomNumber = random(20,46);

//Lectura de Puertos Analógicos
LecturaPizo0=analogRead(Pizo0);
LecturaPizo1=analogRead(Pizo1);
LecturaPizo2=analogRead(Pizo2);
LecturaPizo3=analogRead(Pizo3);
LecturaPizo4=analogRead(Pizo4);
LecturaPizo5=analogRead(Pizo5);
LecturaPizo6=analogRead(Pizo6);
LecturaPizo7=analogRead(Pizo7);
LecturaPizo8=analogRead(Pizo8);
LecturaPizo9=analogRead(Pizo9);
LecturaPizo10=analogRead(Pizo10);
LecturaPizo11=analogRead(Pizo11);
LecturaPizo12=analogRead(Pizo12);
LecturaPizo13=analogRead(Pizo13);
LecturaPizo14=analogRead(Pizo14);
LecturaPizo15=analogRead(Pizo15);

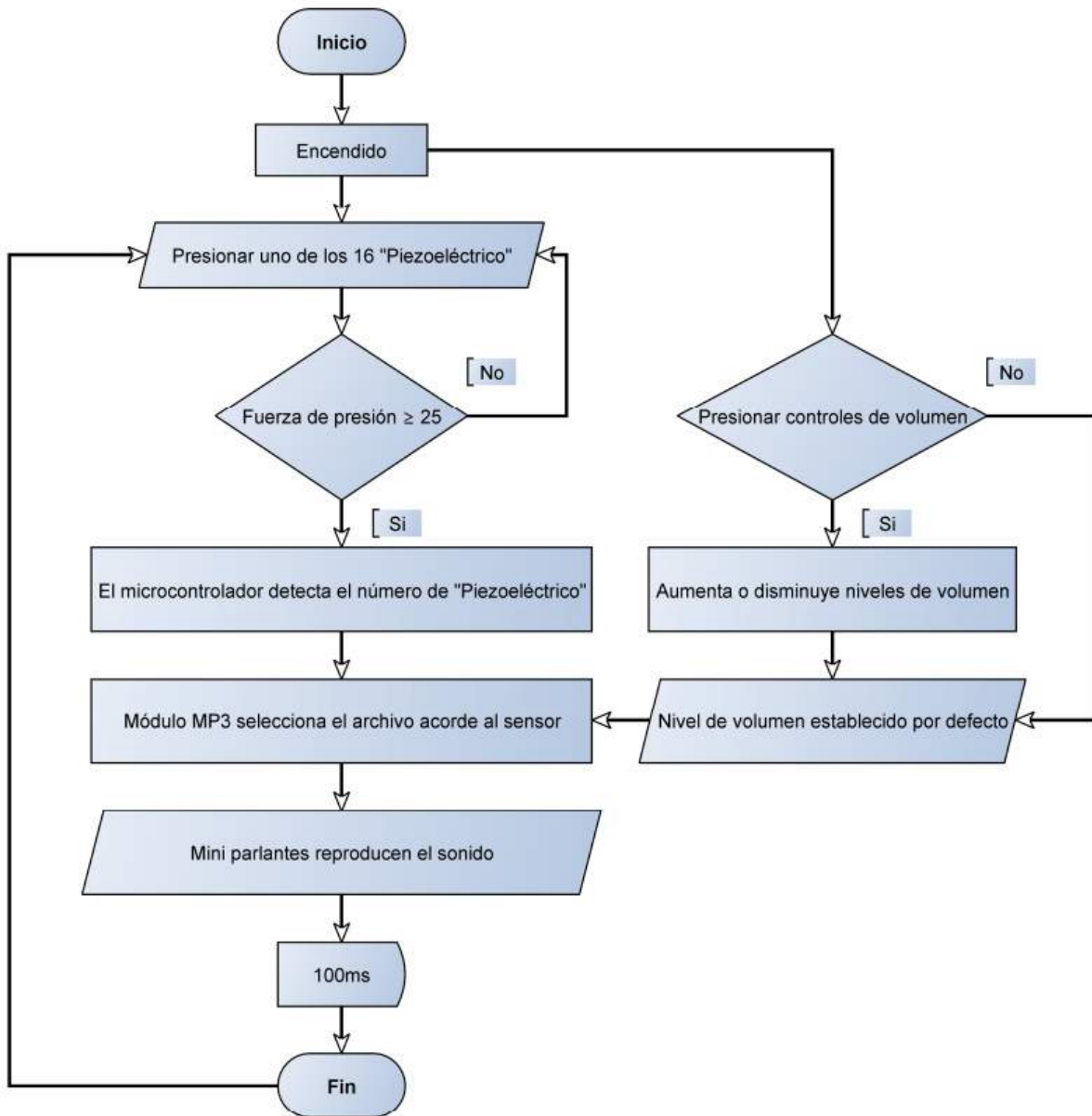
//Condición Para Activar Piezoeléctrico
//Selección de Audio a Reproducir
if (LecturaPizo1>PizoPush){
Reproductor.play(1); }
if (LecturaPizo2>PizoPush){
Reproductor.play(2); }
if (LecturaPizo3>PizoPush){
Reproductor.play(3); }
if (LecturaPizo4>PizoPush){
```

```

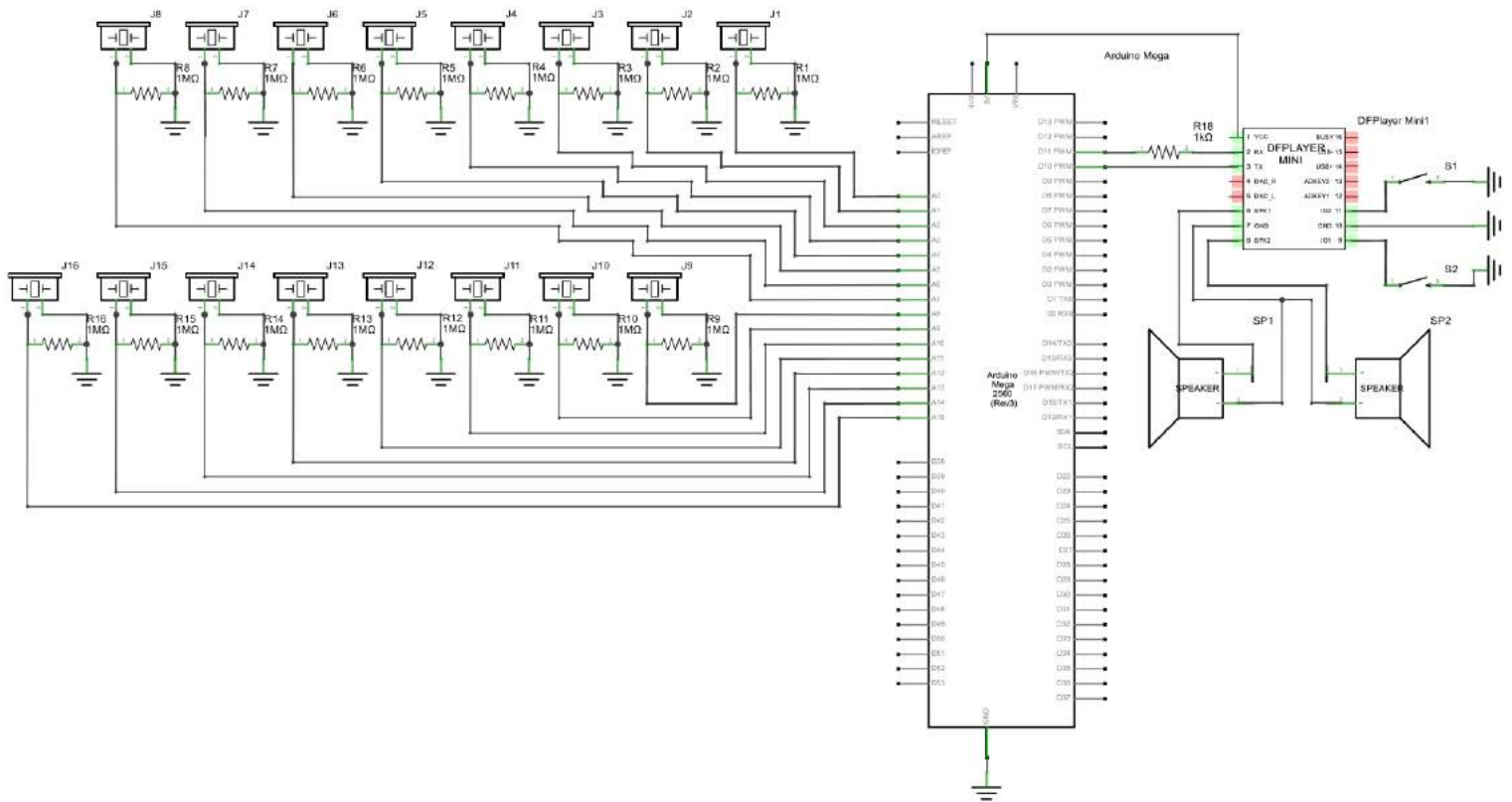
    Reproductor.play(4); }
if (LecturaPizo5>PizoPush){
    Reproductor.play(5); }
if (LecturaPizo6>PizoPush){
    Reproductor.play(6); }
if (LecturaPizo7>PizoPush){
    Reproductor.play(7); }
if (LecturaPizo8>PizoPush){
    Reproductor.play(8); }
if (LecturaPizo9>PizoPush){
    Reproductor.play(9); }
if (LecturaPizo10>PizoPush){
    Reproductor.play(10); }
if (LecturaPizo11>PizoPush){
    Reproductor.play(11); }
if (LecturaPizo12>PizoPush){
    Reproductor.play(12); }
if (LecturaPizo13>PizoPush){
    Reproductor.play(13); }
if (LecturaPizo14>PizoPush){
    Reproductor.play(14); }
if (LecturaPizo15>PizoPush){
    Reproductor.play(15); }
//Reproducción Aleatoria
if (LecturaPizo16>PizoPush){
    Reproductor.play(randomNumber); }
delay(Time);
}

```

B. Diagrama de Flujo



C. Diagrama de Conexiones



D. Varilla de Aluminio



PERFILERA
DE ALUMINIO

TUBOS
REDONDOS



REFERENCIA	Diámetro (D)		Espesor (E) mm	Peso Kg/m
	Millímetros	Pulgadas		
1012	50.80	2	1.27	0.536
1013	76.20	3	1.27	0.810
1136	90.00	3 35/64	6.00	4.291
1148	9.52	3/8	1.14	0.081
1149	7.92	5/16	1.20	0.070
1157	17.90	45/64	1.07	0.153
1158	23.40	59/64	1.24	0.234
1167	101.60	4	1.27	1.085
1168	127.00	5	1.50	1.603
1169	152.40	6	1.65	2.12
1204	25.40	1	2.00	0.380
1254	32.00	1 17/64	2.00	0.511
1482	90.00	3 35/64	4.50	3.720
1600	101.60	4	4.50	3.247
1720	29.50	1 5/32	1.45	0.346
1721	38.35	1 33/64	1.65	0.516
1722	44.20	1 47/64	1.65	0.598
1723	55.80	2 13/64	1.65	0.761
1888	114.30	4 1/2	5.20	4.83



DISTRIBUCIÓN ECUATORIANA DE ALUMINIO S.A.

TUBOS REDONDOS

E. Sensor Piezoeléctrico Cerámico

PRODUCT SPECIFICATION

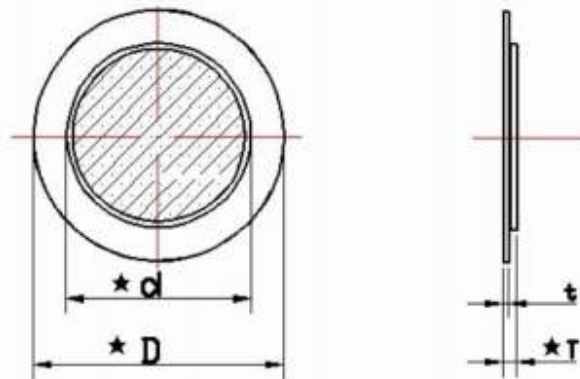
Part No.:	SL-B35E2.3A
Resonance Frequency (kHz)	2.3±0.3
Resonance Impedance (Ω)	≤500
Free Capacitance(nF)	45±30%
Dielectric Loss	≤5%
Input Voltage (Vp-p)	≤30
Operating Temperature(℃)	-20~+70
Storage Temperature(℃)	-30~+80
Metal Material	Brass

Size:

Metal Plate Diameter(mm)	$D=\varphi 35\pm 0.2$
Ceramic Disc Diameter(mm)	$d=\varphi 25\pm 0.5$
Metal Plate Thickness(mm)	$t=0.2\pm 0.03$
Total Thickness(mm)	$T=0.41\pm 0.05$

Drawing: (mm)

Appearance Drawing . (UNIT: mm) ■

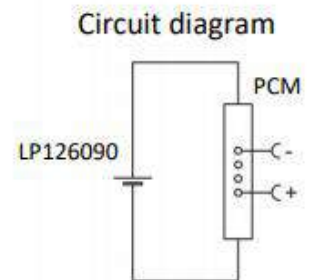
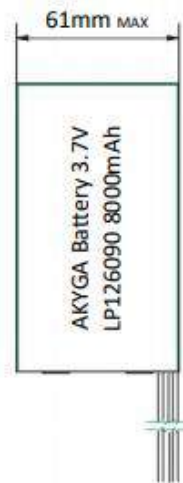
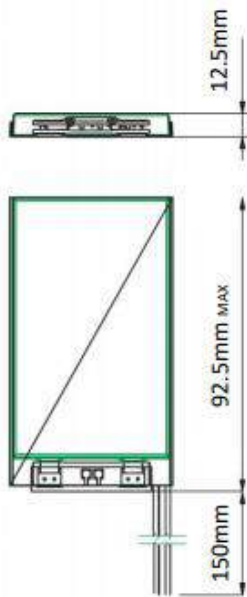
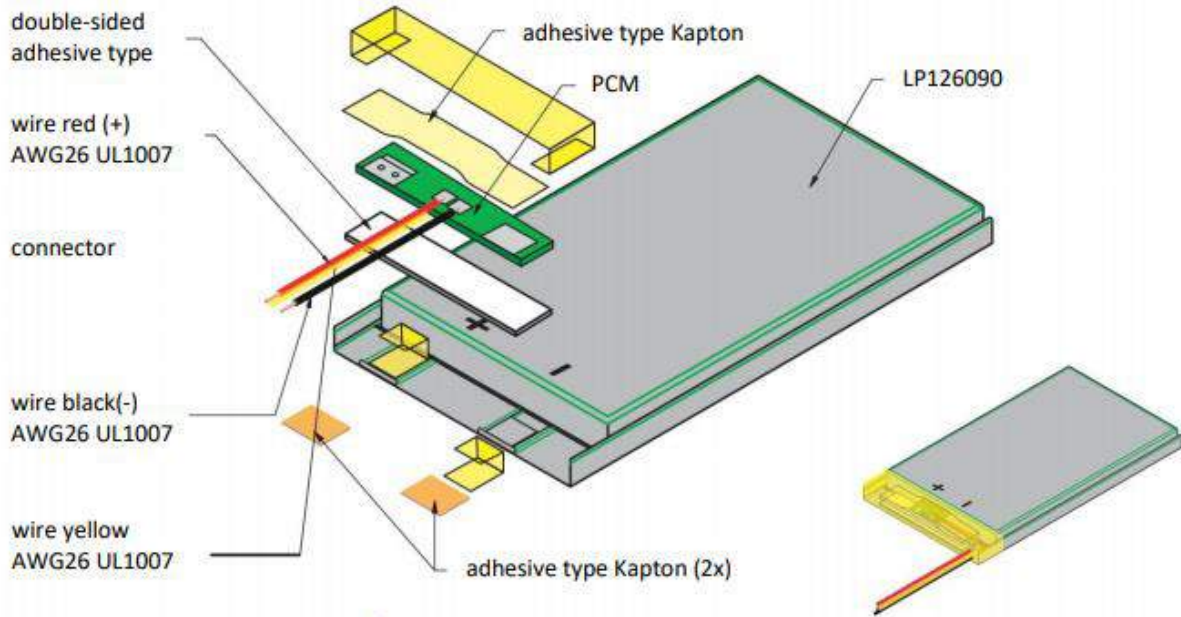


F. Bateria Modelo: LP126090

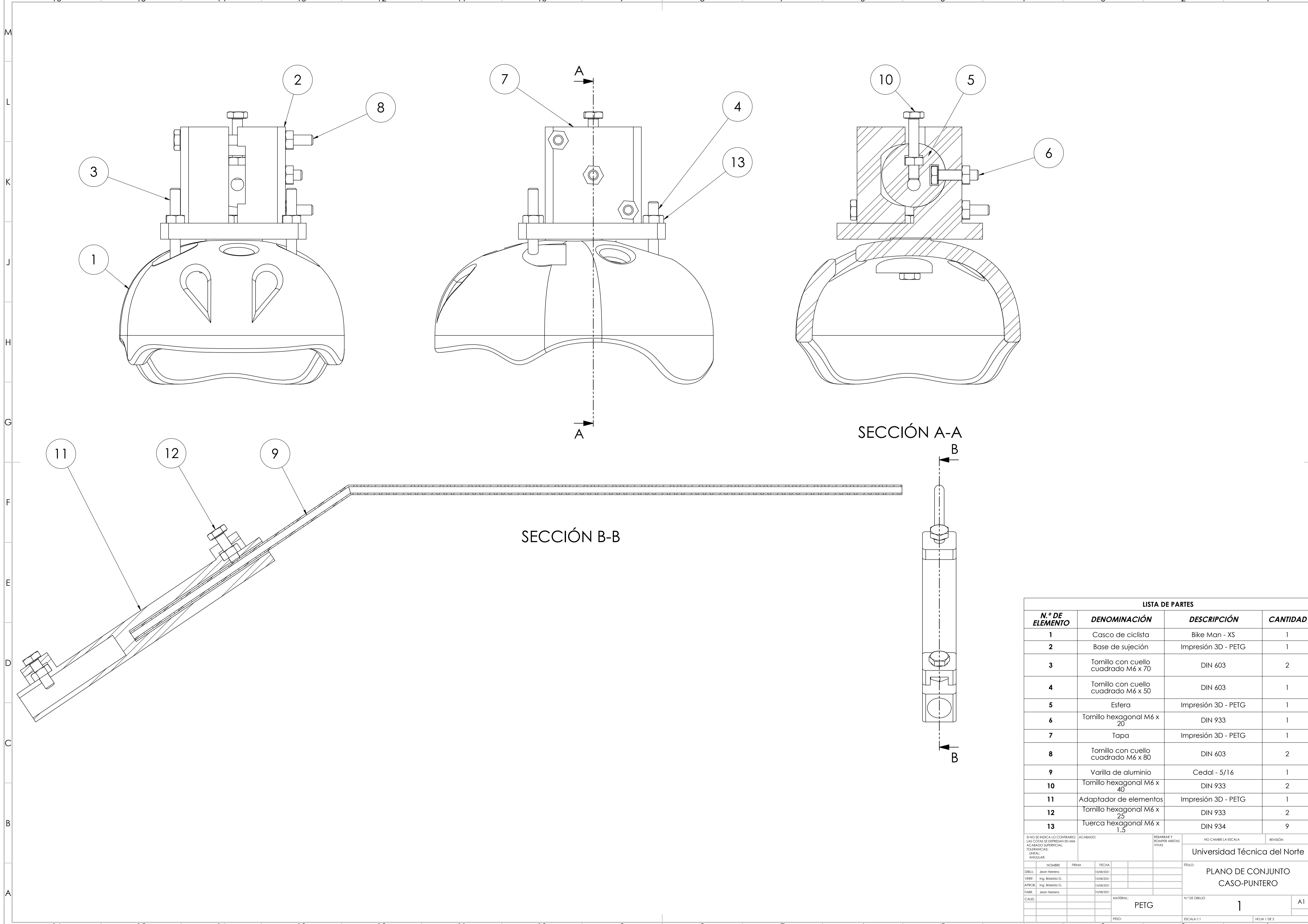
3.1 Single cell parameters

No.	Item	Spec	Note
1	Model Number	126090 / 8000mAh	
2	Charge Limited Voltage	4.2V	
3	Nominal Voltage	3.7V	Cell Voltage between 3.6V ~3.9V before shipping
4	Nominal Capacity	8000mAh @ 0.2C Discharge	Nominal Capacity refer to the capacity of 0.2C discharge with 3.0V cut-off voltage, after charging with standard method.
5	Cycle Life	500 Times	One cycle refer to one charge period and then one discharge period. Test condition: Charge: 0.2C to 4.2V Discharge: 0.2C to 3.0V The cycle life is the cycle times when the discharge capacity is about 80% of the rated capacity.
6	Self-discharge	Residual Capacity>90%	After standard charging, stored at 25°C±0.5°C for 30 days, then measure the capacity as item 4.
7	Max. Charge Current	1C	
8	Max. Discharge Current	1C	
9	Discharge Cut-off Voltage	3.0V	
10	Operating Temperature	Discharge: -20°C ~ 60°C Charge: 0 °C ~ +45°C	Cells must be stored at 3.6V-3.9V. During long period storage, cells should be maintained every 90 days. The method is to do a charge-discharge cycle with standard method, then charge to 3.7—3.9V.
11	Storage Temperature	-20 °C ~+45°C	
12	Cell Weight		
13	Cell Dimension	Length: 90.5mm Max Width: 61mm Max Thickness: 12.5mm Max	Measured with weighting 300gf at 25°C±0.5°C Not including Tabs
14	Connector type		

Model: LP126090



G. Planos Mecánicos

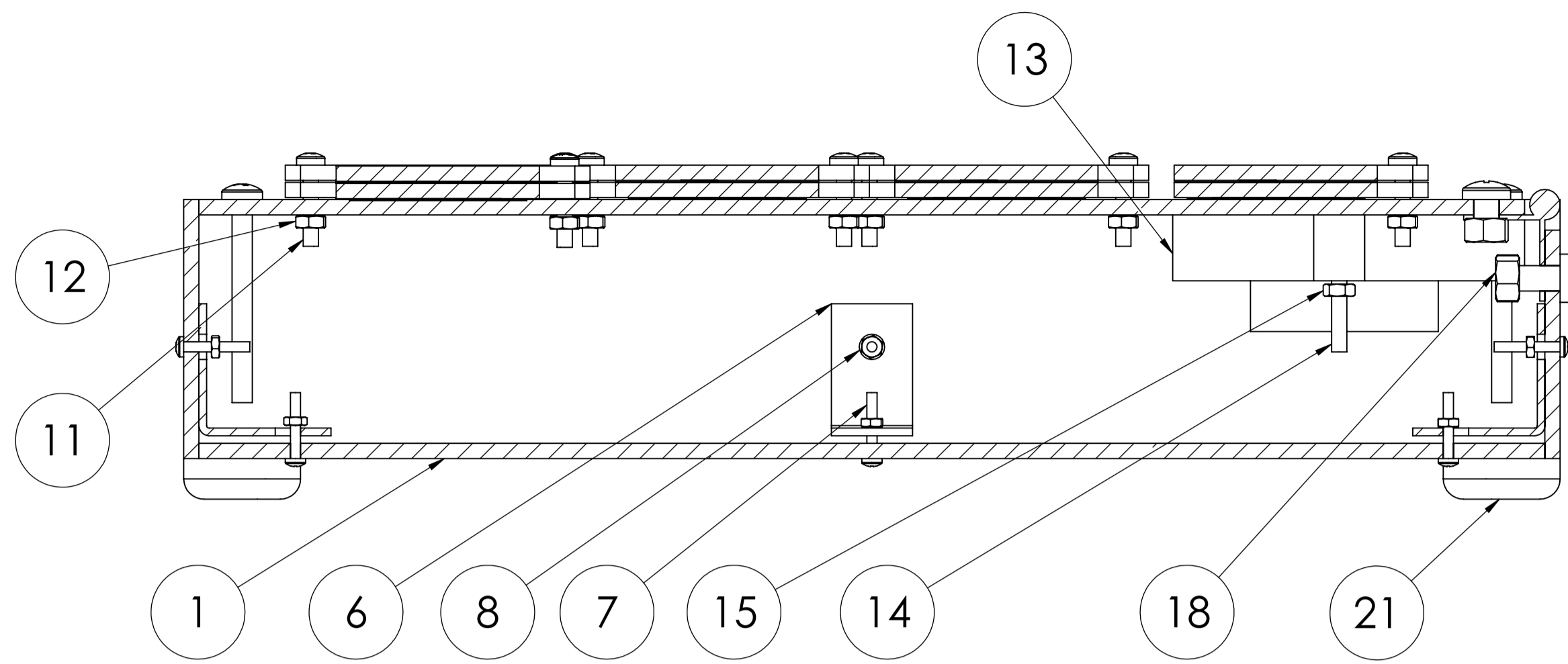


SECCIÓN A-A

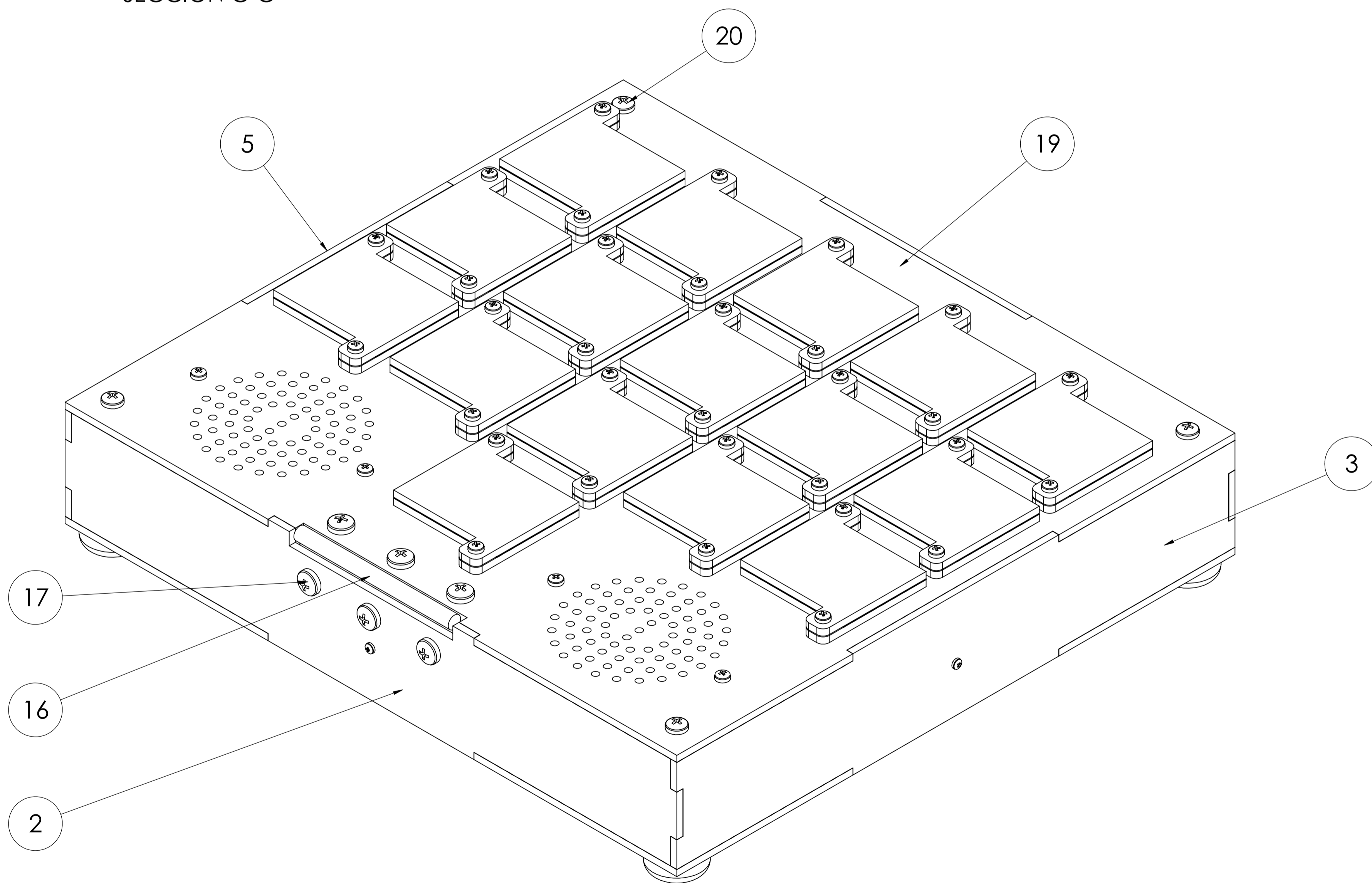
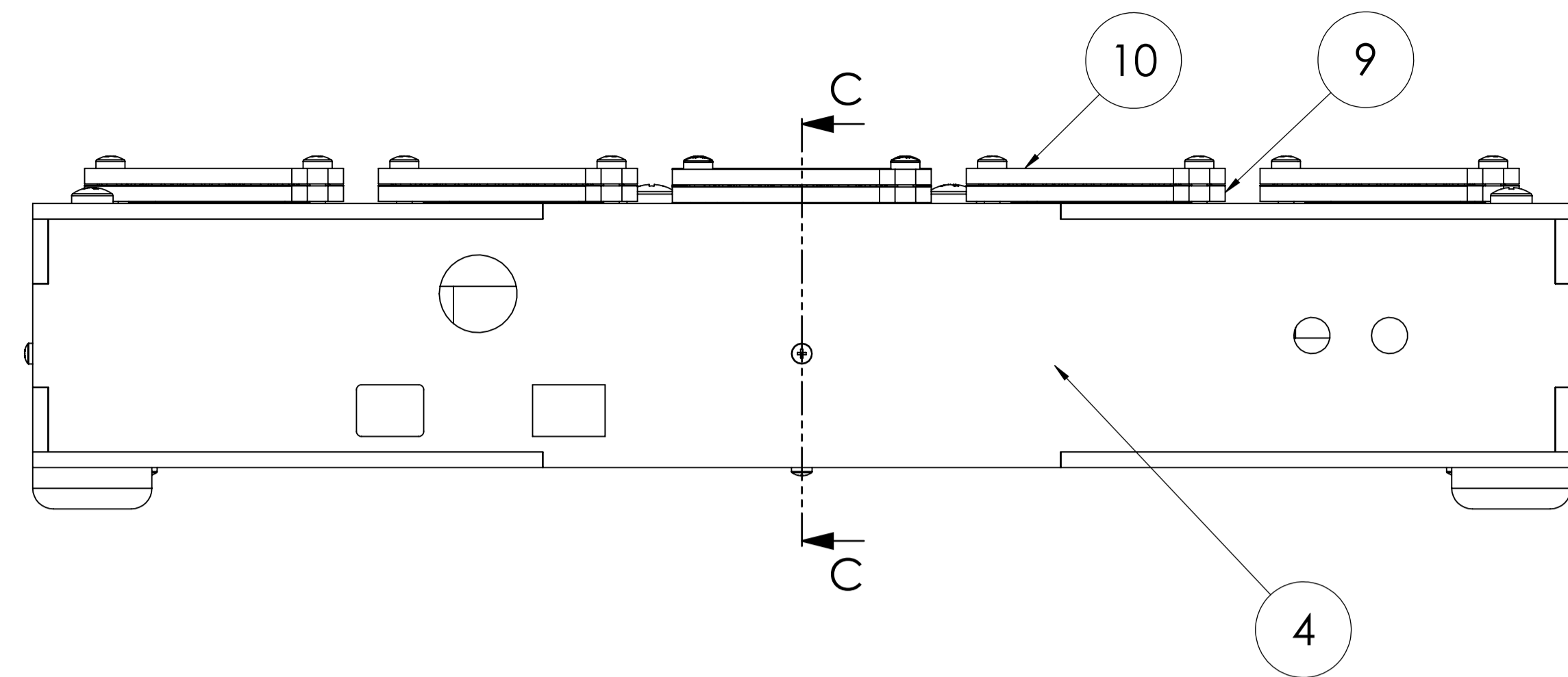
SECCIÓN B-B

LISTA DE PARTES			
N.º DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Casco de ciclista	Bike Man - XS	1
2	Base de sujeción	Impresión 3D - PETG	1
3	Tornillo con cuello cuadrado M6 x 70	DIN 603	2
4	Tornillo con cuello cuadrado M6 x 50	DIN 603	1
5	Esfera	Impresión 3D - PETG	1
6	Tornillo hexagonal M6 x 20	DIN 933	1
7	Tapa	Impresión 3D - PETG	1
8	Tornillo con cuello cuadrado M6 x 80	DIN 603	2
9	Varilla de aluminio	Cedal - 5/16	1
10	Tornillo hexagonal M6 x 40	DIN 933	2
11	Adaptador de elementos	Impresión 3D - PETG	1
12	Tornillo hexagonal M6 x 25	DIN 933	2
13	Tuerca hexagonal M6 x 1,5	DIN 934	9

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
ACABADO SUPERFICIAL:				UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE		
TOLERANCIAS:				PLANO DE CONJUNTO		
LINEAL:				CASO-PUNTERO		
ANGULAR:						
NOMBRE	FIRMA	FECHA	MATERIAL: PETG		Nº DE DIBUJO: 1	A1
DIBUJ. Jean Herrera		10/08/2021				
VERIF. Ing. Bibekia G.		10/08/2021				
APROB. Ing. Bibekia G.		10/08/2021				
FABR. Jean Herrera		10/08/2021				
CALID.						
		PESO:	ESCALA: 1:1		HOJA 1 DE 2	

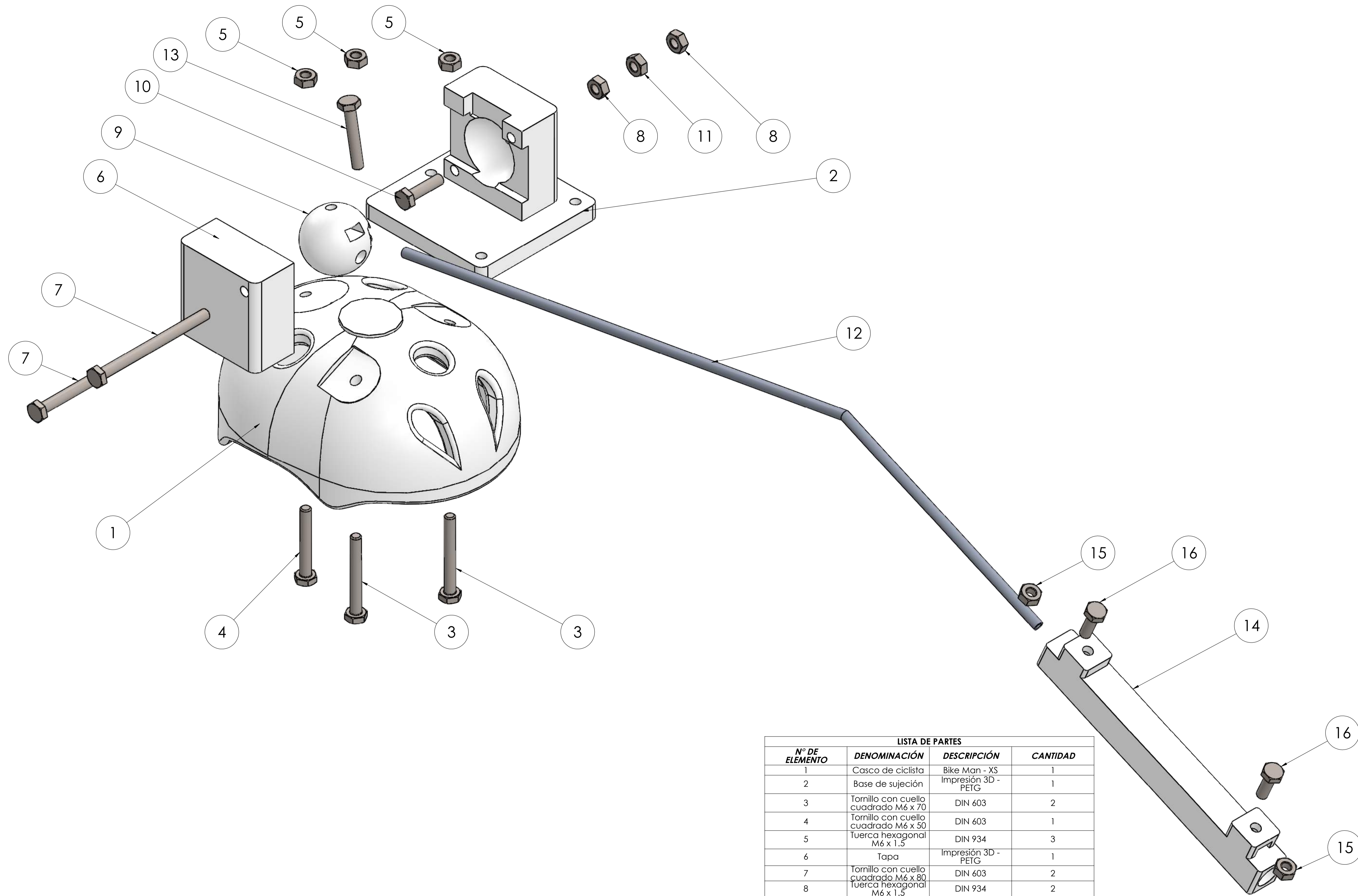


SECCIÓN C-C



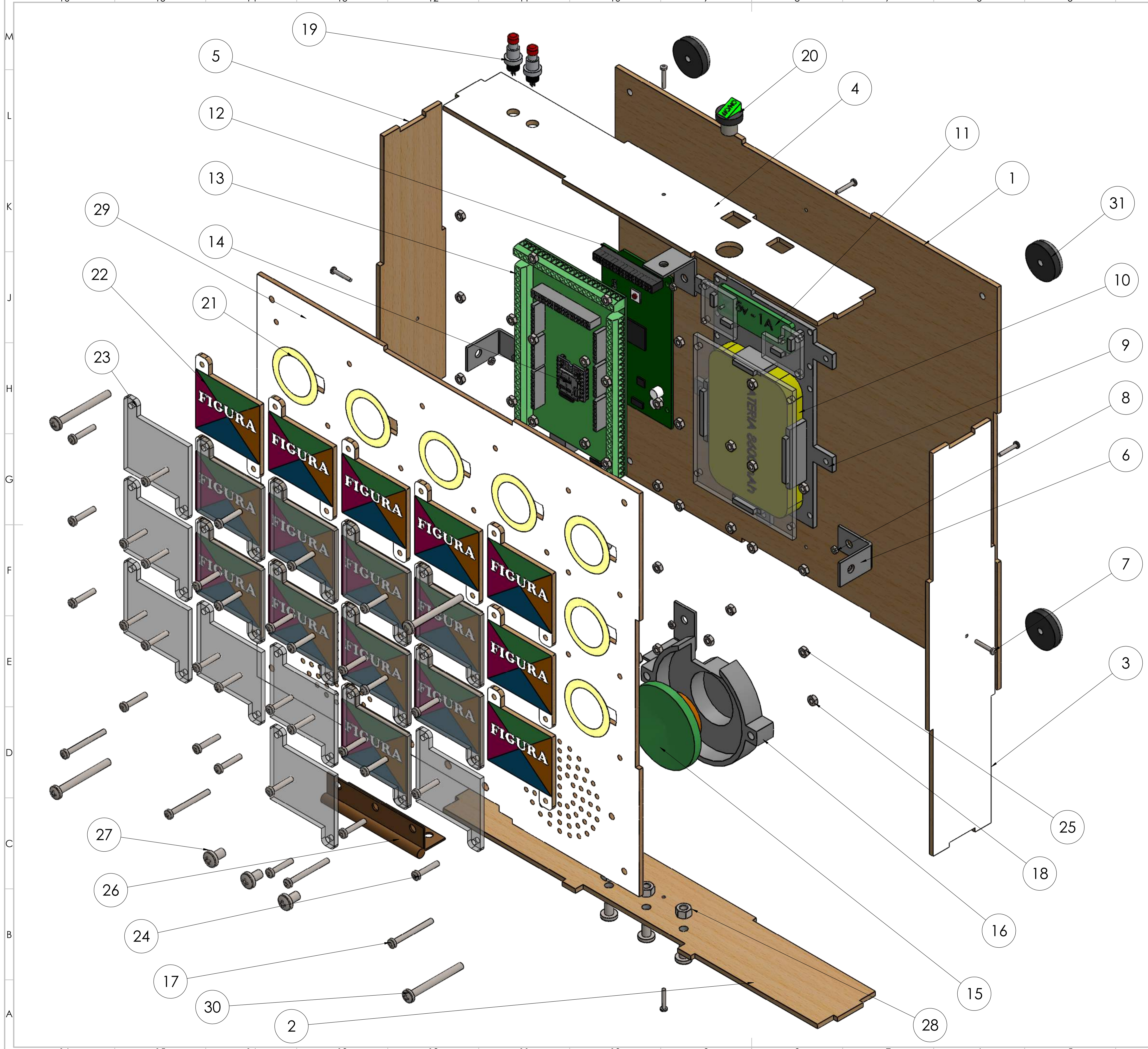
LISTA DE PARTES			
N° DE ELEMENTO	Denominación	Descripción	Cantidad
1	Base	MDF blanco de 3mm	1
2	Lateral inferior	MDF blanco de 3mm	1
3	Lateral derecho	MDF blanco de 3mm	1
4	Lateral superior	MDF blanco de 3mm	1
5	Lateral izquierdo	MDF blanco de 3mm	1
6	Abrazadera para esquina 1 x 0.5 in		4
7	Tornillo M2 x 10	Cabeza cilíndrica - cruz	8
8	Tuerca hexagonal M2		8
9	Portador de imagen	MDF blanco de 3mm	16
10	Portador de imagen	Acrílico de 3mm	16
11	Tornillo M3 x 15	Cabeza cilíndrica - cruz	32
12	Tuerca hexagonal M3		32
13	Porta parlante	Impresión 3D - PETG	2
14	Tornillo M3 x 40	Cabeza cilíndrica - cruz	4
15	Tuerca hexagonal M3		4
16	Bisagra 75 x 25 mm		1
17	Tornillo M5 x 10	Cabeza cilíndrica - cruz	6
18	Tuerca hexagonal M5		6
19	Panel de acciones	MDF blanco de 3mm	1
20	Tornillo M3 x 60	Cabeza cilíndrica - cruz	4
21	Patitas de goma 20 x 5 mm		4

SINO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAS: ANGULARES:			ACABADO: REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
Universidad Técnica del Norte					
PLANO DE CONJUNTO TABLERO					
NOMBRE	FIRMA	FECHA	TÍTULO:		
DIBUJ. Jean Herrera		10/08/2021	N° DE DIBUJO		
VERIF. Ing. Brizuela G.		10/08/2021	2		
APROB. Ing. Brizuela G.		10/08/2021	A1		
FABR. Jean Herrera		10/08/2021	ESCALA: 1:1		
CALID.			HOJA 2 DE 2		
MATERIAL: PETG			PESO:		



LISTA DE PARTES			
Nº DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Casco de ciclista	Bike Man - XS Impresión 3D - PETG	1
2	Base de sujeción	Impresión 3D - PETG	1
3	Tornillo con cuello cuadrado M6 x 70	DIN 603	2
4	Tornillo con cuello cuadrado M6 x 50	DIN 603	1
5	Tuerca hexagonal M6 x 1.5	DIN 934	3
6	Tapa	Impresión 3D - PETG	1
7	Tornillo con cuello cuadrado M6 x 80	DIN 603	2
8	Tuerca hexagonal M6 x 1.5	DIN 934	2
9	Esfera	Impresión 3D - PETG	1
10	Tornillo hexagonal M6 x 20	DIN 933	1
11	Tuerca hexagonal M6 x 1.5	DIN 934	1
12	Varilla de aluminio	Cedal - 5/16	1
13	Tornillo hexagonal M6 x 40	DIN 933	1
14	Adaptador de elementos	Impresión 3D - PETG	1
15	Tuerca hexagonal M6 x 1.5	DIN 934	2
16	Tornillo hexagonal M6 x 25	DIN 933	2

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:		ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE		TÍTULO:		UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE	
DIBUJ. JEAN HERRERA		FECHA: 10/08/2021		PLANO EN EXPLOSIÓN CASO-PUNTERO	
VERIF. ING. BIBIANA G.		FECHA: 10/08/2021		Nº DE DIBUJO: 3	
APROB. ING. BIBIANA G.		FECHA: 10/08/2021		A1	
FABR. JEAN HERRERA		FECHA: 10/08/2021		MATERIAL: PETG	
CALID.		PESO:		ESCALA: 1:1	
				HOJA 1 DE 2	



LISTA DE PARTES			
Nº DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base	MDF blanco de 3mm	1
2	Lateral inferior	MDF blanco de 3mm	1
3	Lateral derecho	MDF blanco de 3mm	1
4	Lateral superior	MDF blanco de 3mm	1
5	Lateral izquierdo	MDF blanco de 3mm	1
6	Abrazadera para esquina 1 x 0.5 in		4
7	Tornillo M2 x 10	Cabeza cilíndrica - cruz	8
8	Tuerca hexagonal M2		8
9	Base para batería	Acrílico de 3mm	1
10	Batería 8000mAh	Modelo 126090	1
11	Placa de carga 5V - 1A (USB)		1
12	Arduino Mega	Procesador ATMEGA 2560	1
13	Shield para Arduino Mega 2560	Terminales de bloque	1
14	Módulo DFPlayer Mini MP3		1
15	Mini parlante AMERICAN EXTREME 8Ω - 1watt		2
16	Porta parlante	Impresión 3D - PETG	2
17	Tornillo M3 x 40	Cabeza cilíndrica - cruz	4
18	Tuerca hexagonal M3		4
19	Pulsador Ø 5mm		2
20	Botón on/off Ø 10mm		1
21	Sensor Piezoeléctrico de 3.5mm	Diafragma cerámico	16
22	Portador de imagen	MDF blanco de 3mm	16
23	Portador de imagen	Acrílico de 3mm	16
24	Tornillo M3 x 15	Cabeza cilíndrica - cruz	32
25	Tuerca hexagonal M3		32
26	Bisagra 75 x 25mm		1
27	Tornillo M5 x 10	Cabeza cilíndrica - cruz	6
28	Tuerca hexagonal M5		6
29	Panel de acciones	MDF blanco de 3mm	1
30	Tornillo M3 x 60	Cabeza cilíndrica - cruz	4
31	Patitas de goma 20 x 5mm		4

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO, LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:
 REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN

Universidad Técnica del Norte

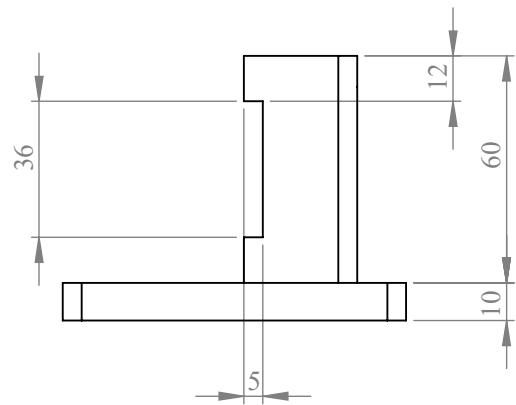
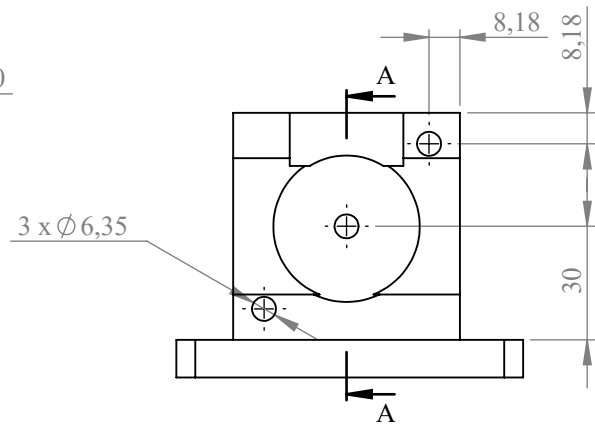
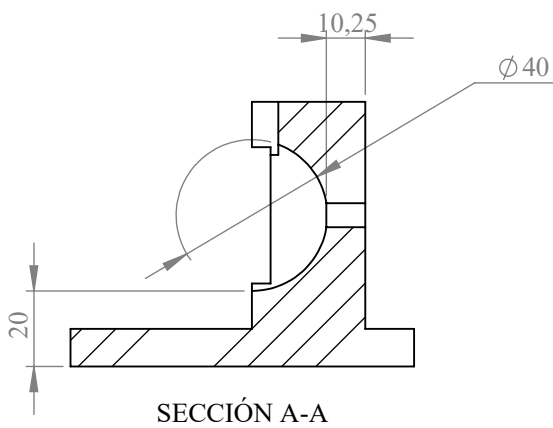
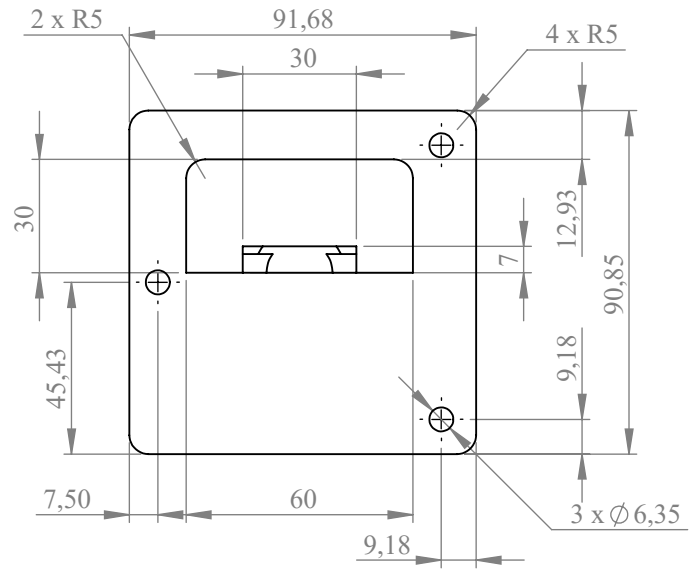
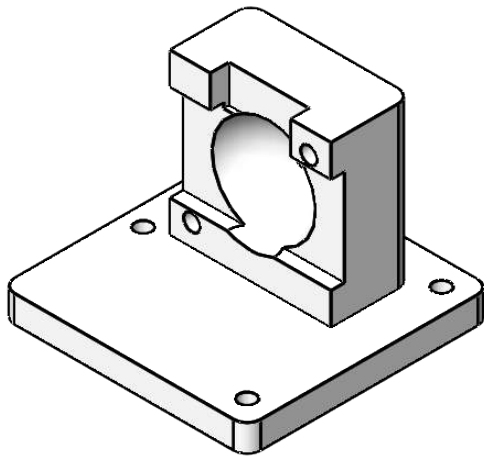
TÍTULO:
PLANO EN EXPLOSIÓN TABLERO

N° DE DIBUJO: **4**

MATERIAL: MDF melamínico de 3mm

ESCALA: 1:1

HOJA 1 DE 2



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Universidad Técnica del Norte

TÍTULO:

Base de Sujeción

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
FABR.	Jean Herrera		
CALID.			

MATERIAL:

PETG

N.º DE DIBUJO

5

A4

PESO:

ESCALA:1:2

HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

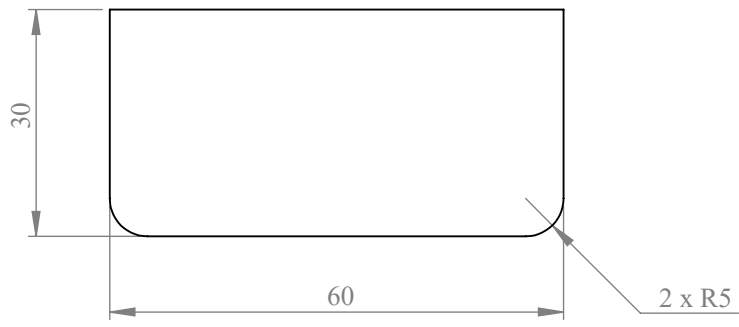
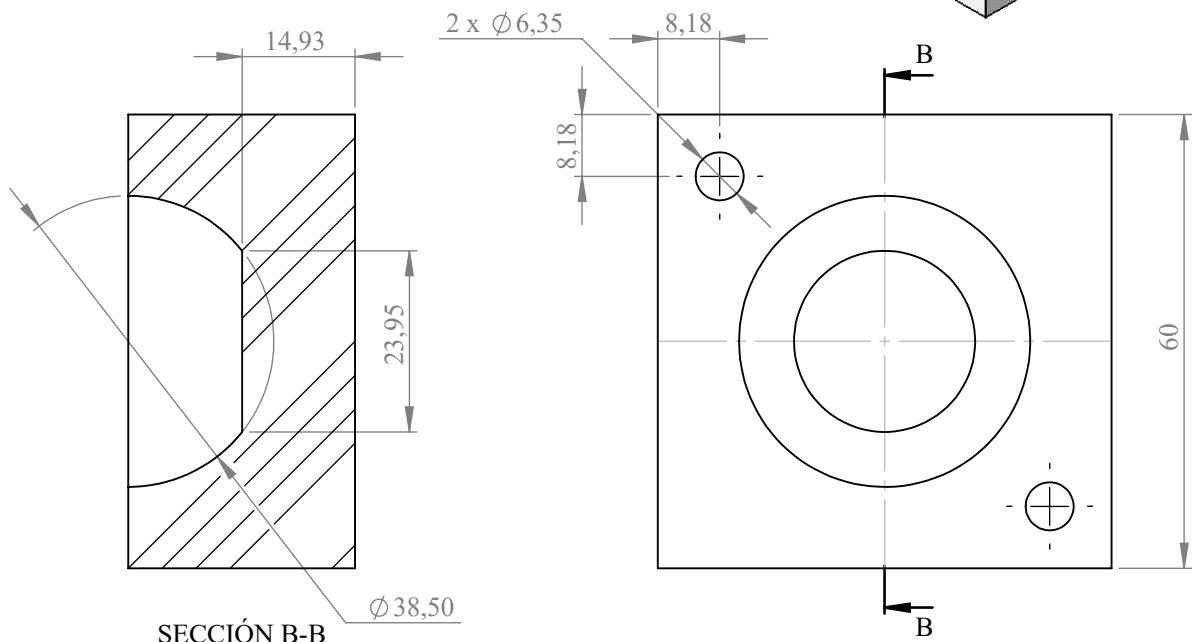
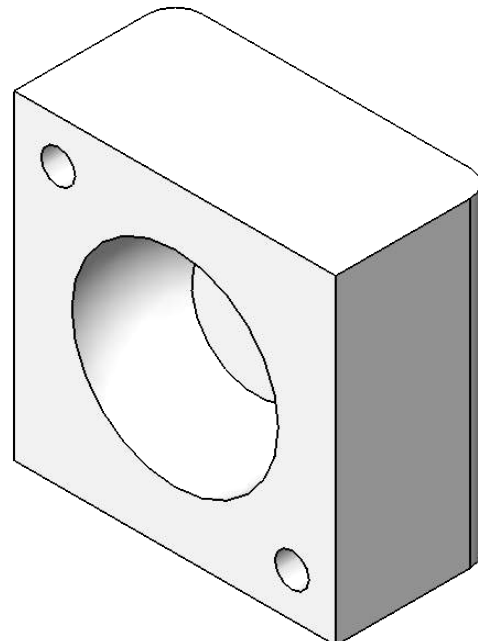
D

C

C

B

B



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Universidad Técnica del Norte

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
FABR.	Jean Herrera		
CALID.			

MATERIAL: PETG

PESO:

TÍTULO:
Tapa

N.º DE DIBUJO
6

ESCALA:1:1

HOJA 1 DE 1

A4

4 3 2 1

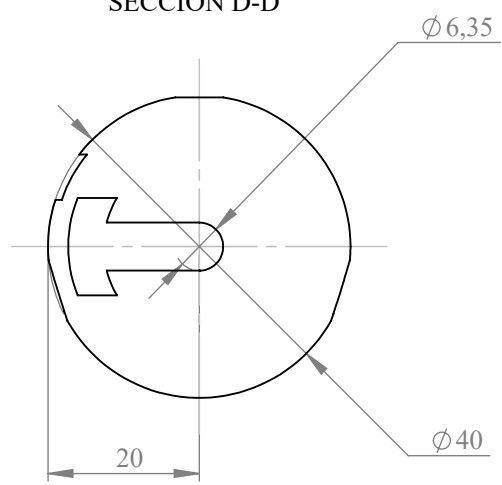
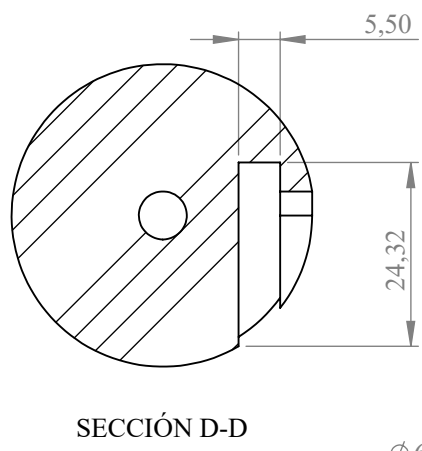
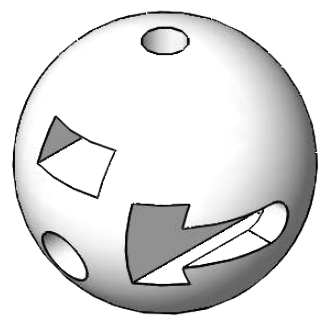
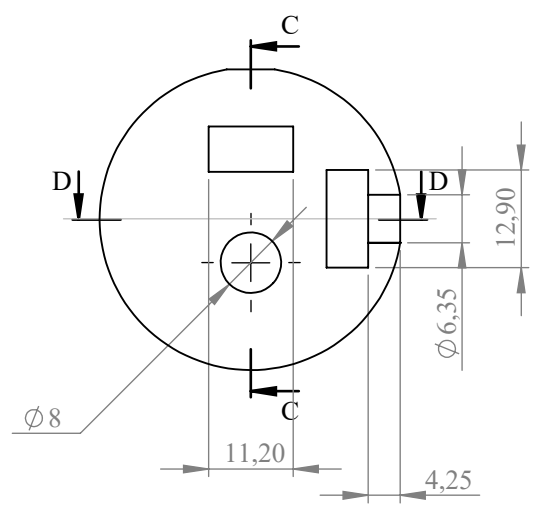
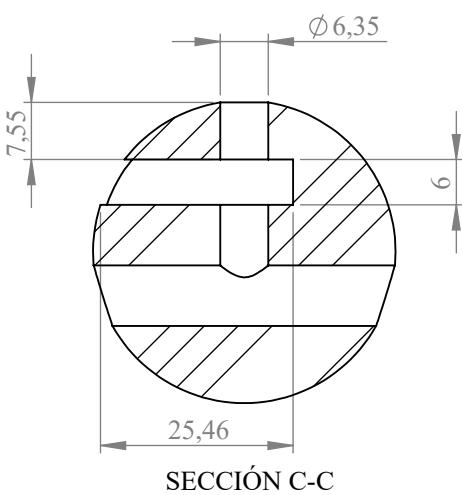
A

A

4 3 2 1

F
E
D
C
B
A

F
E
D
C
B
A

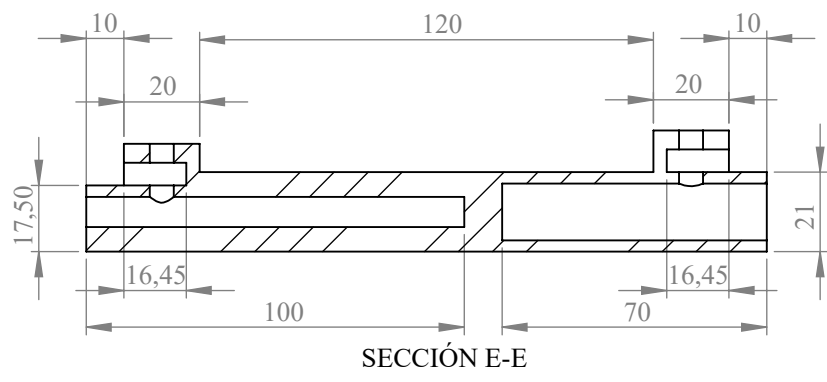
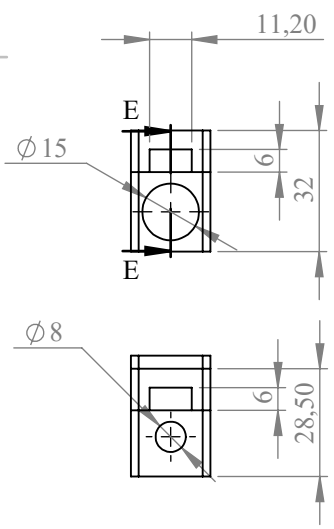
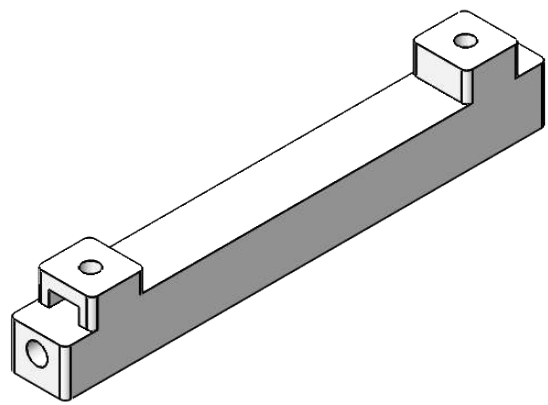
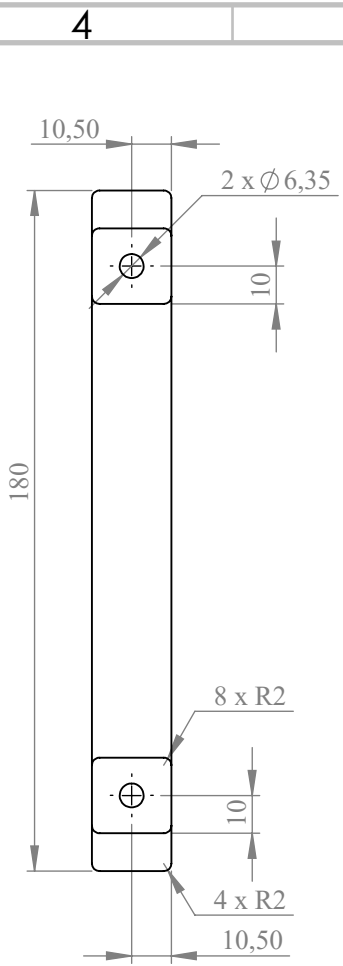


SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					Universidad Técnica del Norte	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	TÍTULO:	
DIBUJ.	Jean Herrera			10/08/2021	Esfera	
VERIF.	Ing. Brizeida G.			10/08/2021		
APROB.	Ing. Brizeida G.			10/08/2021		
FABR.	Jean Herrera					
CALID.			MATERIAL:		N.º DE DIBUJO	
			PETG		7	
			PESO:		ESCALA:1:1	
					HOJA 1 DE 1	

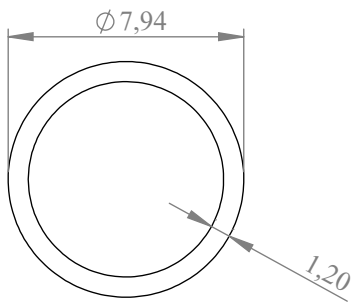
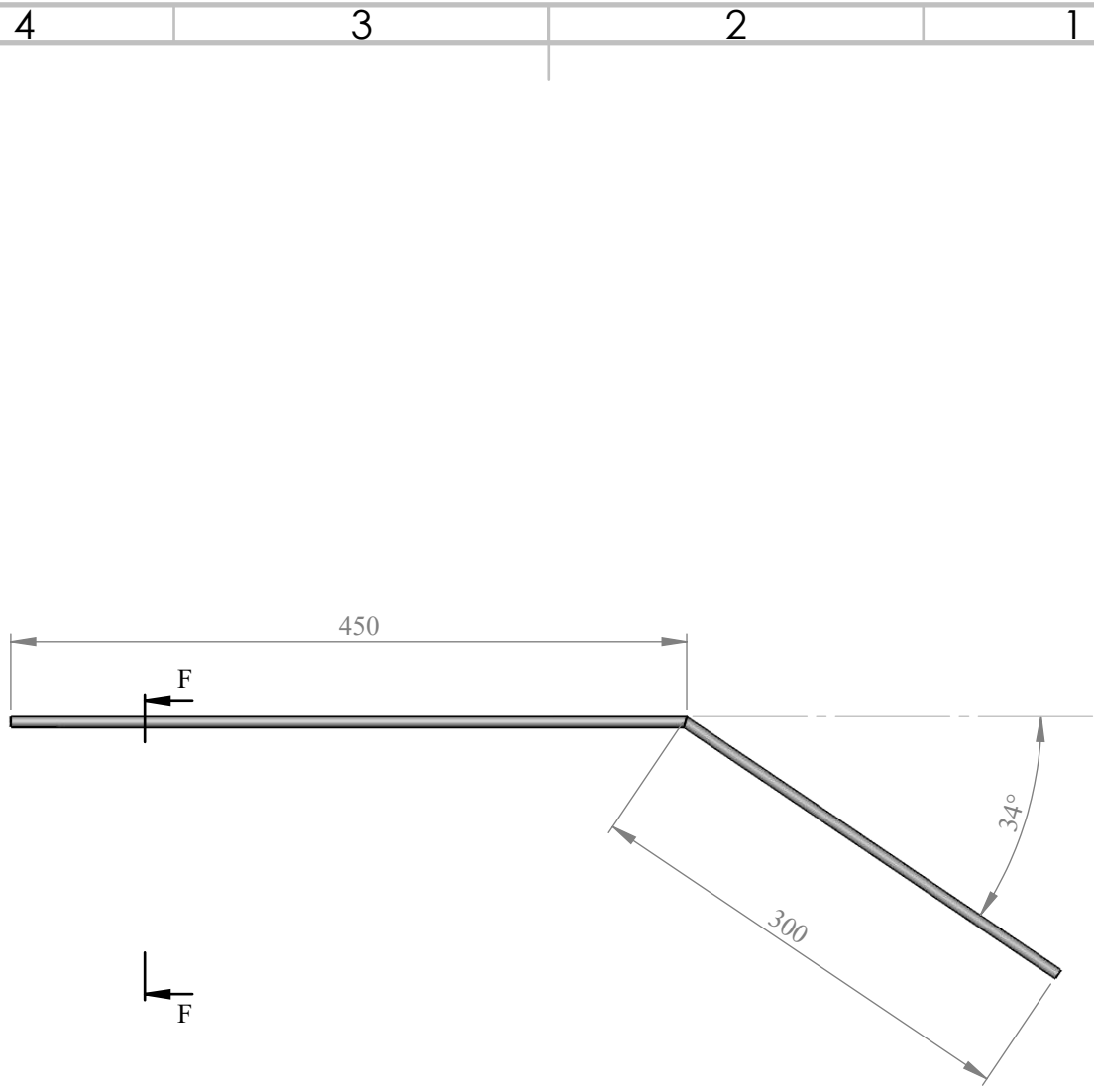
4 3 2 1

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					Universidad Técnica del Norte	
					TÍTULO: Adaptador de Elementos	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	N.º DE DIBUJO	
DIBUJ. Jean Herrera				10/08/2021	8	
VERIF. Ing. Brizeida G.				10/08/2021	A4	
APROB. Ing. Brizeida G.				10/08/2021		
FABR. Jean Herrera						
CALID.				MATERIAL: PETG	ESCALA:1:2	
				PESO:	HOJA 1 DE 1	



SECCIÓN F-F

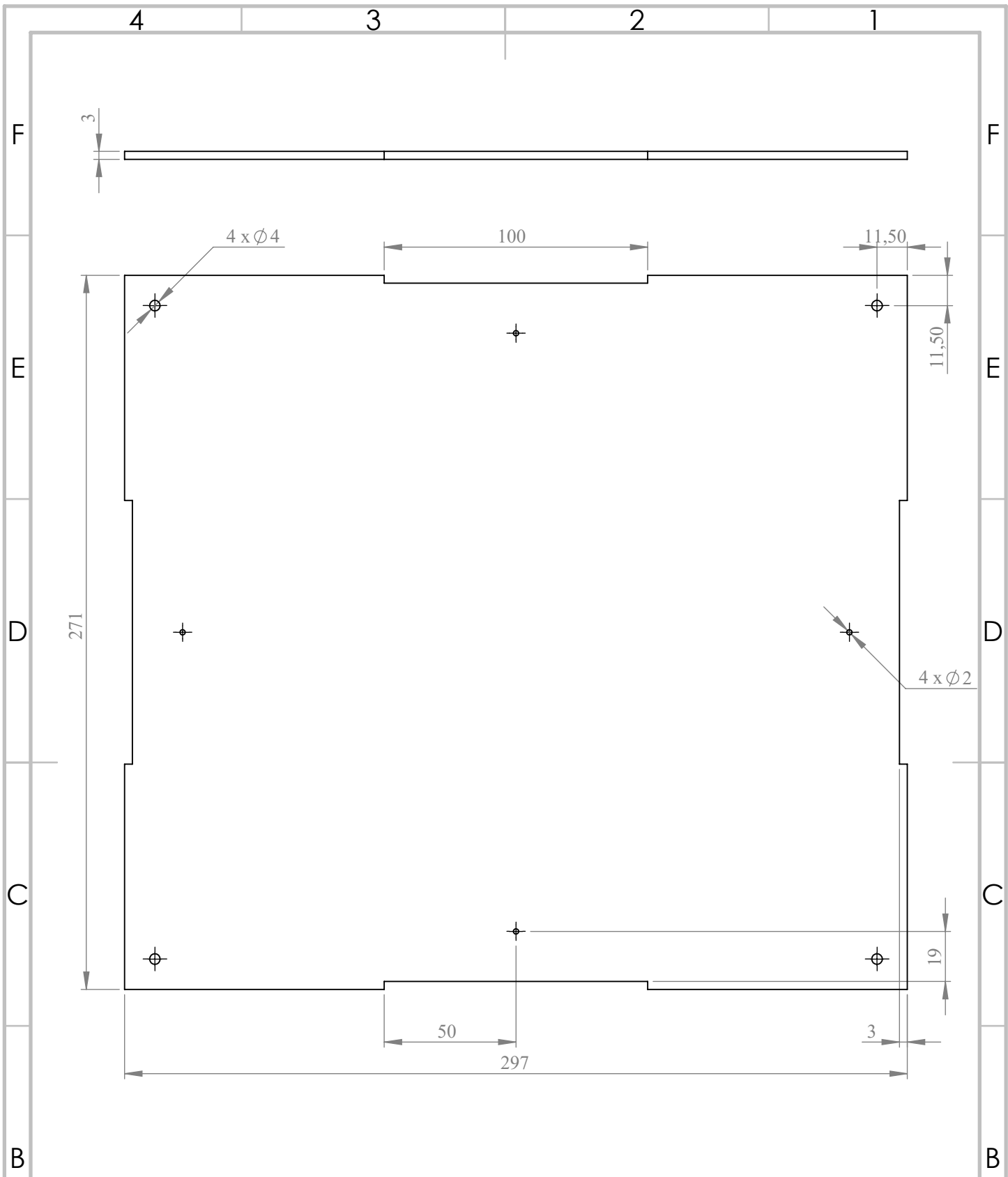
SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					Universidad Técnica del Norte	
					TÍTULO: Varilla de aluminio	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	Jean Herrera			10/08/2021	9	
VERIF.	Ing. Brizeida G.			10/08/2021	A4	
APROB.	Ing. Brizeida G.			10/08/2021		
FABR.	CEDAL					
CALID.			MATERIAL:		ESCALA:1:5	
			Aleación de alumimnio 6063		HOJA 1 DE 1	
PESO:						

F
E
D
C
B
A

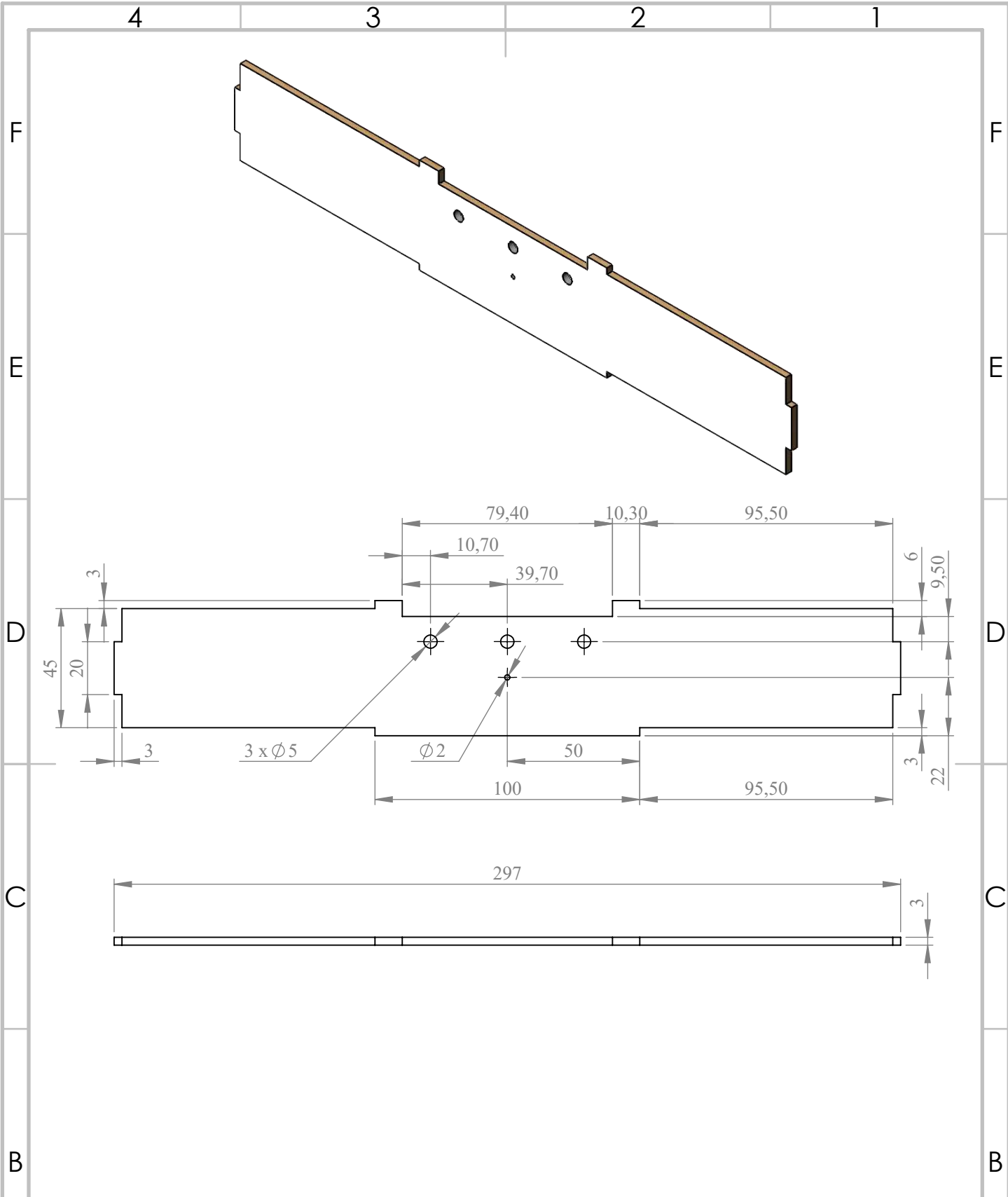
F
E
D
C
B
A

4 3 2 1

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN																								
					Universidad Técnica del Norte																									
<table border="1"> <thead> <tr> <th></th> <th>NOMBRE</th> <th>FIRMA</th> <th>FECHA</th> </tr> </thead> <tbody> <tr> <td>DIBUJ.</td> <td>Jean Herrera</td> <td></td> <td>10/08/2021</td> </tr> <tr> <td>VERIF.</td> <td>Ing. Brizeida G.</td> <td></td> <td>10/08/2021</td> </tr> <tr> <td>APROB.</td> <td>Ing. Brizeida G.</td> <td></td> <td>10/08/2021</td> </tr> <tr> <td>FABR.</td> <td>Jean Herrera</td> <td></td> <td></td> </tr> <tr> <td>CALID.</td> <td></td> <td></td> <td></td> </tr> </tbody> </table>					NOMBRE	FIRMA	FECHA	DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021	VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021	APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021	FABR.	Jean Herrera			CALID.				TÍTULO: Base		
	NOMBRE	FIRMA	FECHA																											
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021																											
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021																											
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021																											
FABR.	Jean Herrera																													
CALID.																														
				MATERIAL: MDF melamínico de 3mm	N.º DE DIBUJO 10	A4																								
				PESO:	ESCALA:1:2	HOJA 1 DE 1																								



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

 REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN

Universidad Técnica del Norte

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
FABR.	Jean Herrera		
CALID.			

TÍTULO:
Lateral Inferior

N.º DE DIBUJO
11

ESCALA:1:2 HOJA 1 DE 1

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

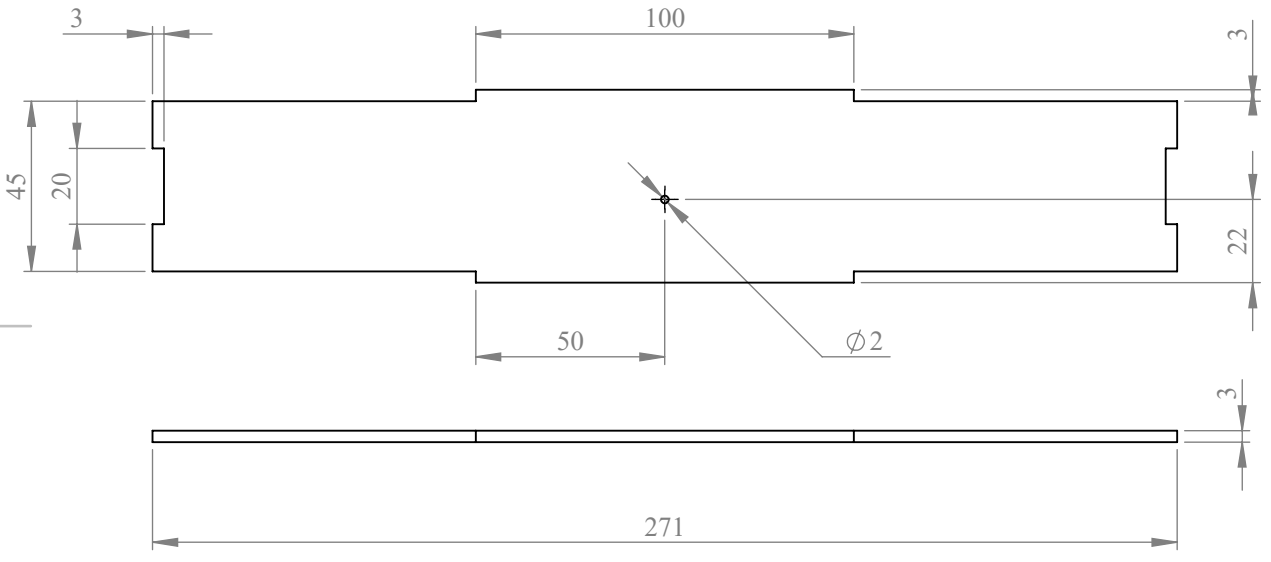
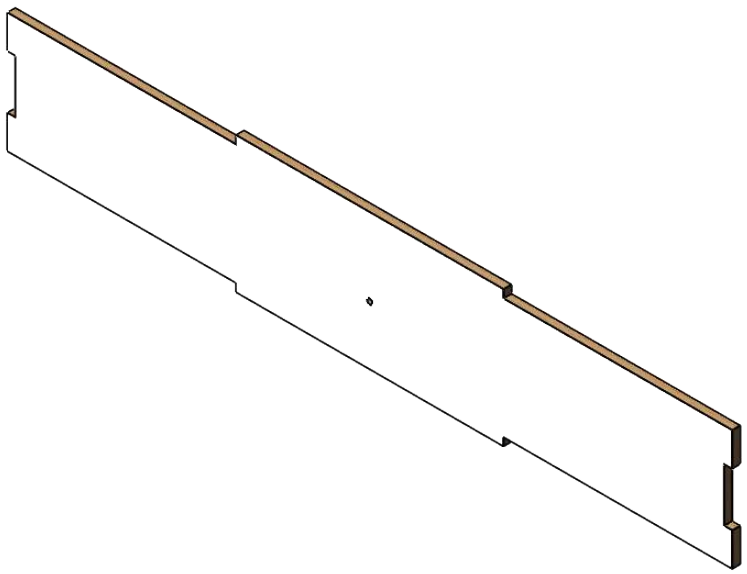
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN
 Universidad Técnica del Norte

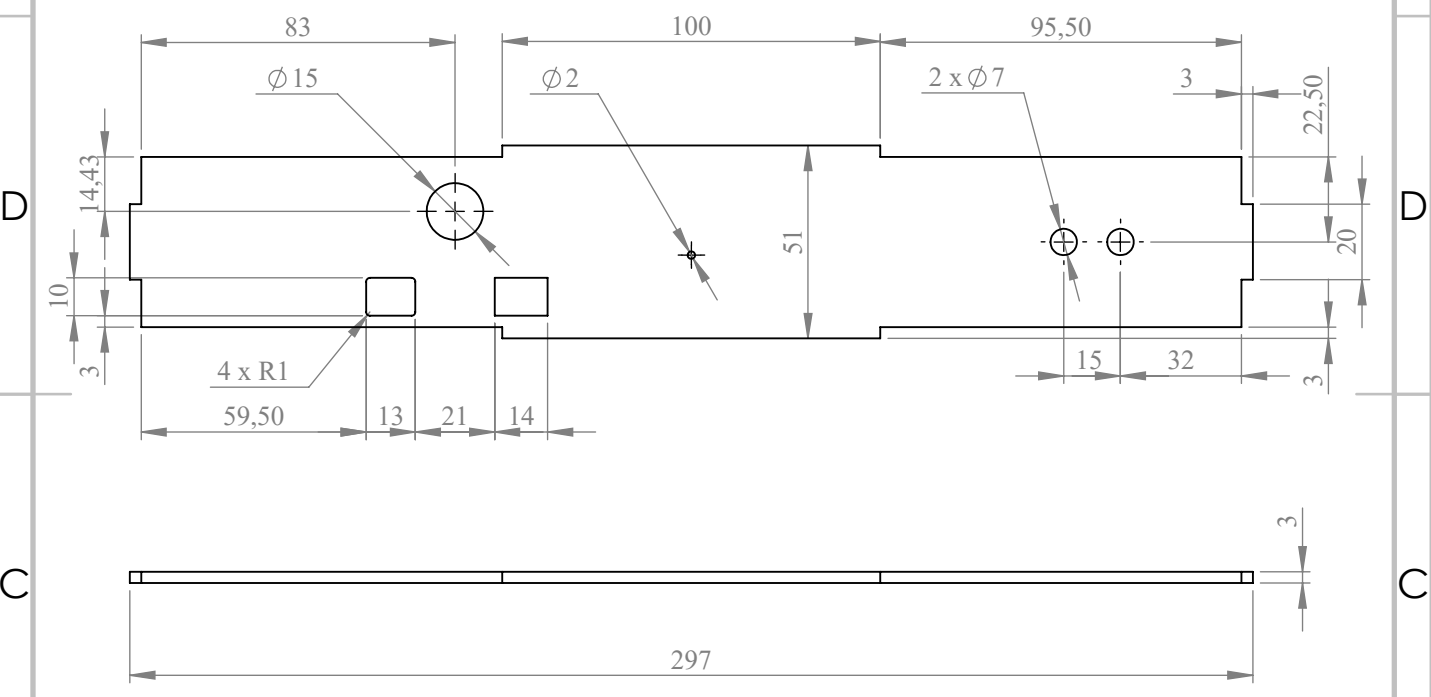
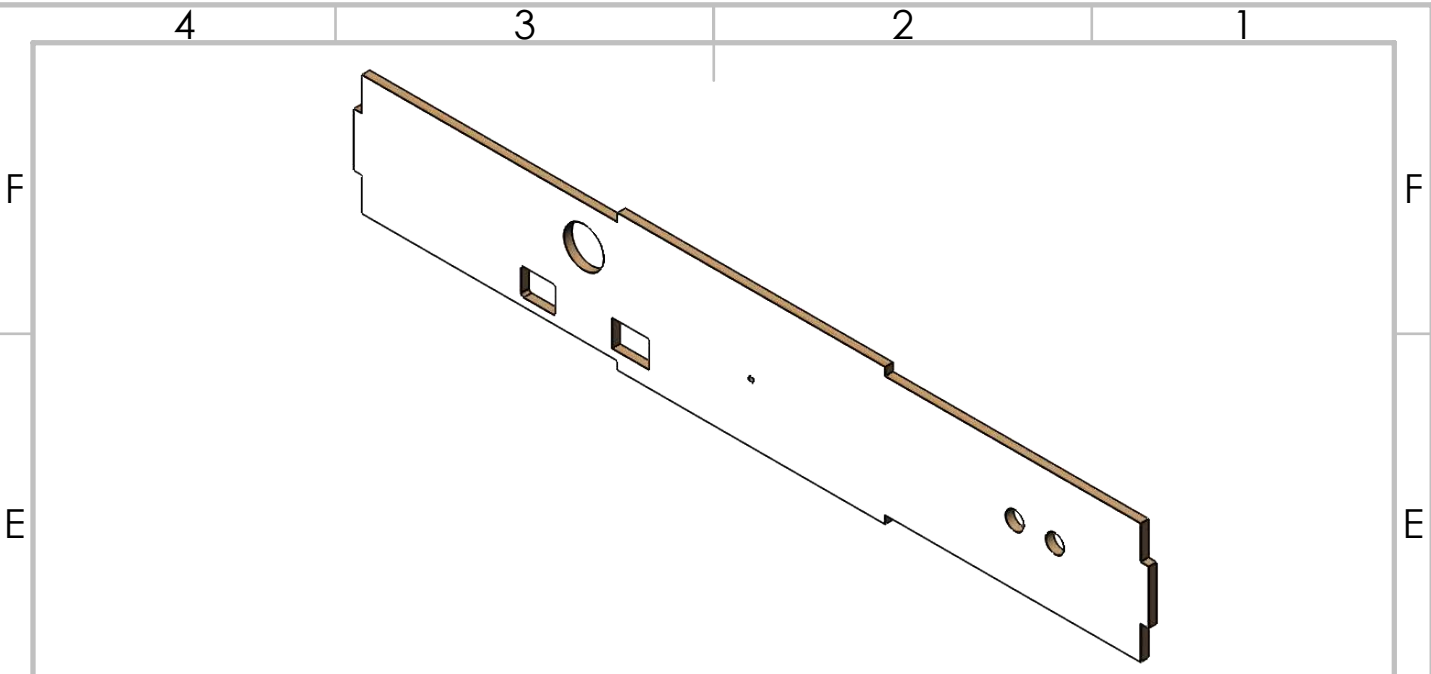
	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
FABR.	Jean Herrera		
CALID.			

TÍTULO:
Lateral Derecho

N.º DE DIBUJO
12

ESCALA:1:2 HOJA 1 DE 1

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM ACABADO SUPERFICIAL: TOLERANCIAS: LINEAL: ANGULAR:			ACABADO:	REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS	NO CAMBIE LA ESCALA	REVISIÓN
					Universidad Técnica del Norte	
					TÍTULO: Lateral Superior	
NOMBRE			FIRMA	FECHA	N.º DE DIBUJO	
DIBUJ.	Jean Herrera			10/08/2021	13	
VERIF.	Ing. Brizeida G.			10/08/2021	A4	
APROB.	Ing. Brizeida G.			10/08/2021		
FABR.	Jean Herrera					
MATERIAL:			MDF melamínico de 3mm		ESCALA:1:2	
PESO:					HOJA 1 DE 1	

4 3 2 1

F

F

E

E

D

D

C

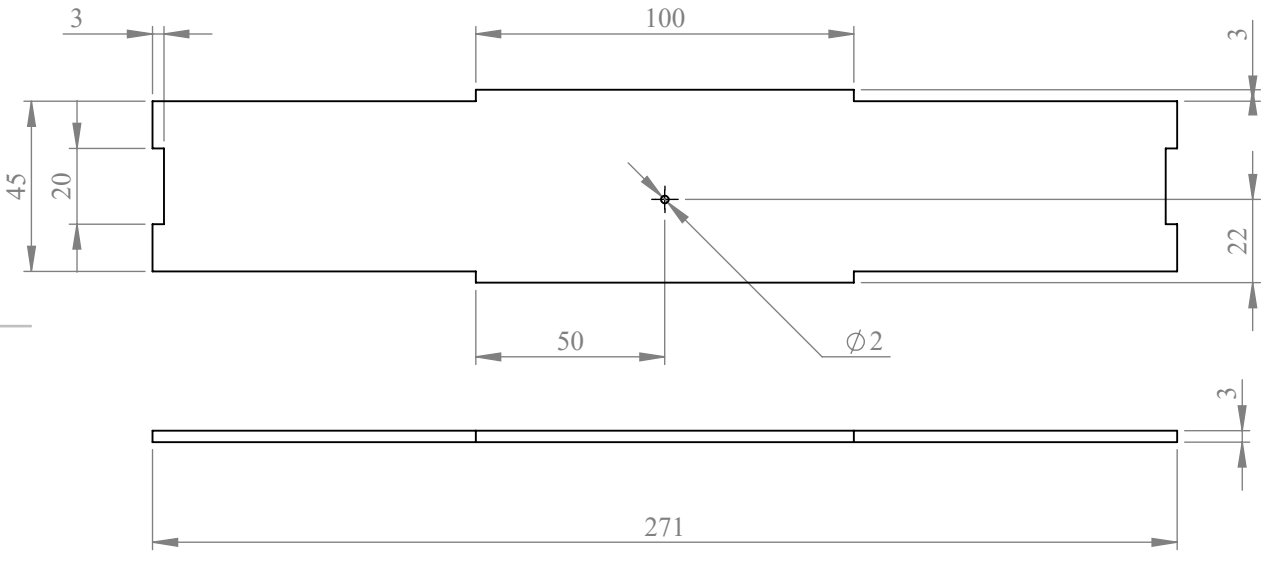
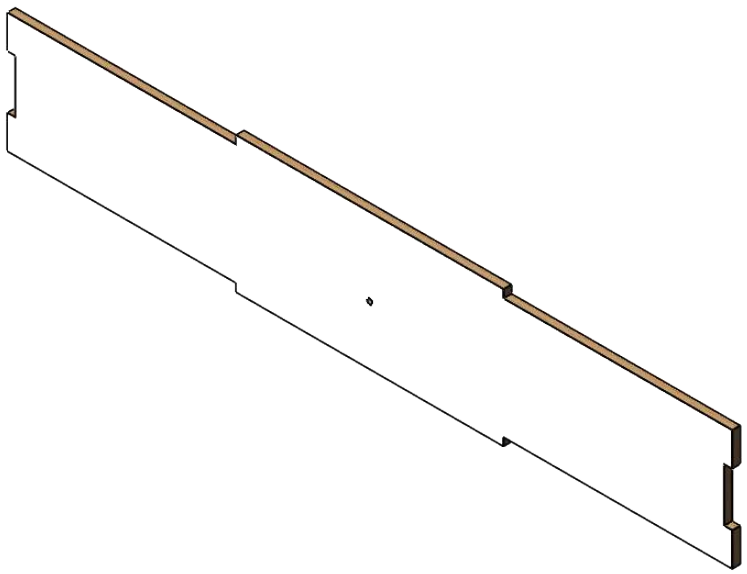
C

B

B

A

A



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA REVISIÓN

Universidad Técnica del Norte

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
FABR.	Jean Herrera		
CALID.			

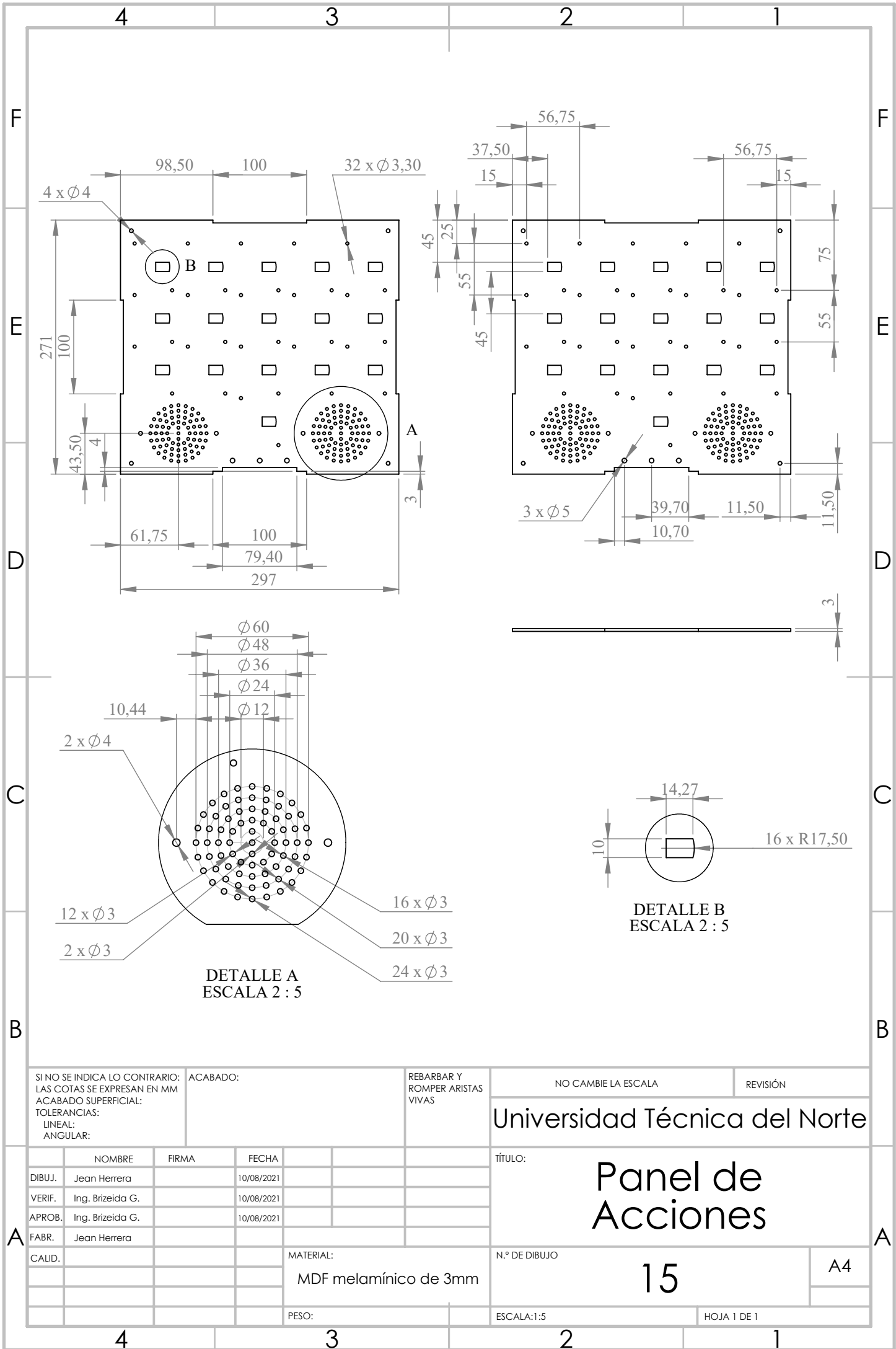
TÍTULO:
Lateral Izquierdo

N.º DE DIBUJO
14

ESCALA:1:2 HOJA 1 DE 1

MATERIAL:
 MDF melamínico de 3mm

4 3 2 1



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
 LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
 ACABADO SUPERFICIAL:
 TOLERANCIAS:
 LINEAL:
 ANGULAR:

ACABADO:

 REBARBAR Y
 ROMPER ARISTAS
 VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA
 REVISIÓN
Universidad Técnica del Norte

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
FABR.	Jean Herrera		
CALID.			

MATERIAL:
MDF melamínico de 3mm

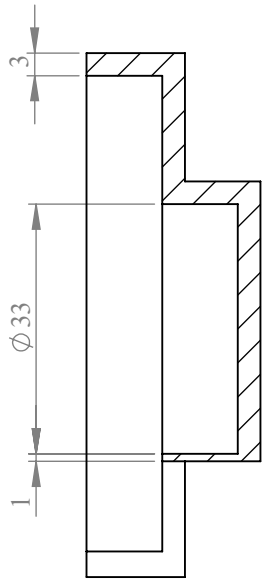
PESO:

TÍTULO:
Panel de Acciones

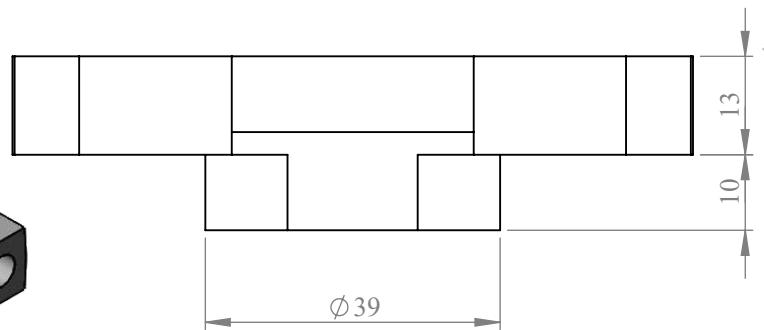
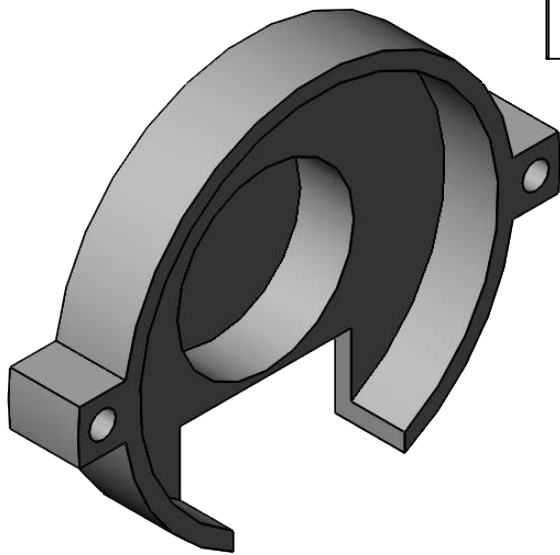
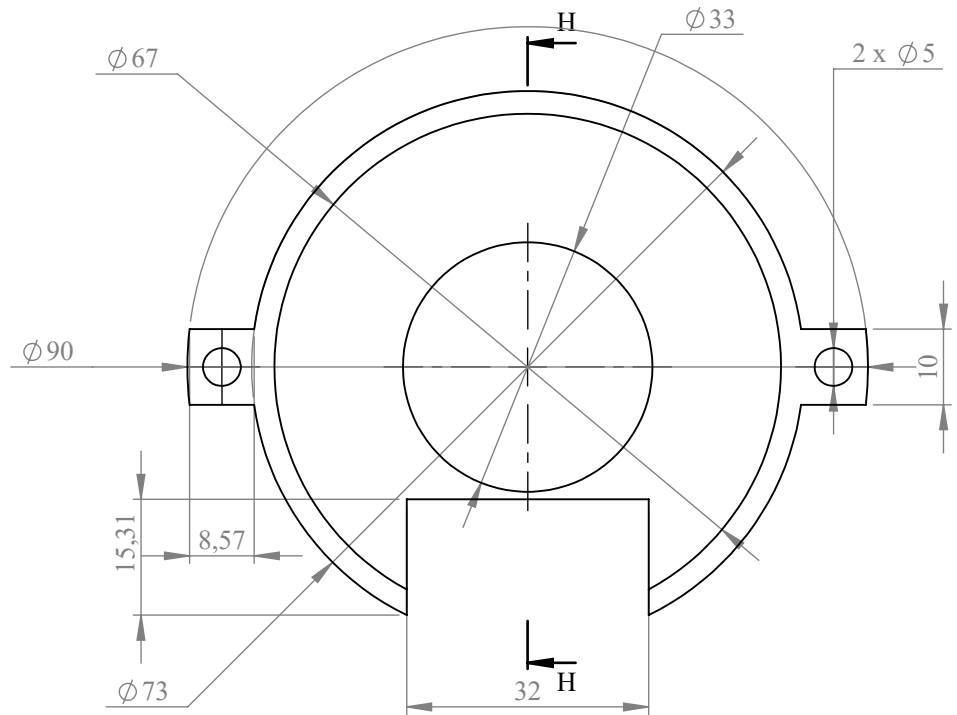
N.º DE DIBUJO
15

ESCALA:1:5
 HOJA 1 DE 1

A4



SECCIÓN H-H



SI NO SE INDICA LO CONTRARIO:
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM
ACABADO SUPERFICIAL:
TOLERANCIAS:
LINEAL:
ANGULAR:

ACABADO:

REBARBAR Y
ROMPER ARISTAS
VIVAS

NO CAMBIE LA ESCALA

REVISIÓN

Universidad Técnica del Norte

TÍTULO:

Porta Parlante

	NOMBRE	FIRMA	FECHA
DIBUJ.	Jean Herrera		10/08/2021
VERIF.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
APROB.	Ing. Brizeida G.		10/08/2021
FABR.	Jean Herrera		
CALID.			

MATERIAL:

PETG

N.º DE DIBUJO

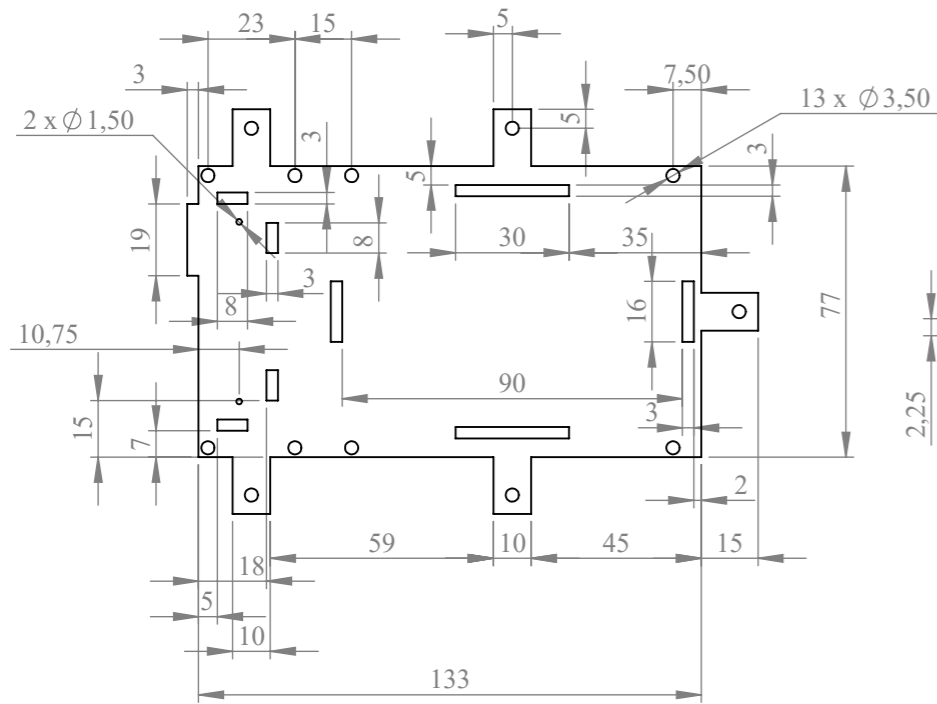
16

A4

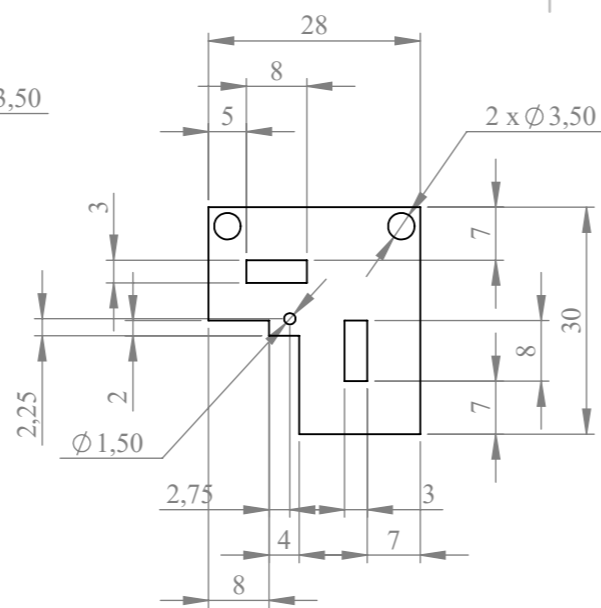
PESO:

ESCALA:1:1

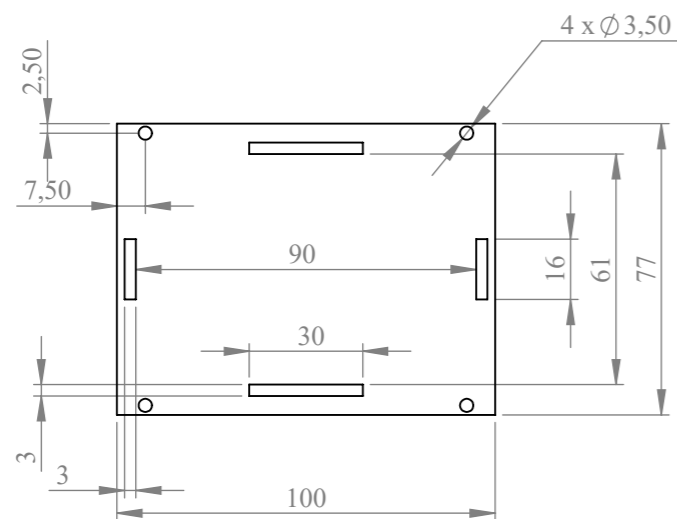
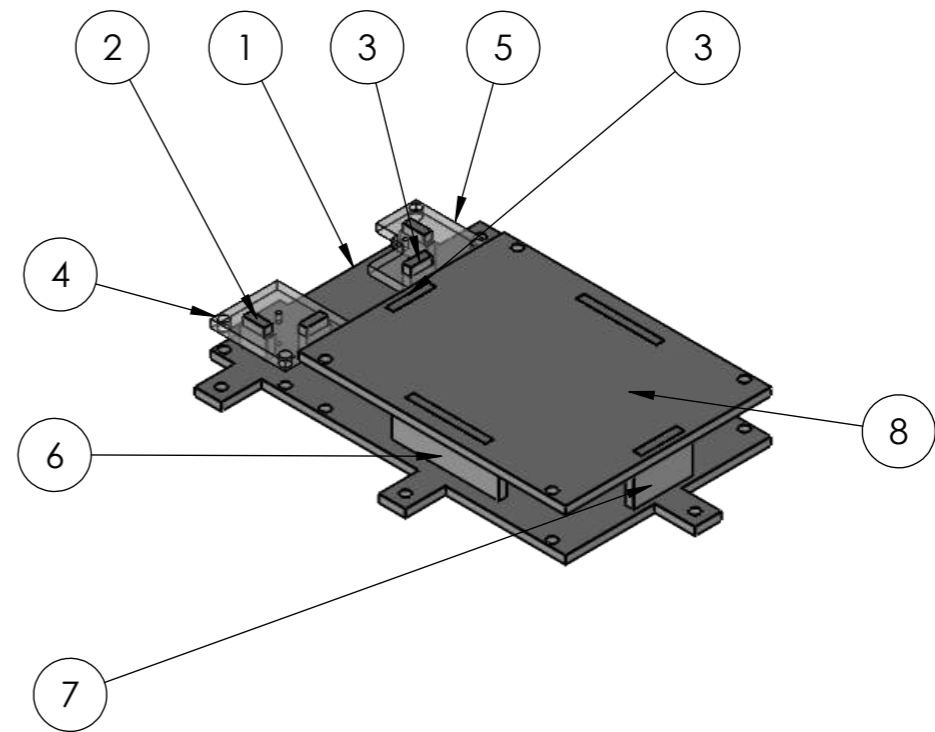
HOJA 1 DE 1



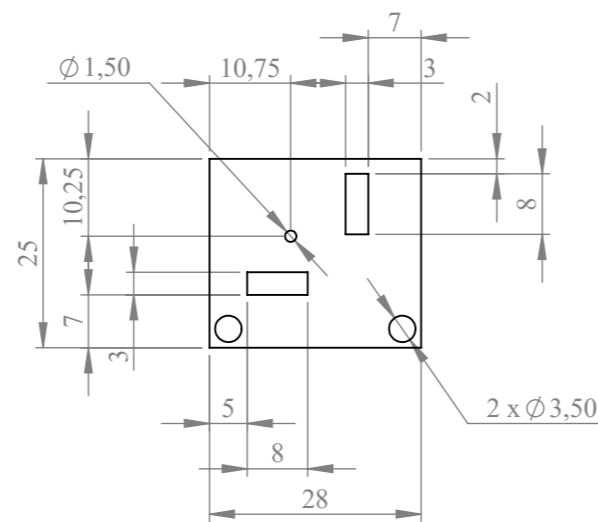
Base Perforada



Soporte Fila
Escala 1:1



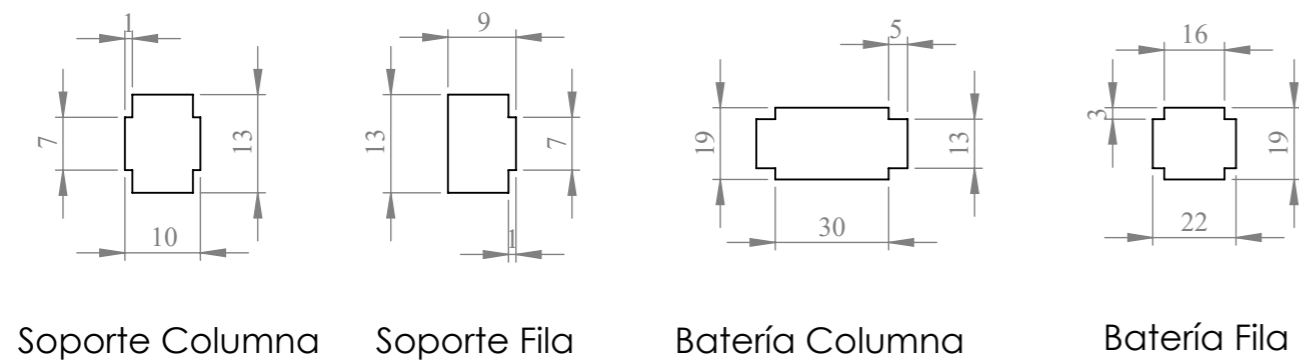
Base Batería



Soporte Columna
Escala 1:1

LISTA DE PARTES			
Nº DE ELEMENTO	DENOMINACIÓN	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Base Perforada	Acrílico de 3mm	1
2	Soporte Columna		2
3	Soporte fila		2
4	Placa izquierda		1
5	Placa derecha		1
6	Batería columna		2
7	Batería fila		2
8	Base batería		1

SI NO SE INDICA LO CONTRARIO: ACABADO:		REBARBAR Y ROMPER ARISTAS VIVAS		NO CAMBIE LA ESCALA		REVISIÓN	
LAS COTAS SE EXPRESAN EN MM		ACABADO SUPERFICIAL:		Universidad Técnica del Norte			
TOLERANCIAS:		LINEAL:		TÍTULO:			
ANGULAR:				Base para Batería			
NOMBRE		FIRMA		FECHA		N.º DE DIBUJO	
DIBUJ. Jean Herrera						17	
VERIF. Ing. Brizeida G.						A3	
APROB. Ing. Brizeida G.						ESCALA:1:2	
FABR. Jean Herrera						HOJA 1 DE 1	
CALID.				MATERIAL:			
				Acrílico de 3mm			
				PESO:			



Soporte Columna

Soporte Fila

Batería Columna

Batería Fila