

UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO



FACULTAD DE INGENIERÍA

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

T E S I S

Que para obtener el título de
INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A :

BRAULIO ZEPEDA VILLAR
EDGAR ANTONIO NÚÑEZ SOTO
JOSÉ RAYMUNDO HERNÁNDEZ RUBIO

DIRECTOR DE TESIS
M.I. BILLY ARTURO FLORES MEDERO
NAVARRO



MEXICO, D.F.

MARZO, 2013

Agradecimientos.

**A Dios,
por habernos dado la dicha de la vida y dirigirnos por el camino
de la sabiduría, honradez y sobre todo del bien.**

**A nuestros padres,
por su amor, confianza y respaldo incondicional en todo
momento, ya que sin su ejemplo nuestras metas serían
inalcanzables.**

**A nuestros hermanos,
por acompañarnos en cada momento de nuestras vidas y
cobijarnos en los momentos difíciles y de dicha.**

**A nuestros profesores,
que nos dieron todas las bases para poder convertirnos en
ingenieros y ser parte del México del presente.**

Los amamos.

ÍNDICE.	Página
INTRODUCCIÓN.	7
CAPÍTULO 1.	
ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA DISCAPACIDAD.	10
1.1 Tetra-Amelia Congénita.	11
1.2 Historia y materiales típicos empleados en las sillas de ruedas.	11
1.3 Materiales.	13
1.4 Tipos de sillas de ruedas que existen en la actualidad.	14
1.5 Sillas de ruedas especiales para pacientes con Tetra-Amelia Congénita.	15
1.6 Impacto social en el paciente.	17
1.7 Interfaz hombre-máquina.	18
1.8 Innovación en sistemas tecnológicos para sillas de ruedas.	19
1.9 Ergonomía del asiento.	20
CAPÍTULO 2.	
METODOLOGÍA DE DISEÑO.	22
2.1 Metodologías de diseño.	23
2.1.1 Método de “tanteos” o iterativo.	23
2.1.2 Método de pensamiento lateral.	23
2.1.3 Método de la tormenta de ideas.	23
2.1.4 Método de análisis morfológico.	24
2.1.5 Método de la sinéctica.	24
2.1.6 Metodología TRIZ.	25
2.2 Requerimientos y especificaciones.	27
2.2.1 Estructura.	27
2.2.2 Carcasa.	28
2.2.3 Asiento.	28
2.2.4 Respaldo.	29
2.2.5 Descansabrazo (módulo de control).	29
2.3 Especificaciones.	29
2.4 Propuesta del diseño conceptual.	30
2.4.1 Diseños preliminares.	30
2.4.2 Diseños conceptuales estructurales y de anclaje.	33
2.4.3 Mecanismos del respaldo para uso automatizado.	35
2.5 Modelos a escala.	36
2.5.1 Propuesta “Escalón”.	36
2.5.2 Propuesta “Rampa”.	37
2.5.3 Propuesta “Corredera”.	38

2.6 Selección del diseño.	39
2.6.1 Materiales.	42
2.6.1.1 Aluminio.	42
2.6.1.2 Nylamid.	43
2.6.2 Tipos de unión del aluminio.	43
2.7 Prototipo final.	45
2.7.1 Estructura de la base.	51
2.7.2 Distribución de los componentes eléctricos y mecánicos.	53
2.7.3 Diseño de la carcasa.	54
2.7.3.1 Sección frontal.	54
2.7.3.2 Secciones laterales.	54
2.7.3.3 Sección trasera.	54
2.7.3.4 Sección superior.	54
2.7.3.5 Salpicaderas.	54
2.7.4 Diseño del asiento.	55
2.7.4.1 Asiento.	55
2.7.4.2 Respaldo.	56
2.7.4.3 Descansabrazo.	57
2.8 Procedimiento de uso.	59
2.8.1 Regulación de la altura.	60
2.8.2 Transporte.	62

CAPÍTULO 3.

FABRICACIÓN DE LA SILLA DE RUEDAS.

3.1 Fabricación de la estructura.	66
3.1.1 Doblado de tubo.	67
3.1.1.1 Análisis de desplegado de tubo industrial.	67
3.1.2 Piso (placa).	69
3.1.3 Soldado de la estructura tubular.	70
3.1.4 Fijación del piso (placa).	71
3.1.5 Colocación de llantas delanteras y traseras (soporte).	72
3.1.5.1 Llantas delanteras.	72
3.1.5.2 Llantas traseras.	73
3.2 Sistema electromotriz.	74
3.2.1 Acoplamiento del elemento de sujeción “reductor-rueda”.	74
3.2.2 Montaje del sistema electromotriz a la base estructural.	75
3.3 Fabricación del asiento y respaldo.	76
3.3.1 Fabricación del asiento.	77
3.3.2 Fabricación del respaldo.	78
3.3.2.1 Sistema electromecánico de inclinación del respaldo.	79
3.4 Fabricación de la carcasa.	84
3.5 Acoplamiento de los dispositivos.	87
3.5.1 Acoplamiento del gato eléctrico.	87

3.5.2 Acoplamiento del circuito, control electrónico y control del respaldo.	88
3.5.3 Acoplamiento de disipadores.	90
3.5.4 Acoplamiento de la batería.	90
3.5.5 Sistema de transportabilidad de la silla de ruedas.	91
3.5.6 Sistema de soporte y amortiguación del asiento.	92
3.5.6.1 Acoplamiento de amortiguadores.	92
3.6 Acoplamiento de dispositivos de interacción física.	93
CAPÍTULO 4.	
RESULTADOS Y CONCLUSIONES.	96
4.1 Resultados.	97
4.2 Áreas de oportunidad.	100
4.3 Conclusiones.	101
BIBLIOGRAFÍA.	103
MESOGRAFÍA.	103
ANEXO.	
1. Planos de piezas no comerciales.	105
GLOSARIO DE TÉRMINOS.	119

INTRODUCCIÓN

Hoy en día existe una gran cantidad de personas con distintas discapacidades físicas que no les permiten desarrollarse plenamente dentro de la sociedad. Estas personas se encuentran bajo dicha circunstancia ya sea por condiciones congénitas o por causas accidentales y, dependiendo del grado de su discapacidad, necesitan diferentes tipos de dispositivos que les faciliten el proceso de convivencia social de una forma más natural y sin sentirse excluidos de su ambiente inmediato.

Estos dispositivos auxiliares tienen la característica en común de que con el paso del tiempo mejoran sus atributos tecnológicos y han permitido que estas personas se desarrollen de una manera incluyente, ayudándolas tanto física como moralmente. Muchas de las tecnologías nuevas son hoy en día aún muy caras y no cualquier persona puede recurrir a este tipo de ayuda, por lo que el desarrollar nuevos dispositivos a un costo menor es un objetivo muy importante y trascendental.

En esta tesis se toma el caso de un joven paciente llamado Carlos, el cual tiene una malformación de nacimiento llamada Tetra-Amelia Congénita. Esta deformación consiste en la falta de extremidades tanto torácicas como pélvicas del sujeto. En el caso de Carlos, su falta de extremidades es parcial en sus brazos y casi total en sus piernas, lo que no le permite realizar cierto tipo de movimientos y su equilibrio es diferente al de una persona normal. A pesar de esto, se adapta de una manera extraordinaria a distintas situaciones de la vida cotidiana; dado que su discapacidad es de nacimiento, esto le ha ayudado a acostumbrarse a vivir así más fácilmente que si su discapacidad hubiera sido provocada por un accidente. Aun así, no está exento de tener que recibir ayuda de su familia o personas cercanas a él para poder realizar diferentes actividades como trasladarse sólo en la escuela o en la calle, tener una mayor perspectiva visual de sus alrededores y principalmente el tener autonomía, algo que es muy importante para el desarrollo de cualquier persona.

Para lograr esto, se propuso la elaboración de una silla de ruedas electro-mecánica a un costo mucho menor que las existentes actualmente en el mercado. La parte del sistema eléctrico y de control ya está construida y disponible para ser empleada, por lo que en esta tesis se realizará la parte mecánica, estructural y todo el proceso de adaptación del sistema eléctrico con el fin de obtener el dispositivo completo y funcional.

En el capítulo 1, se desarrollan los principales conceptos que se toman como base para idear el proyecto de tesis y lograr enfocar el proceso del trabajo de la mejor manera posible, tomando en cuenta la situación del paciente de manera física y espacial tanto de él como de su entorno físico y social.

En el capítulo 2 se explica el desarrollo del diseño conceptual desde la metodología hasta la creación de ideas y prototipos, llegando así al diseño final en el cual se trabajó.

Posteriormente en el capítulo 3 se explica la construcción a detalle de la silla de ruedas, la cual tomó como base el diseño conceptual final, pero que fue cambiando con el transcurso del proceso.

Finalmente el capítulo 4 muestra los resultados y las conclusiones que se obtuvieron en la realización de esta tesis, así como se comentan las áreas de oportunidad en las que se puede mejorar el diseño de la silla de ruedas.

Objetivo.

Diseñar y fabricar la parte mecánica y estructural de una silla de ruedas que ayude al paciente a realizar sus actividades diarias, como lo es la movilidad en la escuela y con mayor autonomía de una manera segura y comfortable.

Hipótesis.

La silla de ruedas electro-mecánica será una herramienta que proporcionará al paciente mayor autonomía en su desarrollo diario, de tal manera que podrá acceder y salir de la silla de ruedas por si solo, así como moverla a donde él lo requiera sin la ayuda de otra persona.

Alcances.

En esta tesis se realizará el diseño y construcción de un prototipo de la silla de ruedas electro-mecánica de tal manera que sea funcional para el usuario.

CAPÍTULO 1

ANÁLISIS Y EVALUACIÓN DE LA DISCAPACIDAD

1.1 Tetra-Amelia Congénita.

¹El síndrome de Tetra-Amelia Congénita es un desorden congénito autosomal poco común, cuya principal característica es la ausencia de las 4 extremidades en el individuo, de ahí su nombre que proviene del griego Tetra (cuatro) y Amelia que se refiere a la falla en la formación de brazos o piernas antes del nacimiento. En este síndrome suelen presentarse también otras afecciones en la cara, el esqueleto, los órganos reproductivos, el ano, la pelvis, el corazón o los pulmones. En el caso de los pulmones, estos llegan a estar subdesarrollados al momento del nacimiento lo que provoca la muerte del recién nacido.

Investigadores han encontrado que las personas que sufren este desorden tienen una mutación en el gen WNT3. Dicho gen pertenece a la familia de los genes WNT que están involucrados de manera crítica en la gestación. Esta mutación es multifactorial, ya que puede ser provocada por factores genéticos, trauma, choques térmicos, virus, bacterias, tratamientos hormonales, etc.

1.2 Historia y materiales típicos empleados en las sillas de ruedas.

²La primera silla de ruedas que está documentada fue creada en 1595 para el rey Felipe II de España (véase figura 1). Esta silla consistía en una silla con una rueda en cada pata, una plataforma levantada para las piernas y un respaldo ajustable. Para poderse mover con esta silla, el Rey necesitaba la ayuda de un cortesano, pero esta silla realmente no era de gran ayuda ya que el castillo donde el Rey vivía no contaba con rampas ni diseños adecuados en su construcción para poder trasladarse en silla de ruedas.

La primera documentación que se tiene de una silla de ruedas con movilidad independiente data de 1655, cuando Stephen Farfler, un relojero parapléjico, construyó una silla de ruedas sobre un chasis de tres ruedas la cual contaba con manivelas con las que el usuario pudiera mover las ruedas e impulsarse hacia delante (véase figura 2).



Figura 1. Rey Felipe II, primer persona en usar una silla de ruedas.

¹ *Homozygous WNT3 Mutation Causes Tetra-Amelia in a Large Consanguineous Family*, Niemann, S., Zhao, C. Pascu, F.; Stahl, U.; Aulepp, U.; Niswander, L.; Weber, J.; Muller, U. (Mar 2004).; *The American Journal of Human Genetics*.

² <http://www.chairdex.com/shistory.htm>



Figura 2. Silla de ruedas de Stephen Farfler.

La siguiente documentación de un desarrollo es de 1783 por John Dawson. Dado que al lugar en el que trabajaba asistían muchas personas invalidas, construyó una silla de ruedas la cual su tercera rueda de enfrente tenía una manivela rígida con la cual el usuario podía direccionar la silla de ruedas. Existieron distintos modelos de esta silla, pero aun así todos estos modelos necesitaban ser empujados por detrás o por algún animal.

Durante el siglo XIX, las sillas de ruedas fueron evolucionando hasta que en un momento dado, los usuarios podían mover ellos mismos las grandes ruedas de la silla, aunque esto tenía el problema de que al pasar por barro o charco los usuarios se ensuciaban las manos. Esto se solucionó cuando los fabricantes comenzaron a agregar unas ruedas de menos diámetro que sobresalían de las ruedas para que estas no tuvieran contacto con el piso y así la gente no se ensuciara las manos. Así mismo se agregaron rayos a las ruedas lo cual le proporcionó mejor resistencia y más durabilidad, así mismo, se desarrollaron respaldos ajustables y apoyos móviles para brazos y pies.

En 1915, ingenieros británicos desarrollaron la primera silla de ruedas motorizada, la cual no logró tener mucho éxito debido a que las sillas de ruedas manuales eran mucho más baratas. Aun así, las sillas de ruedas seguían siendo muy pesadas, rígidas y difíciles de guardar, sobre todo en automóviles, hasta que en 1932 un ingeniero estadounidense llamado Harry Jennings le construyó a su amigo una silla de ruedas plegable, modelo que se utiliza hasta hoy en día (Figura 3).



Figura 2. Silla de ruedas plegable

Las primeras sillas de ruedas motorizadas utilizaban cintas que iban enrolladas en un rotor conectado a un motor con lo cual se transmitía el movimiento a las llantas. Los desarrolladores han ido mejorando estos sistemas y hoy en día la tracción es directa al motor a través de una serie de engranes. Hoy en día se utilizan motores eléctricos en la silla de ruedas para el desplazamiento de la misma, ajuste de los asientos, los descansos de los pies, los respaldos y los reposacabezas (Figura 4).



Figura 3. Silla de ruedas eléctrica.

1.3 Materiales.

La composición del armazón es un factor clave en la funcionalidad de la silla. El acero siendo el más habitual, es el más pesado pero también el más barato. Una silla con armazón de aluminio es mucho más ligera y por lo tanto fácil de propulsar, pero también más cara. También se pueden encontrar armazones realizados en materiales muy ligeros como titanio y carbono. Se utilizan habitualmente en sillas de armazón rígido y tienen un precio muy elevado.

En el transcurso de la historia, los materiales utilizados en las sillas de ruedas han ido adaptándose a las tecnologías de la época. En los primeros datos que se tienen sobre sillas de ruedas, se puede observar que se comenzó utilizando sillas comunes de maderas, a las cuales se les agregaban ruedas. Posteriormente, los diseños utilizaron metales, como casi todos los medios de transporte hacen desde hace ya muchos años. De ahí se partió a utilizar de metales más pesados a más ligeros, pasando por el acero, el aluminio y el titanio. Lo más reciente en cuanto a tecnología es la utilización de la fibra de carbono, pero la tendencia es

seguir buscando materiales más ligeros y resistentes para que los usuarios puedan tener mayor manejo de sus sillas de ruedas.

1.4 Tipos de sillas de ruedas que existen en la actualidad.

³En la revista electrónica “GuíaMovilidad.com” se detalla algunos tipos de sillas de ruedas.

Sillas Manuales.

La primera es la Silla Manual Standard de acero. Estas sillas de ruedas son de acero, lo cual las hace muy pesadas, pero a su vez son las más económicas. Por lo general estas sillas de ruedas son plegables y por lo general se encuentran en hospitales o asilos.

Las siguiente es la Silla Manual ligera o Semi activa. Este tipo de silla de ruedas es de aluminio en casi todos los casos, lo cual permite mayor facilidad al usuario para moverla y guardarla. La desventaja de estas sillas de ruedas es que su precio es más elevado que las de acero.

Después se encuentra la Silla Manual ultraligera o activa. Esta silla de ruedas tiene la cualidad de ser la más ligera ya que en su diseño se emplean materiales como el titanio o la fibra de carbono. En consecuencia, estas sillas de un precio muy elevado a comparación de las dos anteriores. Debido a esto, por lo general al cliente tiene la posibilidad de escoger distintas configuraciones tanto de la estructura como de los aditamentos.

Al ser muy ligera esta silla de ruedas, es más fácil que se desestabilice, por lo que el usuario debe tener una movilidad completa de la cintura para arriba y así controlar bien sus movimientos.

La silla manual pasiva/postural, está diseñada para pacientes que tienen poca movilidad, por lo cual el material ya no es factor determinante para su diseño, en cambio, se busca conseguir que el equilibrio sea el más adecuado. Por lo general, estas sillas de ruedas poseen reclinación del respaldo, más otros aditamentos opcionales que dependiendo de la necesidad del usuario, son requeridas.

La silla pediátrica está diseñada pensando en que el usuario, al ser un niño o un adolescente, seguirá creciendo y desarrollándose, por lo que el asiento y ciertos aditamentos deben ser ajustables. Los materiales empleados no son factor fundamental en el diseño de estas sillas, aunque entre más ligeras será mejor para el caso de los niños.

La silla Manual Bipedestación es una silla la cual puede tomar una configuración tal que el usuario es capaz de acomodar su cuerpo de manera que quede prácticamente de pie. Este tipo de silla es muy útil para fines terapéuticos. La única desventaja que tiene es que es pesada debido a los distintos mecanismos que se requieren para su funcionamiento.

³ <http://www.guiamovilidad.com/guias-de-compra/85-tipos-de-silla-de-ruedas-manual.html>

Las sillas deportivas tienen diseños variados dependiendo de la disciplina para las que son diseñadas. Entre estas se encuentra el tenis, basketball, rugby o incluso baile. Algunas de las características que comparten es que tengan defensa, un centro de gravedad bajo, que las ruedas estén inclinadas y que cuenten con un sistema de antivuelco especial.

Sillas eléctricas.

La silla eléctrica Standard interior/exterior es la más utilizada. Es una silla que cuenta con llantas pequeñas a comparación de la mayoría de las manuales y pueden ser de tracción trasera, delantera o central. En el caso de las sillas de tracción central, permiten que la silla gire sobre su mismo eje, lo cual permite que este tipo de sillas se utilicen comúnmente en interiores. La silla de tracción delantera cuenta con ruedas más grandes adelante que atrás, lo cual ayuda a que la silla evite los obstáculos, pero reduce la facilidad de maniobrar. En el caso de la tracción trasera, la maniobrabilidad es mucho mejor, por lo cual, la mayoría de usuarios prefiere este tipo de sillas. Por lo general la batería de la silla eléctrica dura todo un día con un uso normal y pueden existir sillas que se desplacen a 6, 10 o hasta 12 Km/h.

La silla eléctrica híbrida es básicamente el chasis de una silla de ruedas manual, pero con los aditamentos necesarios para convertirla en una silla de ruedas eléctrica. La principal idea de estas sillas es poder tener una mayor transportabilidad, por lo que dependiendo del caso, la silla puede ser modificada por el usuario quitando y poniendo aditamentos de manera fácil y rápida. Por esto mismo, la duración de las baterías que utiliza no suele ser muy grande.

Un tipo especial de silla híbrida es aquella que no se mueve a través de un joystick o botones, si no que en los aros de las ruedas, cuentan con sensores que detectan la fuerza que se les imprimen y dependiendo de esta, los motores reaccionan. Este tipo de mecanismo lo utilizan usuarios que no quieren dejar de ejercitar sus brazos pero recorren grandes distancias, o para quienes se les dificulta subir rampas.

Por último, las sillas Bipedestadoras tienen la misma función que las de Bipedestación, sólo que estas funcionan a través de actuadores eléctricos.

1.5 Sillas de ruedas especiales para pacientes con Tetra-Amelia Congénita.

Existen dos personas reconocidas públicamente que sufren este mismo síndrome, las cuales cuentan con sillas de ruedas especializadas que se adaptan a su condición. Dado que no existe un tipo de silla de ruedas que se produzca en serie para estas condiciones del usuario, estos dos ejemplos son distintos entre si. Una de estas sillas pertenece a Nick Vujicic (véase figura 5).



Figura 4. El holandés Nick Vujicic en su silla de ruedas.

Esta silla de ruedas es eléctrica. Para el control de la misma, las personas que la diseñaron tomaron ventaja de las habilidades con las que cuenta el paciente. En este caso, el paciente cuenta con una pequeña extremidad que parece ser un pie subdesarrollado el cual tiene unas pequeñas falanges las cuales puede mover lo suficiente como para controlar su silla de ruedas. Dicho control tiene botones con los cuales el paciente puede encender o apagar el sistema eléctrico y dirigir la silla de ruedas como el desee.

La silla tiene como base una estructura metálica la cual sostiene por la parte de atrás lo que parece ser el motor eléctrico, los circuitos y la batería. Esta base metálica es sostenida a su vez por dos llantas en la parte trasera de la estructura de aproximadamente 10" de diámetro las cuales reciben la tracción del motor. Estas llantas no tienen ningún grado de libertad, lo que las imposibilita a dar dirección. En la parte frontal cuenta con dos llantas más pequeñas de aproximadamente 6" de diámetro, las cuales le permiten dar dirección a la silla de ruedas y proporcionan estabilidad.

El asiento cuenta con geometría y dimensiones mínimas para que el paciente pueda reposar la parte baja de su cuerpo por completo. El respaldo tiene una geometría rectangular y ergonómica la cual únicamente le permite reposar $\frac{3}{4}$ partes de su espalda, es decir, la zona lumbar y parte de la torácica; ya que en la parte alta solo tiene una cabecera más angosta que el resto del asiento.

Dadas las dimensiones del asiento, la estructura cuenta con dos barras laterales a la altura del pecho del paciente y una perpendicular a estas a la misma altura, las cuales le dan seguridad al paciente para que este no tienda a ir hacia los costados de la silla. Por último, en la parte trasera central de la silla de ruedas, se encuentra un sistema de piñón y cremallera el cual permite que el asiento y respaldo cambien de altura.

Gracias a esto, el paciente puede ingresar a la silla de ruedas de manera autónoma cuando el asiento está al ras del suelo, y posteriormente puede elevar su altura para poder desplazarse. Con la información recabada no se puede saber cuál es la altura máxima que alcanza el asiento.

La otra silla pertenece a Hirotsada Otokake: Esta silla de ruedas también es eléctrica y para el control cuenta con un joystick el cual le da dirección. De esta silla se tiene menos información que la anterior, pero con un análisis a las fotografías con las que se cuenta (véase figura 6), se puede observar que la silla de ruedas tiene una base más grande que la anterior ya que no sólo sostiene el sistema eléctrico, si no que le sirve para poner objetos



sobre de ésta. Una diferencia que se aprecia con respecto a la silla anterior es que la separación entre el eje frontal y el trasero es menor, por lo que la base es más chica pero cuenta con una lámina en toda su extensión, mientras que la anterior sólo son dos barras para poner las llantas delanteras.

Figura 5. Hirotsada Otokake en su silla de ruedas.

Las llantas traseras son más grandes que las delanteras. De igual manera que la silla de Nick, las ruedas delanteras proporcionan la dirección y las traseras sólo reciben la tracción de los motores, que al parecer es uno para cada llanta. El asiento y respaldo se asemeja más a los de sillas de ruedas comunes y cuenta con brazos laterales. Uno de estos brazos lleva el joystick. En ambas fotografías se puede apreciar que la estructura cuenta con un sistema de elevación del asiento a través de unas secciones cilíndricas que funcionan como pistones. No se puede apreciar cómo funciona el mecanismo, pero adelante del joystick se tienen dos botones los cuales pertenecen al sistema de control de elevación.

Otra diferencia entre la silla de Nick y la de Hirotsada, es que en la primera el sistema eléctrico se encuentra en la parte posterior de la estructura, y en el segundo ejemplo se encuentra por debajo.

1.6 Impacto social en el paciente.

El desarrollo de una persona con capacidades diferentes requiere de una atención y ayuda peculiar que las que requiere una persona con habilidades normales. Esto quiere decir que a estas personas es necesario ayudarlas a buscar su propia autosuficiencia y no hacerlos minusválidos de sus propias capacidades.

Al desarrollar herramientas que apoyen a estas personas, se debe tener en cuenta que la moral del paciente es muy importante lo que conlleva a que el diseño ostente una estética adecuada a la herramienta en cuestión, ya sean prótesis, órtesis, sillas de ruedas, etc.

⁴*Dulce María Romero Ayuso* habla sobre dos objetivos: Ayudar al paciente a la elección de una silla de ruedas adecuada a las necesidades del usuario, y mostrar y entrenar en técnicas útiles para su uso.

Para la recomendación de la silla, se propone que esta consiga la mayor autonomía funcional, que proyecte una imagen corporal saludable y segura, ya que será un dispositivo que el paciente ocupara toda su vida, que el costo del equipo sea bajo a corto y largo plazo, y que con ésta el usuario pueda desarrollar sus actividades cotidianas.

También habla sobre las dimensiones de la silla de ruedas. Este es un factor muy importante para la comodidad y el desarrollo del paciente. Menciona que entre menor sea el peso de la silla de ruedas, más cómoda resultara para el usuario. También que la longitud y la anchura son importantes dependiendo de los entornos en los que se realiza sus actividades el usuario, así como la altura la cual toma un papel muy importante en cuanto a la maniobrabilidad. De estas dimensiones, se recomienda que el largo no sea de más de 120 cm, el ancho no sea mayor a 70 cm, y la altura no mayor a 110 cm.

Por último dice que es importante el volumen de plegado para poder guardar la silla de ruedas ya sea en un armario o en una cajuela de coche.

1.7 Interfaz Hombre-Máquina.

⁵La “Interfaz Hombre-Máquina” o IHM es el medio por el cual el usuario se puede “comunicar” con la herramienta que desea utilizar, ya sea una computadora, un automóvil, una silla de ruedas eléctrica, etc. Esta IHM se tiene que adaptar a las necesidades del usuario. En cuanto a IHM para sillas de ruedas eléctricas, existe un proyecto en Colombia el cual propone una silla de ruedas eléctrica la cual tiene 3 tipos de IHM que se adaptan a personas con distintas afecciones físicas o mentales que no permiten que usen sillas de ruedas comunes. Estos IHM son por botones, por joystick y por voz. Todos estos sistemas mandan algún tipo de señal la cual es traducida por una computadora que manda otra señal a los motores para que estos se muevan como el usuario lo desea.

⁴ *Terapia ocupacional: teoría y técnicas*, Dulce María Ayuso, Masson, México.

⁵ http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/321/mi_1229.pdf?sequence=1

1.8 Innovación en sistemas tecnológicos para sillas de ruedas.

En los últimos años la tecnología ha ido avanzando en muchas áreas, como la ingeniería automotriz, la aeronáutica, la mecatrónica, entre otras, innovando para satisfacer necesidades que antes no era posible.

En cuanto a las sillas de ruedas se refiere, ha existido una innovación tecnológica de mano de la ingeniería mecatrónica, debido a las distintas necesidades que siempre han tenido las personas discapacitadas. Dado que las discapacidades que estas personas padecen no generan las mismas necesidades en todos los casos, se necesita que las sillas de ruedas sean lo más personalizables posible.

De esta manera, los ingenieros y diseñadores han analizado las distintas discapacidades que existen en los pacientes, para de ahí partir y diseñar una silla de ruedas que satisfaga sus necesidades.

En general, son dos rubros en los que la innovación tecnológica de las sillas de ruedas ha avanzado: en las capacidades que tiene la silla de ruedas en cuanto a movimiento, y en cuanto a la interfaz hombre-máquina.

En el primer caso se ha logrado que las sillas de ruedas se muevan con apretar una palanca o un botón, que la silla se eleve y le dé mayor altura al paciente, que la silla reaccione al entorno en el que se encuentra evitando obstáculos o desniveles severos del piso, etc.

Un ejemplo es el que se encuentra en la revista electrónica ⁶**Vinculado** que se publicó un artículo el cual habla sobre el diseño de un sistema electromecánico que sirve para cambiar la altura de una silla de ruedas. La idea principal de los diseñadores en este proyecto, fue hacer la estructura de la silla de ruedas parecida a una estructura en forma de rombo, lo cual se logró a través de un mecanismo donde los tubos de la estructura tenían dicha forma al momento de ir pasando de la altura más baja a la más alta; parecido a un mecanismo de tijera.

Para que el diseño fuese exitoso, los diseñadores llevaron a cabo una metodología ingenieril, la cual, a través de análisis estáticos, dinámicos y de materiales, logró darles como resultado un diseño óptimo para los requerimientos que se plantearon, como lo fueron que el paciente pudiese tener mayor autonomía, que la silla fuese más ligera que el promedio, y que pudiera cargar al paciente.

Así mismo, construyeron un modelo a escala el cual fue diseñado para elevarse 40cm y sostener una carga de 500 N.

⁶ http://vinculando.org/salud/arriba_el_bienestar_sillas_de_ruedas_elevables.html

También analizaron problemáticas como la volcadura al momento de estar elevada la silla. Esto se resolvió usando contrapesos con los mismos dispositivos que lleva el sistema.

En resumen, estas personas lograron diseñar y construir una silla de ruedas enfocada a ayudar al paciente a ser más autosuficiente, usando técnicas de diseño ingenieril, además de que es palpable la innovación tecnológica que esto conlleva.

En el caso de la innovación en cuanto a interfaz hombre-máquina, se ha logrado que los pacientes le den órdenes a las sillas de ruedas a través de botones, del movimiento del cuerpo o usando comandos de voz.

Este es el caso de un grupo de estudiantes de la universidad de Case Western Reserve, los cuales en un principio desarrollaron una silla de ruedas la cual era comandada a través de un control inalámbrico de "XBOX", y la cual tenía sensores que ayudaban a detectar si la silla iba en dirección equivocada o si iba a chocar. Pero los estudiantes se dieron cuenta de que su silla no cubría las necesidades de muchos pacientes, por lo que desarrollaron una interfaz por voz la cual puede ser programable para ingresar los comandos de voz que el paciente requiera.

1.9 Ergonomía del asiento.

⁷Para diseñar o seleccionar un asiento, se deben tomar en cuenta varios aspectos como lo son la economía y la calidad, y que sea adecuada para las posiciones que el paciente va a tomar al realizar sus distintas actividades. Un buen diseño es muy importante para no causar enfermedades en el paciente.

Para llegar a este diseño es importante comenzar realizando un estudio sobre la forma ósea del cuerpo del paciente y las posturas que éste toma al sentarse, ya que dependiendo de dicha postura, la descarga de peso la reciben las nalgas a través de los huesos. Aproximadamente el 75% de esta transmisión de peso se lleva a cabo a través de las tuberosidades isquiales (véase figura 7). El resultado es la generación de presión en las nalgas, y dependiendo de la posición del paciente, esta presión varía según la zona de la nalga como se muestra en la siguiente imagen.

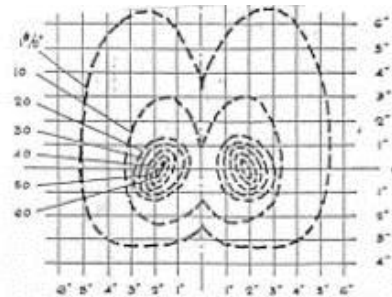


Figura 7. Distribución de presión en las nalgas.

⁷ <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=81>, Lic. José Luis Melo, (Dic2002).

Para que el cuerpo pueda reposar correctamente, es importante que la superficie del asiento no sea totalmente rígida, pero es también muy importante que no sea plana, ya que esto puede provocar compresión en los tejidos y consecuencias dañinas para los músculos y los nervios. Para evitar esto es recomendable que la forma del asiento sea curva siguiendo la fisonomía de las nalgas de manera que el área de contacto sea la mayor y en consecuencia la distribución de presiones sea mayor (véase figura 8). En la siguiente imagen se muestra un ejemplo de lo antes mencionado.

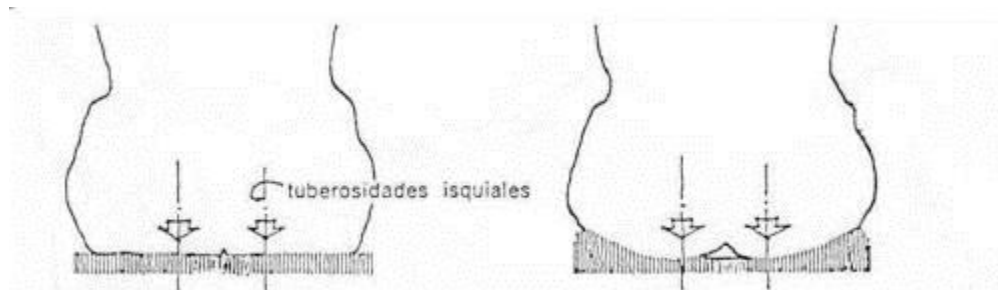


Figura 8. Forma correcta del asiento para una buena distribución de las nalgas.

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA DE DISEÑO

En este capítulo se hace mención al proceso de diseño, características y metodologías implementadas para el desarrollo conceptual de la estructura, asiento y accesorios complementarios de la silla de ruedas eléctrica modular. De igual forma, se realiza una descripción de cada uno de los sistemas que integran el prototipo y la interacción conjunta entre cada uno de sus componentes.

En el último segmento de éste capítulo se expone de una manera breve la interacción entre el usuario final y el dispositivo, puntualizando así el manejo y funcionamiento que el usuario debe de seguir para el aprovechamiento total del diseño.

2.1 Metodologías de diseño.

Desde los inicios de la historia del hombre, se han dado numerosas situaciones en las cuales las personas se ven en la necesidad de resolver algún tipo de problemática. Así, para ayudarse en su vida diaria, los ancestros del hombre crearon múltiples herramientas con la finalidad de obtener alimento o refugio con mayor facilidad.

Con el paso de los años, las necesidades del hombre se han vuelto más refinadas y complicadas, por lo que resolver problemas es cada vez un mayor reto. Dada esta circunstancia, las personas se han dedicado a encontrar técnicas y metodologías que los ayuden en el proceso inventivo de resolver problemas.

2.1.1 Método de “tanteos” o iterativo.

Este método se basa en la idea de probar una solución a un problema y dados los resultados, intentar otra solución partiendo desde el origen. De esta manera, se pueden hacer “n” número de intentos hasta obtener la solución deseada. Un ejemplo de esto fueron los 3000 intentos de Edison antes de crear el primer foco. Este método es de los más rudimentarios ya que en realidad no lleva una cierta metodología, todo es más que nada “prueba y error”, por lo que encontrar soluciones satisfactorias con este “método” es realmente complicado.

2.1.2 Método de pensamiento lateral.

Este método se basa en la idea de observar un cierto problema desde distintos puntos de vista. Más que ser un método que lleve directo a la solución del problema, es más bien un paso intermedio entre otros métodos para buscar ideas que nos acerquen a la solución deseada.

2.1.3 Método de la tormenta de ideas.

Este método fue creado por Alex Osborn en 1953, debido a necesidades empresariales de obtener soluciones más eficazmente. Este método consiste en lo que Osborn definió como “Brainstorming”, o en español “lluvia de ideas”, el cual es reunir a un grupo de entre 8 a 10

personas que estén relacionadas con el problema o que estén familiarizadas con la situación en cuestión, y generen ideas las cuales se vayan anotando, sin importar lo descabelladas que estas sean, durante un tiempo determinado. Posteriormente, se lleva a cabo un proceso de análisis sobre cada una de las ideas, en el cual cada miembro del grupo da su punto de vista sobre cada idea. En esta parte del proceso se descartan algunas de las ideas, y a las que quedan, se retoman para guiarlas hacia una posible solución.

2.1.4 Método de análisis morfológico.

Este método fue creado por los profesores F. Zwick y M. S. Allen en los años cuarenta. Consiste en la realización de una matriz en la cual el problema se plantea en funciones específicas y estas se acomodan de manera que se puedan encontrar distintas posibilidades dadas las combinaciones que se vayan formando en la matriz. Para hacer más clara esta idea se presenta el siguiente ejemplo:

Se quiere construir un vehículo para transporte en la ciudad. En este caso se pueden encontrar las siguientes funciones: Función energética, función contacto con el suelo, función ambiental, función de reciclado, función de dirección, etc. Todas estas funciones se acomodan en la matriz. Por ejemplo, la función de contacto puede ser con llantas, rieles, esquís, suspensión de aire, suspensión magnética, etc., y a cada una de estas se le ponen distintas opciones, como que tipo de llanta o esquí, que tipo de propulsión de aire o qué tipo de magnetos o materiales se pueden usar.

2.1.5 Método de la Sinéctica.

Este método fue desarrollado por William F. Gordon. Consiste en encontrar la relación entre dos o más cosas que aparentemente no tienen relación alguna.

Según Gordon, este método promueve más el componente emocional que el racional al momento de crear una solución, el momento en que surge el “chispazo” intelectual. Este es un momento que es denominado por los psicólogos como “incubación de las ideas” y de “iluminación o Eureka”. Cuando se quiere llevar a cabo este método para encontrar una solución de inventiva o tecnológica, se recomienda lo siguiente:

- Reunir a un grupo multidisciplinario de personas, por ejemplo, un médico, un psicólogo, un biólogo, un ingeniero, un abogado, un matemático, etc.
- El número de participante debe de ser entre 8 y 10 personas.
- Cada sesión dura entre 40 y 60 minutos, tiempo en el cual se proponen las ideas.
- Cada miembro del equipo debe estar de acuerdo en que se trabaja bajo bases un poco irracionales.
- Se debe entender que las soluciones propuestas deben ser racionales aunque el proceso para llegar a ellas no lo sea.

- Se acepta cualquier tipo de idea y no se hace juicio en el momento en el que esta es generada.
- Cada participante escribe el problema como lo entiende y de ser posible de varias maneras.
- Se aconseja la personificación y antropomorfización del problema y su solución, como por ejemplo: ¿cómo me sentiría si yo fuera esto?, ¿cómo se sentiría eso si fuera una persona?, etc.
- Se recomienda el uso de las analogías.

2.1.6 Metodología TRIZ.

⁸TRIZ es una metodología para resolver problemas que fue inventada en el año de 1946 por el ingeniero soviético Genrich Saulovich Altshuller. Sus siglas en ruso se traducen como “Teoría innovadora para la Solución de Problemas”.

Esta metodología para resolver problemas y generar inventos se sienta en la base de que cualquier individuo es capaz de resolver problemas sin importar su intelecto o no le viene a la mente la respuesta de manera circunstancial. Este es un método bien estructurado que se sustenta en la experiencia y el conocimiento que ya se tiene en general y que puede ser fácilmente consultado.

En general, este método consiste en encontrar las principales contradicciones del problema. Dichas contradicciones son:

1.- Contradicciones Técnicas que son las que involucran a dos elementos de un sistema tecnológico.

Esta contradicción se refiere a que, cuando se intenta mejorar un atributo “x” de un sistema tecnológico, se tiene que tener un deterioro o pérdida en un atributo “y”. Este tipo de contradicciones surgen cuando se requiere mejorar atributos incompatibles, como aumentar tamaño y reducir peso.

2.- Contradicciones Físicas que corresponden a una sola parte del sistema tecnológico.

Esta contradicción se presenta cuando un atributo “z” de un sistema se quiere mejorar, pero a la vez este mismo atributo empeora el sistema, es decir, se obtiene una mejora pero a la vez se obtiene una pérdida.

Para que el método TRIZ funcione correctamente, estas contradicciones tienen que estar muy bien identificadas dentro del problema. Una vez se tienen identificadas, encontrar la solución es relativamente sencillo.

⁸ TRIZ, la metodología más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática, Coronado Maldonado Margarito, Oropeza Monterrubio Rafael, Rico Arzate Enrique, Panorama, 2005.

Así pues, a los sistemas tecnológicos, el Ingeniero Alshiller les definió 39 parámetros o características (que no quiere decir que sean las únicas, esto se definió para propósito del método), y a la vez definió “40 principios fundamentales para inventar o innovar” con los cuales, se genera una matriz de contradicción con el fin de eliminar las contradicciones encontradas.

Otra herramienta que utiliza TRIZ son las llamadas “Interacciones SUSTANCIA-CAMPO” cuando se enfrenta un problema de inventiva o innovación.

Para TRIZ “SUSTANCIA” es cualquier cosa que se pueda percibir con los sentidos o con los instrumentos adecuados.

Por otro lado, “CAMPOS” se refiere a los siguientes:

- Campo gravitacional.
- Campo electromagnético.
- Campo nuclear de interacción débil.
- Campo nuclear de interacción fuerte.
- Campo mecánico.
- Campo térmico.
- Campo óptico.
- Campo acústico.

Con el análisis de estas interacciones se puede encontrar fácilmente la solución a un problema, ya que se puede relacionar el entorno del problema con algún campo de conocimiento de la física y así idear una interacción con la que se encuentre una solución.

De esta manera la TRIZ se apoya en otras herramientas como es el aprovechar los recursos “INVISIBLES”, el cual se refiere a utilizar recursos que parecen no estar o que aparentan ser gratis como el uso del vapor de agua, el agua reciclada, o espacios aparentemente no utilizables pero que con las herramientas adecuadas se pueden aprovechar. Lograr identificar estos recursos es de gran utilidad al momento de querer generar soluciones.

También TRIZ considera de suma importancia identificar bien el problema. Siempre que se requiera de una solución es de suma importancia tener el problema muy bien definido, ya que de esta manera, se pueden generar soluciones desde muchos puntos de vista, que aunado a todas las herramientas ya antes mencionadas, logran obtener un resultado satisfactorio con mayor seguridad y rapidez.

TRIZ se puede representar de una manera condensada en el diagrama 2.1.

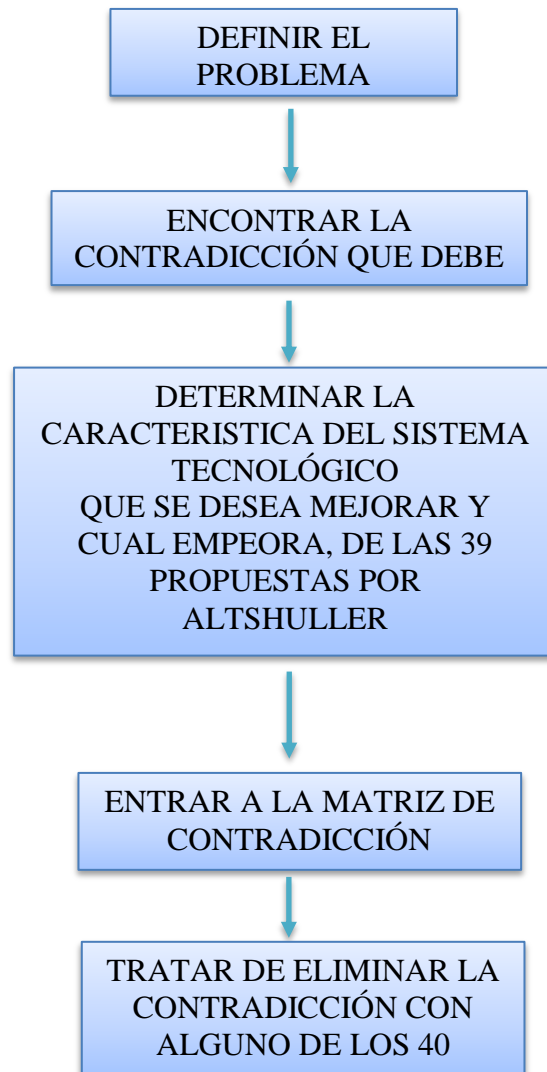


Diagrama 2.1. Método TRIZ.

2.2 Requerimientos y especificaciones.

2.2.1 Estructura.

La estructura es una de las partes más importantes y fundamentales del proyecto, ya que sobre ésta se aplican las fuerzas generadas por los dispositivos eléctricos y mecánicos, del usuario, golpes y las superficies de contacto al andar.

Los requerimientos contemplados para el diseño estructural son:

- Resistente para usuarios de hasta 50kg de masa.
- Ser liviano.
- Contemplado para una larga vida de uso.
- Contener los dispositivos eléctricos, mecánicos y de control.
- Soportar cargas estáticas y dinámicas.
- Disipar el efecto de las vibraciones.

2.2.2 Carcasa.

El diseño conceptual de la carcasa pretende ser un modelo nuevo e innovador. Al tener definida la estructura tubular, se diseñó una configuración de la carcasa capaz de cubrir la estructura en su totalidad.

Los requerimientos y características principales con las que cumple el diseño son:

- Visualmente atractivo para el usuario.
- Soportar cargas estáticas, de abuso y durabilidad.
- Debe tener la mínima masa posible.
- Aislar ruidos estructurales y electromotrices provenientes del interior.
- Mantener cubiertos y aislados a los componentes internos.
- Fácil de limpiar.

2.2.3 Asiento.

La selección del asiento es de trascendental importancia para brindar la comodidad y requerimientos que el usuario necesita.

Las características que debe cumplir son:

- Poseer una forma anatómica que respete las formas antropométricas del usuario.
- No ser resbaladizo dado que propiciaría la sensación de inestabilidad.
- Poseer una tela que sea confortable al usuario.
- Debe ser acolchado, impermeable y libre de agentes tóxicos.
- Agradable al tacto y contacto corporal.

2.2.4 Respaldo.

El respaldo tiene la función de dar a la espalda un soporte adecuado para descargar y distribuir el peso. Para este diseño se optó por seguir el camino de la ergonomía actual, con lo cual se decidió tomar la forma correcta de la columna vertebral. En el caso de tareas generales el respaldo debe tomar la zona lumbar y dorsal, pero en el caso donde el usuario ubique la visión por encima de la horizontal, el respaldo debe proteger la zona lumbar, dorsal y cervical.

Las características que debe cumplir:

- Brindar un soporte adecuado a la espalda.
- El respaldo va con respecto a la horizontal a de 93 a 97°.
- Poseer un material de contacto que permita la transferencia de calor.
- Interacción mecánica con el asiento.
- Poseer cambios de posición tanto para el frente como para la parte posterior.
- Debe ser acolchado, impermeable y libre de agentes tóxicos.
- Agradable a la vista y contacto corporal.

2.2.5 Descansabrazo (Módulo de control).

Diseñado para montar los dispositivos de control de la silla de ruedas. Lo ideal sería que estuviese fabricado de poliuretano inyectado con terminación tipo cuero, cuyo material es a su vez resistente a los cortes y desgastes. Las distancias y alturas están establecidas específicamente para el usuario final con lo cual se minimiza la fatiga que pudiese provocar.

Los requerimientos que debe cumplir son:

- Fácil acceso y manipulación de los dispositivos de control (botones e interruptores).
- Dimensiones adecuadas para la portabilidad.
- Resistente a impactos, desgaste y manipulación.

2.3 Especificaciones.

Dentro de las especificaciones más destacadas y relevantes que se siguieron en la toma de decisiones para el desarrollo del diseño se encuentran las correspondientes a las dimensiones generales con las cuales el prototipo debería cumplir para no perder la funcionalidad y la portabilidad. Así como algunas de las medidas antropométricas más relevantes que el usuario final posee y permitirían realizar un diseño personalizado.

Prototipo	Largo (cm)	Ancho (cm)	Altura (cm)
Estructura	78	58	45
	Largo (cm)	Ancho (cm)	Grosor (cm)
Asiento	32	38	3
Respaldo	60	Max. 37 Min. 23	3.5

Tabla 1. Especificaciones de la silla de ruedas eléctrica modular.

Usuario	Medidas Corporales (cm)
Largo de extremidad derecha	24
Largo extremidad izquierda	22
Rango de alcance entre extremidad derecha e izquierda	61.5
Distancia entre asiento y cabeza	70
Distancia entre asiento y hombros	47
Anchura de la espalda	32

Tabla 2. Especificaciones del usuario final.

2.4 Propuesta del diseño conceptual.

El proceso de desarrollo comienza con la identificación del problema a resolver. En este caso se pretende que el usuario final sea lo más autónomo posible, empleando con toda seguridad el modelo de diseño desarrollado a su talla. Una vez determinado el problema a resolver se inicia el proceso de diseño partiendo de una lluvia de ideas, hasta concluir con las restricciones.

Siguiendo de cerca la metodología del Ciclo de vida de un Producto al igual que los procesos de la metodología TRIZ, el desarrollo de la propuesta de la silla de ruedas eléctrica modular partió de un dibujo preliminar, en el cual se plasman a grandes rasgos las características, dimensiones y funciones a ejecutar sin restricción alguna; es decir se pretende un diseño innovador en primera instancia. Durante esta fase, todas las ideas y conceptos planteados son válidos y pretenden generar un diseño que abarque la mayor cantidad de requerimientos.

2.4.1 Diseños preliminares.

Como parte del diseño final, se estableció una lluvia de ideas en las que se involucraran cada uno de los requerimientos planteados. En esta fase del diseño, se pretendió esquematizar el funcionamiento de la silla de ruedas eléctrica modular basándonos en modelos existentes en el mercado.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

Para fines prácticos el diseño se enfoca en estructuras en las cuales se lograra el anclaje y desanclaje de las ruedas de tracción similares a las de una bicicleta convencional (Figura 9). Así como también se estimó la posibilidad de incorporar ruedas de tracción con cámara y una superficie de contacto mayor (Figura 10).

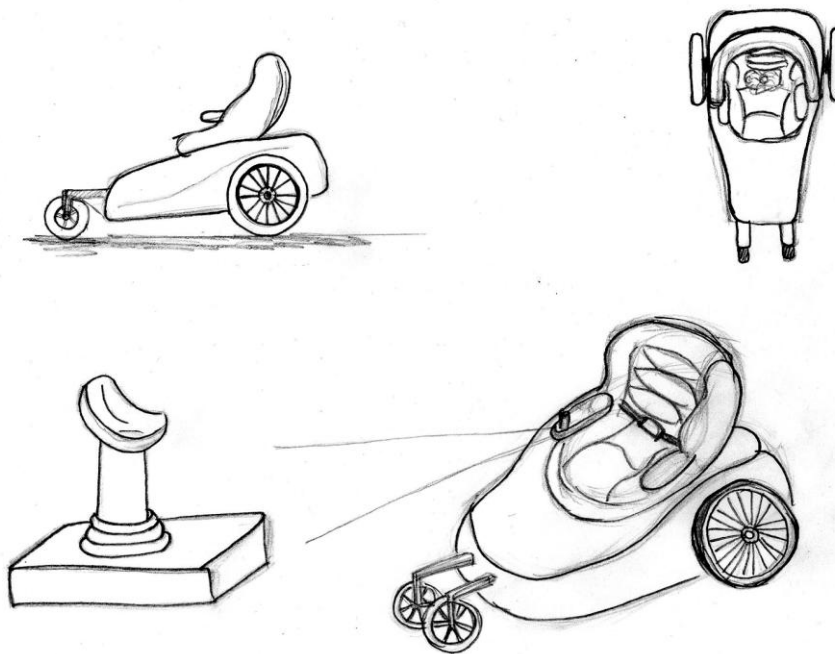


Figura 9. Diseño basado en una estructura tipo comercial con dos pares de ruedas de bicicleta.

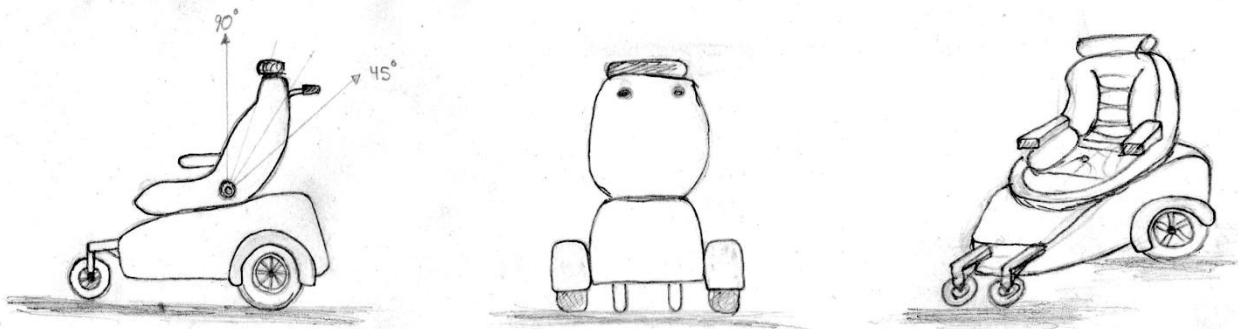


Figura 10. Diseño basado en estructura tipo automóvil con dos pares de llantas con cámara para sillas de ruedas eléctricas.

Basándose en el diseño de sillas de ruedas manuales convencionales, se pretende esquematizar la silla de ruedas eléctrica con una estructura semejante a dichas sillas pero

adaptando y modificando ruedas y accesorios al de tipo deportivas, como lo muestra la figura 11.

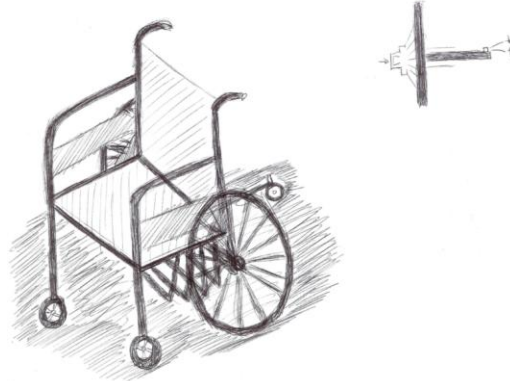


Figura 11. Estructura de silla de ruedas convencional con soporte posterior, llantas desmontables y respaldo abatible.

La Figura 12, contempla la idea de retomar un diseño existente en las sillas de ruedas eléctricas de tres pares de ruedas existentes en el mercado actualmente, bajo las características de inclinación del respaldo y un asiento semiesférico.

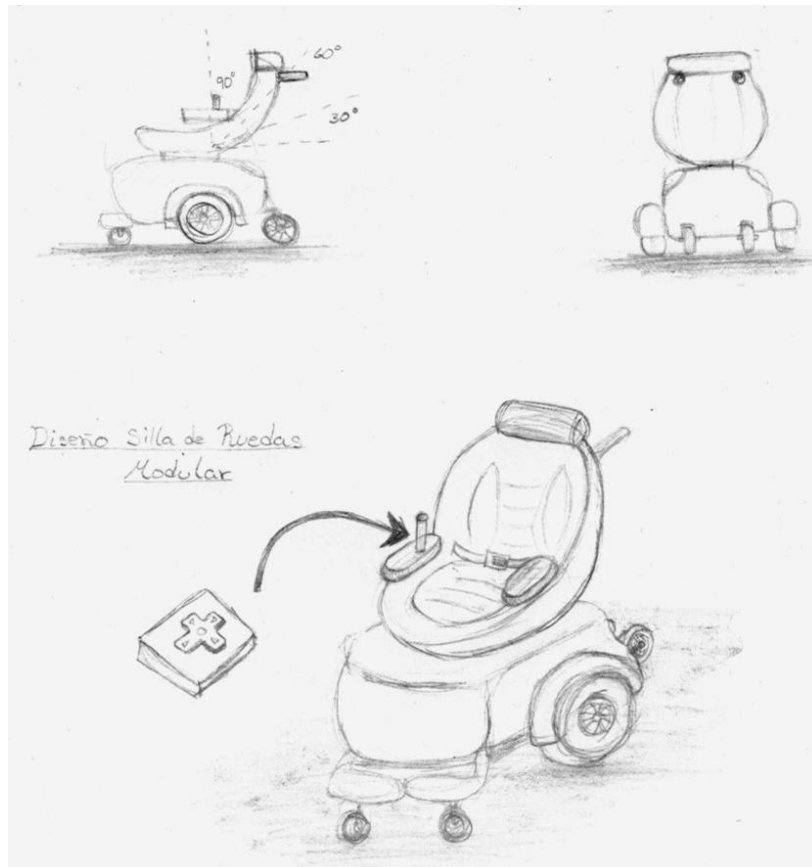


Figura 12. Diseño preliminar basado en sillas de ruedas eléctricas existentes con tres pares de ruedas.

2.4.2 Diseños conceptuales estructurales y de anclaje.

Para el diseño estructural, en este punto del desarrollo, se tiene contemplada la distribución de los dispositivos electrónicos y mecánicos que interactuarían para el correcto funcionamiento de la silla de ruedas.

Se plantea una estructura trapezoidal tubular con piso proveniente de una placa, con el fin de reducir el material a implementar en la fabricación, en el cual el asiento del usuario está sujeto a un dispositivo de anclaje que a su vez, se desplazaría a lo largo de la estructura mediante el uso de correderas. Esta propuesta fue pensada teniendo en mente que el usuario abordaría al asiento por la parte frontal de la estructura, y al desplazar el dispositivo de anclaje al punto más alto, el gato eléctrico permitiría la regulación de la altura del asiento. El mecanismo de inmovilización del dispositivo de anclaje recaía en unos ganchos colocados a los costados capaces de ingresar (rotando ligeramente el dispositivo de anclaje) en orificios establecidos en la cara superior de la corredera (Figura 13).

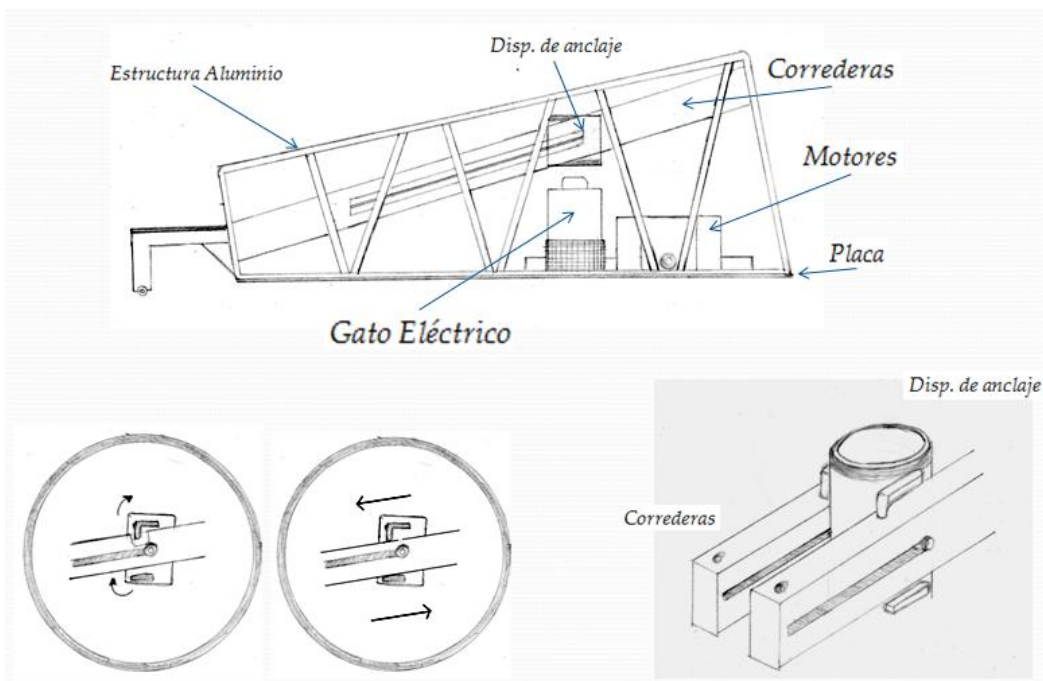


Figura 13. Estructura y anclaje de la propuesta "Corredera".

Un segundo concepto estructural se presenta en la siguiente imagen, en la cual se esquematiza una estructura trapezoidal tubular con piso de lámina, pero con la diferencia de que no cuenta con un dispositivo de anclaje que se desplace longitudinalmente. El anclaje se lleva a cabo mediante un segmento tubular fijo y anclado a la base de la estructura en el cual el asiento del usuario embona.

La Figura 14 también muestra un esquema del concepto del asiento. En este concepto se pretende que posea soportes laterales para el tronco del usuario final, y descansabrazos ajustables en los cuales se coloquen los mandos de control que para este diseño se pretende que pueda ser manipulado mediante un *joystick* o botones. El asiento posee una cubierta acojinada y el respaldo es capaz de inclinarse mediante un mecanismo manipulado por una perilla.

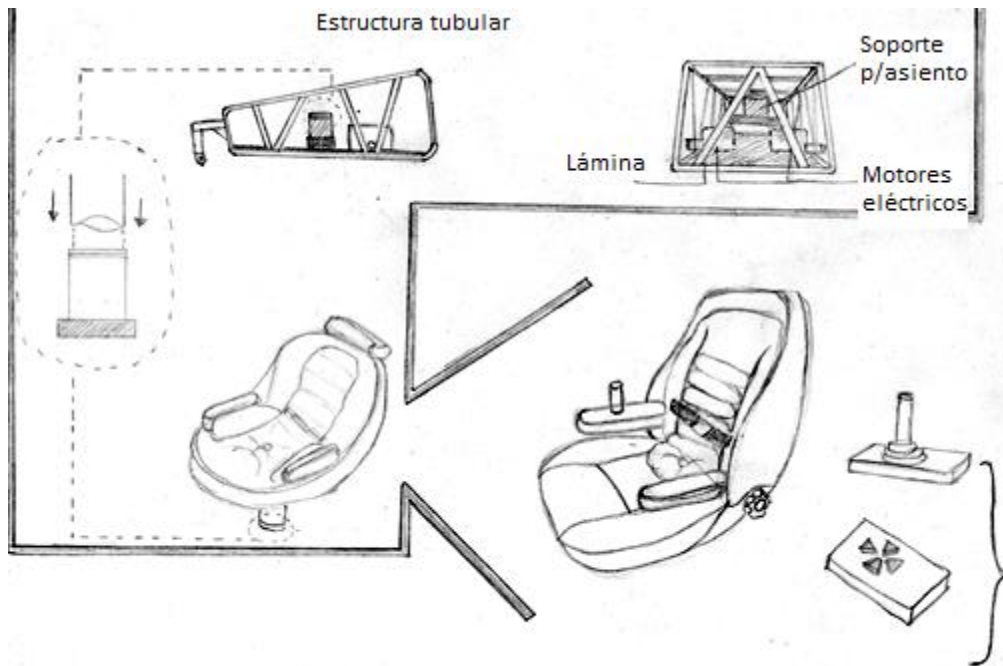
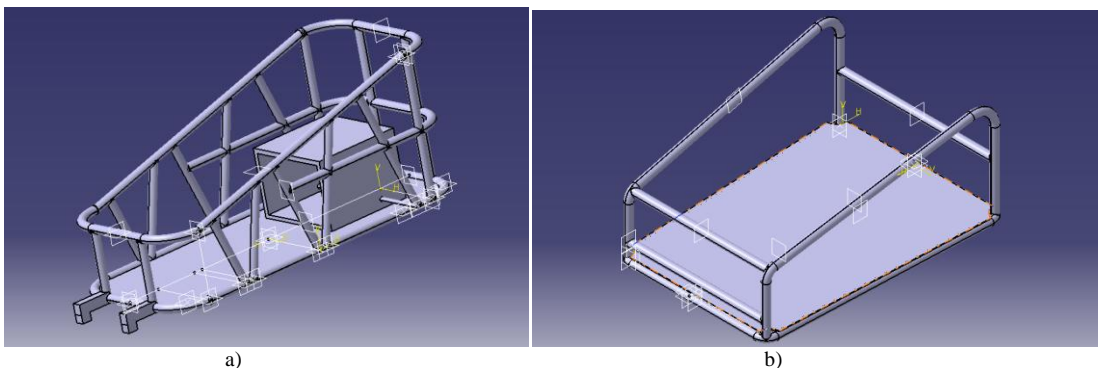


Figura 14. Anclaje mediante el uso de dos secciones tubulares sujetas al asiento y la base respectivamente.

La evolución del diseño se puede visualizar en la figura 15 a) y b), lo que representa el cambio significativo de éste desde las primeras ideas conceptuales hasta las casi definitivas.



a) b)
Figura 15. Evolución en el diseño. a) Propuesta inicial b) Propuesta preliminar.

2.4.3 Mecanismos del respaldo para uso automatizado.

Como parte del desarrollo del mecanismo de ajuste de inclinación del respaldo, la figura 16 nos muestra la propuesta denominada “engrane” mediante la cual los grados de inclinación del respaldo respecto al asiento, varía mediante el uso de un par de engranes acoplados a un tornillo sin fin colocado horizontalmente y en su segmento frontal acoplado a un juego de engranes helicoidales. Mediante la rotación de una palanca de control ubicada a un costado del asiento, el usuario podría manipular libremente la inclinación del respaldo.

En la propuesta “polea”, la inclinación se determina al ajustar la longitud de una cinta mediante el empleo de una palanca que se recoge en un carrete instalado en la parte inferior del asiento. La cinta ajustable esta sujeta a un soporte estructural colocada en el respaldo

En la parte inferior derecha de la figura 16, se visualiza un prototipo de descansabrazo que regula la altura de dicha superficie por medio de un tubo interno y otro externo. El tubo externo que funciona como guía y sección de anclaje, se encuentra sujeta al asiento y el tubo interno es el que asciende y desciende al rotarlo.

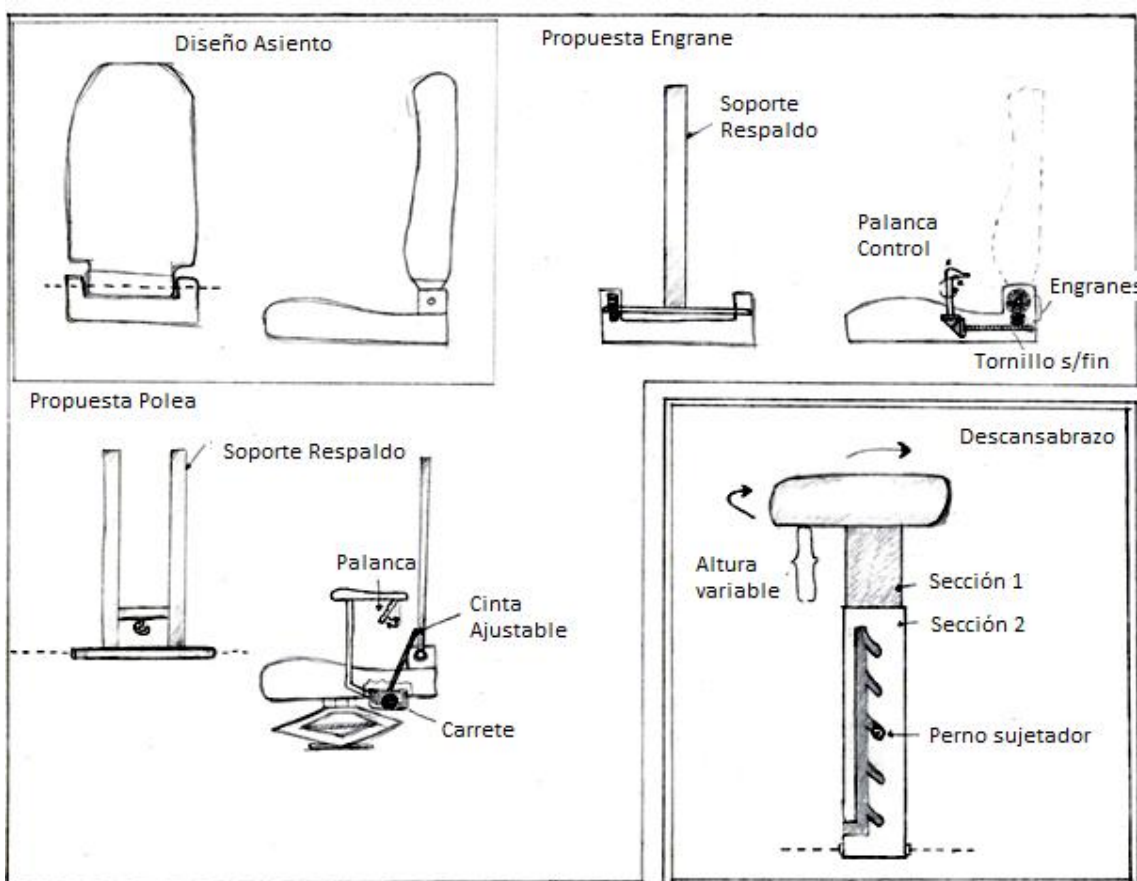


Figura 16. Propuestas mecánicas del respaldo reclinable y descansabrazo ajustable.

Una vez realizada esta lluvia de ideas, se genera un concepto físico el cual pretende ser de gran utilidad para la visualización efectiva. La visualización llevada a cabo emplea modelos de diversas estructuras y mecanismos con ejecuciones a escala 1:4.

2.5 Modelos a escala.

Como parte del proceso conceptual de diseño, al contemplar características y requerimientos precisos del usuario final, se opta por realizar distintas propuestas físicas que permitiesen contemplar de una forma “real” y concisa dichas características y dimensiones. El camino a seguir es mediante el planteamiento de los modelos estructurales a escala 1:4.

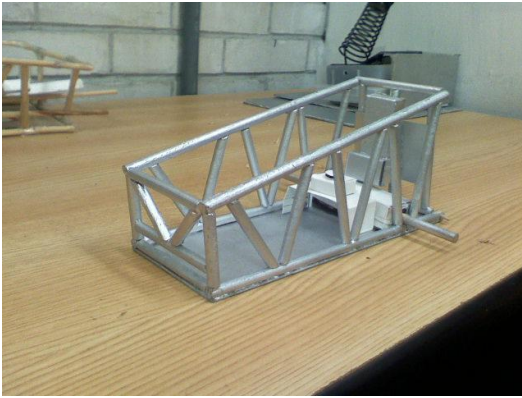
Con estos modelos, se pretende visualizar el espacio real y dimensional de la estructura, así como el mecanismo de ingreso y descenso que mejor se acople a los requerimientos del usuario.

La elaboración de los modelos a escala están basados en los diseños estructurales plasmados a partir de los bosquejos iniciales y los empleados en el Diseño Asistido por Computadora. Los modelos están fabricados con secciones cilíndricas de madera y hojas delgadas de cartón, respetando las dimensiones generales originales así como la distribución de los dispositivos reales.

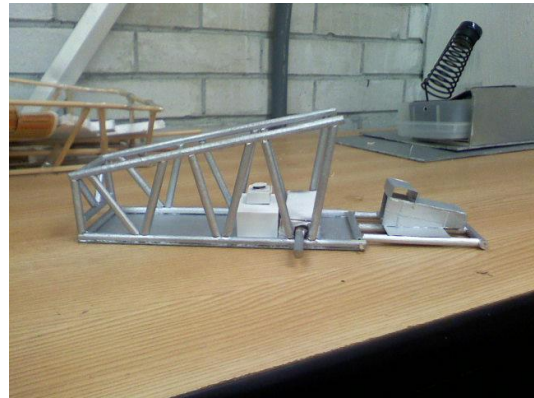
2.5.1 “Escalón”.

Este concepto contempla un diseño estructural tubular con cuatro marcos en la sección inferior y tres en la sección superior (Figura 17). Los refuerzos laterales y frontales son mediante el empleo de secciones rectas en forma de “v” que, dado el ángulo de inclinación entre los segmentos inferior y superior, son de mayor longitud con forme se acerca a la parte trasera de la estructura. El fondo de la estructura esta reforzado con un segmento cruzado tubular, en el cual, se apoya una placa solida de aluminio.

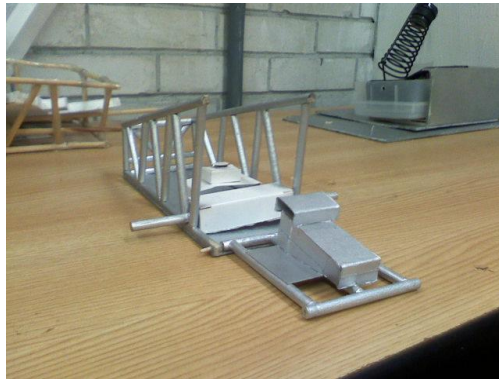
En la parte posterior de la estructura se encuentra el sistema de ingreso y descenso. Este sistema consiste en un segmento rectangular anclado en la parte inferior, el cual permite que sea abatible hacia la parte inferior. Anclado a este segmento posterior, se encuentra un par de escalones ascendentes capaces de soportar sobre de ellos el peso del usuario; al abatir este segmento de la estructura, permite el ingreso del usuario y su traslado hasta el asiento. El proceso se realiza por el usuario final empleando un juego de cables y poleas.



a)



b)



c)

Figura 17. a) Propuesta de estructura con escala 1:4 con la parte de atrás cerrada.
b) Vista lateral con parte trasera abierta mostrando los escalones.
c) Vista isométrica con la parte trasera abierta.

2.5.2 Propuesta “Rampa”.

Este concepto contempla un diseño estructural tubular con cuatro marcos en la sección inferior y cuatro en la sección superior (Figura 18). Los refuerzos laterales y frontales son mediante el empleo de secciones rectas en forma de “v” que, dado el ángulo de inclinación entre los segmentos inferior y superior, son de mayor longitud con forme se acerca a la parte trasera de la estructura. El fondo de la estructura esta reforzado con un segmento cruzado tubular, en el cual, se apoya una placa solida de aluminio.

Para esta propuesta, el mecanismo de ascenso y descenso a la silla se encuentra en la parte posterior de la estructura. Consiste en una rampa abatible que entra y sale de la estructura mediante el empleo de correderas. El usuario realiza la totalidad del trabajo ya que de él depende deslizar hacia la parte exterior la rampa y una vez terminado el proceso de ascenso y/o descenso regresarla a su posición original.

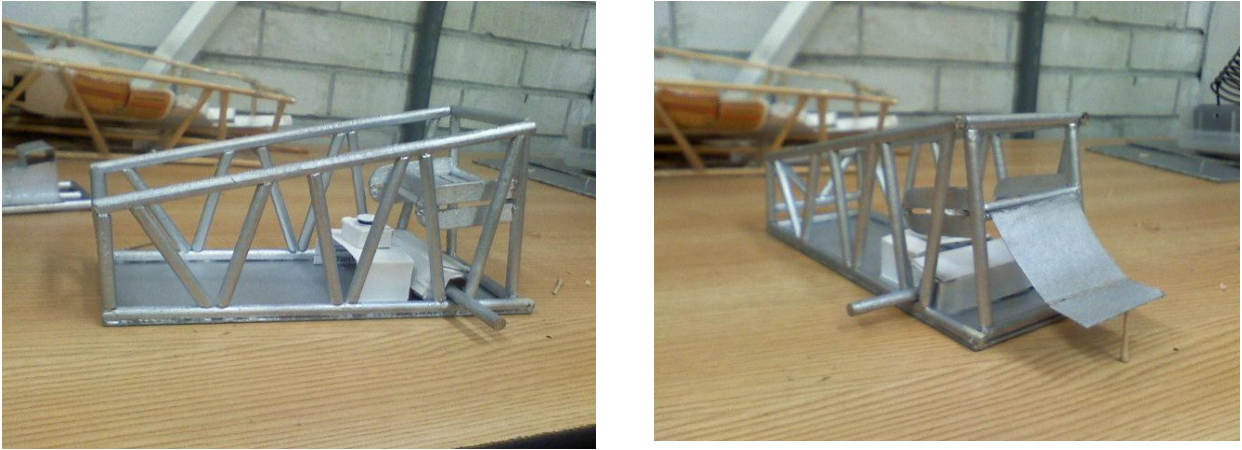


Figura 18. Propuesta de estructura con rampa desplegable en la parte trasera

2.5.3 Propuesta “Corredera”.

La propuesta vislumbra un diseño estructural tubular con cuatro marcos en la sección inferior y cuatro en la sección superior (Figura 18 a) y b)). Los refuerzos laterales y frontales son mediante el empleo de secciones rectas en forma de “v” que, dado el ángulo de inclinación entre los segmentos inferior y superior, son de mayor longitud con forme se acerca a la parte trasera de la estructura. El fondo de la estructura esta reforzado con tres segmentos cruzados tubulares, en los cuales, se apoya una placa solida de aluminio.

El mecanismo de ascenso y descenso al asiento de la silla de ruedas modular, está diseñada mediante el empleo de correderas que van desde la parte frontal hasta la parte trasera de la estructura. Este dispositivo permite una inclinación prolongada en la parte frontal, que cumple con el objetivo de reducir la distancia entre el nivel del suelo y el asiento; permitiendo que al usuario se le facilite la incorporación al asiento. Al establecer esta posición, el usuario pretende trasladarse al otro extremo empleando un juego de poleas y cables que al enrollarse permiten el funcionamiento del mecanismo.



a)



b)

Figura 18. a) Propuesta de estructura con llantas de escala 1:4.
b) Comparación de dimensiones de la silla entre modelo a escala 1:4 y 1:1.

2.6 Selección del diseño.

Continuando con la fase de diseño, es necesario abarcar todos y cada uno de los requerimientos otorgados por el cliente y/o usuario final. En este proyecto se plantean algunos puntos a cubrir como: materiales, dimensiones, masa, resistencia, durabilidad y criterios ergonómicos. También se analizan y estudian modelos de sillas de ruedas eléctricas ya existentes en el mercado, empleando otras características y requerimientos pero cumpliendo con el objetivo del diseño en común; para esta instancia, el diseño recae en un esquema que abarque cualidades funcionales existentes y no tanto innovadoras.

El diseño final emerge de una innumerable cantidad de bocetos y diseños preliminares que permiten destacar fortalezas y debilidades que continuamente son generadas y modificadas. Con esto se pretende disminuir al máximo las debilidades y cubrir en mayor parte con los requerimientos del usuario.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

Carta morfológica.

Sistema de cambio de altura del asiento con gato hidráulico	DESCRIPCIÓN	Control para desplazamiento a través de joystick	DESCRIPCIÓN	Estructura tubular de sección redonda.	DESCRIPCIÓN
	El asiento es elevado a través de un gato hidráulico el cual el paciente tiene que accionar con una palanca.		El sistema de dirección del desplazamiento es controlado a través de un joystick		Estructura formada por tubos de sección redonda.
	VENTAJAS		VENTAJAS		VENTAJAS
	No necesita energía eléctrica para ser accionado.		Permite la combinación de direcciones con una sola acción		Proporciona una alta rigidez.
	DESVENTAJA		DESVENTAJAS		DESVENTAJAS
	El diseño del sistema de accionamiento del gato hidráulico requiere mucho tiempo.		Dada la condición del paciente, es posible que al usar el joystick tenga un menor control y pueda soltarlo sin tener esa intención.		Es más cara que la de sección rectangular y más difícil de soldar.
Sistema de elevación del asiento con gato mecánico.	DESCRIPCIÓN	Control para desplazamiento a través de botones.	DESCRIPCIÓN	Estructura tubular de sección rectangular.	DESCRIPCIÓN.
	El asiento es elevado a través de un gato mecánico el cual el paciente tiene que accionar con una palanca.		El sistema de dirección del desplazamiento es controlado a través de botones.		Es una estructura tubular de sección rectangular.
	VENTAJAS		VENTAJAS		VENTAJAS
	Es fácil de conseguir y más barato.		El paciente esta familiarizado con el uso de botones pequeños		De menor precio y más sencilla de soldar.
	DESVENTAJAS		DESVENTAJAS		DESVENTAJAS
	Es más complicado para el usuario mover el mecanismo sin que este ocupe relaciones de engranes o momentos muy grandes, lo que conlleva a generar un sistema muy grande y complicado		Sólo puede apretar un botón a la vez, lo que le restringe hacer movimientos combinados		Ofrece una menor resistencia estructural debido a que en las esquinas tiene puntos críticos de concentración de cargas.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

Sistema de elevación del asiento con gato eléctrico.	DESCRIPCIÓN						
	El asiento es elevado a través de un gato eléctrico el cual el paciente tiene que accionar con una palanca.						
	VENTAJAS						
	El mecanismo permite que el paciente accione el sistema de manera sencilla a través de un botón y no ocupa mucho espacio						
	DESVENTAJAS						
	El sistema requiere forzosamente de una batería para poder ser accionado, lo que agrega más peso a la silla de ruedas.						

Elementos que se utilizarán en el diseño final.
Sistema de ingreso al asiento por medio del respaldo usándolo como rampa, accionado por motor con un sistema de engrane y tornillo sinfín.
Sistema de elevación del asiento con gato eléctrico.
Control para desplazamiento a través de botones.
Estructura tubular de sección redonda.

Tabla3. Correspondiente a la carta morfológica con la cual se llevó a cabo la selección de sistemas y dispositivos.

2.6.1 Materiales.

Al momento de construir una estructura, los materiales que se deben escoger tienen que cumplir con ciertas propiedades físicas que permitan que dicha estructura pueda cumplir su función de la mejor manera posible.

2.6.1.1 Aluminio.

⁵Aluminio. El aluminio es un metal que tiene como principales características un bajo peso, buena resistencia a la corrosión, y una conductividad tanto térmica como eléctrica muy elevada. Este material, en distintas aleaciones, se utiliza en muchas industrias como la aeronáutica, la espacial, la química, la automotriz, etc. (Tabla 4).

Propiedades	Valor
Color	Blanco-plata
Estructura cristalográfica	Cúbica centrada en las caras
Parámetro reticular a 20 C	0.40414 nm
Densidad a 20 C	2.699 g/cc
Cambio volumétrico durante la solidificación	6.7%
Calor de combustión	200Kcal/at-gr
Punto de fusión	660.2 C
Punto de ebullición	2057 C/2480 C
Calor específico 20 C	930 J
Coefficiente lineal de Expansión térmico X 10 ₋₆	23.0 (20-100 C)
Conductividad térmica a 0 C	0.50 cal/s/cm ₂ /cm/C
Conductividad térmica a 100C	0.51 cal/s/cm ₂ /cm/C
Resistividad eléctrica a 20 C	2.69 microohms/cm
Susceptibilidad magnética 18 C X 10 ₋₆	0.63

⁹Tabla 4. Propiedades físicas del Aluminio.

Una de las principales propiedades mecánicas del aluminio es que tiene una baja resistencia mecánica, por lo que a sus aleaciones se le trata de manera térmica o con forja para mejorar esta propiedad. De igual manera, dependiendo del grado de impureza del aluminio, cambiarán sus propiedades mecánicas (Tabla 5).

Propiedades	Valor
Módulo de elasticidad 99.99%	64200 N/mm ²
Módulo de elasticidad 99.950%	69000 N/mm ²
Módulo de rigidez	17000 N/mm ²
Coefficiente de Poisson	0.32-0.36

⁹Tabla 5. Propiedades mecánicas del Aluminio.

⁵ http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/321/mi_1229.pdf?seq

⁹ *Manual del aluminio Volumen II, W. Hufnagel, Editorial Revertè*

2.6.1.2 Nylamid

¹⁰El Nylamid es un polímero de alta resistencia mecánica el cual se usa hoy en día en diversas aplicaciones, logrando sustituir en muchos casos al acero, gracias a su propiedades de polímero como son mayor ligereza, resistencia a la oxidación, gran maleabilidad, y en su caso, gran resistencia térmica y al desgaste (Tabla 6).

Sus propiedades son las siguientes:

PROPIEDADES	NORMA ASTM	UNIDADES	Nylamid "M"	Nylamid "6"	Nylamid "XL"	"TS"	"SL"
Densidad	D792	Gr/cm ³	1.14	1.15-1.16	1.14	1.11	1.14
Dureza Shore-D			80-82	82-84	80-85	74-77	80-82
Absorción de Agua en 24 Hrs.	D570	%	0.60	0.8-1.4	0.5-1		0.60
Temperatura de servicio	D648	C	100	120	110		100
Resistencia a la tensión	D638	Kg/cm ²	720	840-980	810-914	475	720
Resistencia a la Compresión	D695	Kg/cm ²	850	1073	670-810	500	850
Resistencia al Aplastamiento		Kg/cm ²	680	858	850		680
Resistencia a la flexión	D790	Kg/cm ²	1200	1050-1100	770-1270	110	1200
Resistencia a la torsión		Kg/cm ²	530	662			530
Resistencia al impacto	E186	Kg/cm ²	8.0	5.4	11.8		8.0
Elongación	D638	%	15-30	42	40	7	15-30
Módulo de elasticidad	D638	Kg/cm ²	24000		21093-28024	275	24000
COEFICIENTE DE FRICCIÓN							
Estático					0.14-0.15		0.3-0.4
Dinámico							0.15-0.3

¹¹Tabla 6. Propiedades físicas y mecánicas del Nylamid.

2.6.2 Tipos de unión del aluminio.

⁵Todos los procesos de unión de los metales son aplicables al aluminio. Cada método se utiliza según la aplicación que se le va a dar al material y el costo que este conlleva.

- Soldadura por fusión: El aluminio y sus aleaciones pueden unirse fundamentalmente mediante procesos de fusión. La diferencia en la capacidad de unión depende de cada aleación.

⁵ http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/321/mi_1229.pdf?sequence=1

¹⁰ http://www.midsa.com.mx/tablas/prop_nylon.htm

¹¹ <http://www.tecniaceros.com/productos7.htm>

- Soldadura por presión: Esta consiste en soldar las piezas a unir por medio de presión. El calentamiento limitado local posibilita o facilita el proceso de soldadura. Por lo general no se requieren materiales de aportación para la soldadura.
- Soldadura heterogénea: Esta sirve para unir materiales metálicos con ayuda de un metal de adición fundido (aportación) cuya temperatura de fusión de halla bastante por debajo de la de los materiales fundamentales. En el proceso deben ser mojadas las superficies de contacto de los materiales base, por la aportación líquida, sin llegar a fundirlos. Por difusión de los componentes de la soldadura, cuando la acción del calor dure largo tiempo, puede producirse una fusión del material a unir.
- Pegado: El pegado del aluminio con otros metales o no metales se prepara la unión mediante una capa delgada de material adhesivo. Los pegamentos idóneos para el aluminio son, generalmente, plásticos líquidos que se adhieren mediante la acción del calor o a la temperatura ambiente mediante endurecedores químicos o por reacción con la superficie de las piezas. La solidez de la unión así obtenida resulta de la resistencia de la unión entere el pegamento y el material a pegar y de la resistencia mecánica del pegamento. Teniendo en cuenta que la resistencia de la capa de pegamento es menor que la resistencia de los metales, la superficie de unión debe ser suficientemente grande. Se debe observar, sin embargo, que la unión por pegado debe efectuarse de tal manera que las fuerzas portantes solamente actúen en la dirección de los planos de pegado.
- Roblonado: Como consecuencia del desarrollo de otros procedimientos de unión y del uso creciente de la técnica del pegamento de metales para las uniones sometidas a sollicitación, ha perdido enormemente en importancia el remachado, incluso para la unión de piezas de aleación de aluminio altamente resistente. En los modernos procedimientos de remachado rápido y remaches de macho en lugar del “clásico” remache macizo con cabeza y caña ha comenzado a utilizarse un elemento de unión, en su mayoría, formado por dos partes, mediante el cual se puede conseguir la unión con más rapidez, seguridad y menos necesidades y exigencias en cuanto a la habilidad del que la realiza. La fabricación de uniones remachadas en piezas de aluminio se realiza conforme a las prácticas habituales en el trabajo de metales. Debido al menor juego necesario de remaches, para los remaches de aluminio obtenidos por percusión en frío se prefiere, en general, taladrar los orificios de los remaches. Con objeto de disminuir el peligro del arrancamiento de las cabezas del remache cuando se halla sometido a cargas oscilantes, se ejecuta, la mayoría de veces, un “pequeño avellanamiento”; consistente en redondear los extremos del taladro con un radio de 0.05 veces el diámetro del remache. El juego recomendado del remache alcanza aproximadamente de 0.02 hasta 0.025 veces el valor del diámetro del remache, a lo sumo, 0.4mm. En las uniones remachadas en construcciones portantes se requiere la mayoría de las veces tomar medidas para la protección contra la corrosión que, esencialmente, suponen la impermeabilización

de los huecos que se originan como consecuencia del solape. Para este fin es suficiente, en la mayoría de los casos, la aplicación de una capa de pintura.

- Tornillos: En general, las uniones que se utilizan en aluminio son uniones que se han de soltar con frecuencia u ocasionalmente; pero también existen problemas de montaje u otros puntos de vista técnicos o económicos que pueden ser decisivos para elegir una unión por tornillos. Para la elección del material de los tornillos se debe tener en cuenta, junto a la resistencia y estabilidad (especialmente cuando se trate de un gran dominio de temperatura de funcionamiento), también los coeficientes de dilatación térmica de los materiales de los tornillos. En el caso de que se desee lograr un elevado aprovechamiento de la resistencia del material de los tornillos, deben preferirse tornillos con rosca laminadas. Cuando se trate de uniones atornilladas en construcciones de aluminio en que preponderen las exigencias anticorrosivas y aquéllas que no se pinten, se recomienda la colocación de los tornillos con parta impermeabilizante a fin de que pueda evitar la corrosión por grietas o hendiduras.

2.7 Prototipo final.

Teniendo ya concretadas las ideas y conceptos finales, deriva el diseño en 3D empleando el software CAD (Catia® V) así como la realización del análisis estructural de la pieza con su módulo de métodos de elemento finito (FEM) del software. Continuando con los métodos de diseño, la realización de un prototipo rápido con el cual se visualiza de una forma física y real las características y dimensiones de la pieza no fue aplicable para este caso.

Módulo de Diseño Asistido por Computadora (CAD).

En esta fase de la silla de ruedas eléctrica, se tienen definidos todos los requerimientos y características que debe cumplir el diseño de la pieza. Empleando el software Catia® V en su ambiente de trabajo *MechanicalDesing* y el módulo de trabajo *PartDesing*, se genera la geometría definitiva de la estructura. El objetivo de este diseño es construir un modelo virtual del objeto para verificar restricciones y propiedades geométricas en milímetros (véase figura 19).

En esta fase del diseño se reconfiguro en un par de ocasiones el modelo, ya que algunos requerimientos y restricciones se fueron modificando con el paso del tiempo y en función de los instrumentos establecidos en el taller de trabajo.

Una vez establecido el modelo de la estructura, se pretendió realizar de igual forma todos y cada uno de los dispositivos eléctricos y mecánicos que se emplearían dentro de la estructura; con el fin de aprovechar al máximo el espacio disponible en la base de la estructura.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

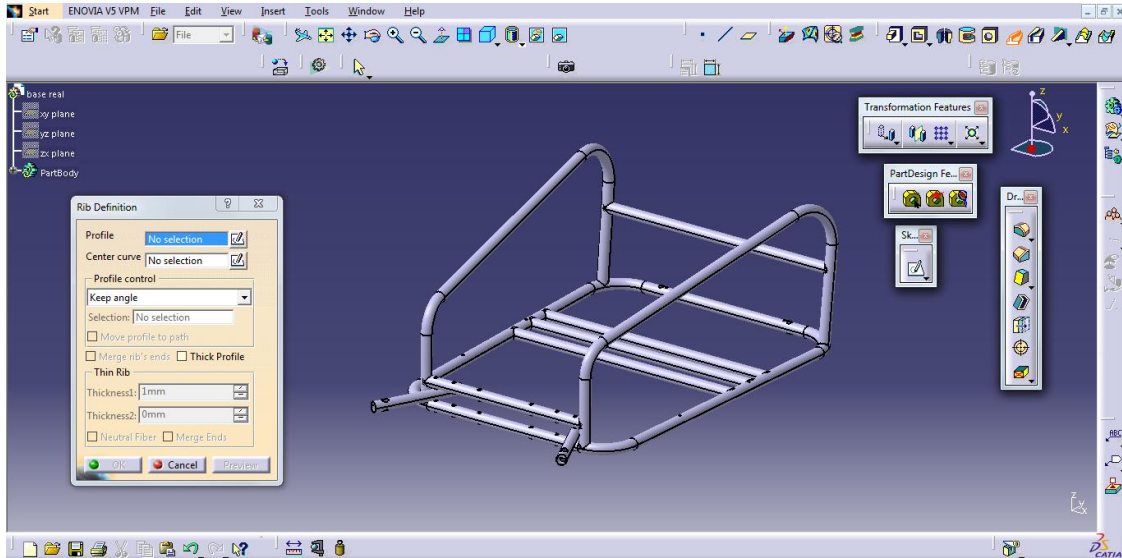


Figura 19. CAD de la estructura final.

Obtenido el diseño final y comprobando su factibilidad, se diseñó la carcasa en dicho módulo de trabajo del software con el cual se determinaron dimensiones y espacios a considerar.

Siguiendo con el ambiente de trabajo *MechanicalDesing*, se empleó el módulo *AssemblyDesing* con el cual se visualizaron y representaron todas las manipulaciones e interacciones que la silla de ruedas realizará de forma física, comprobando así la funcionalidad de forma digital (véase figura 20).

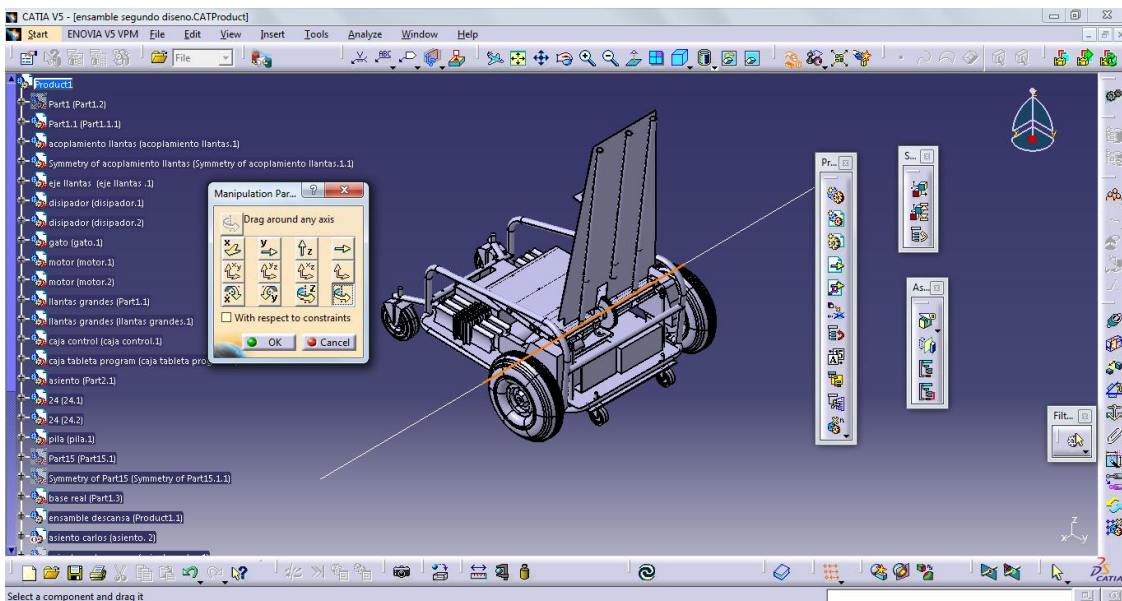


Figura 20. CAD de la silla de ruedas.

Módulo de Ingeniería Asistida por Computadora (CAE)

En esta fase del prototipo se realizaron análisis estructurales de la silla de ruedas bajo este criterio. En la parte del análisis estructural de elemento finito (FEM), se empleó el ambiente de trabajo denominado *Analysis&Simulation* de Catia® V con el módulo *Generative Part Structural Analysis* (GPS).

Una vez determinado el ambiente de trabajo, se decidió que los análisis aplicables a la estructura contemplan la distribución de cargas en los puntos de apoyo de la estructura. El primer análisis corresponde a la distribución de esfuerzos que recibe la estructura junto con el piso de lámina con una carga en la zona del usuario de 1000 N, con el empotramiento en los segmentos tubulares delanteros y el eje correspondiente a las llantas de tracción (Figura 21 a), se pretende representar el uso normal de la silla de ruedas. En el segundo análisis se representa el caso de uso en pendiente, por lo que se empotraron las llantas de soporte posteriores y el eje correspondiente a las llantas de tracción (véase figura 21 b). Un tercer análisis corresponde a la comparación entre la estructura con los tres tubos transversales de soporte y sin ellos (véase figura 22). Para finalizar esta parte del CAE, se llevó a cabo el análisis estructural del respaldo, con lo que se simula la carga aplicada por el usuario al momento de apoyarse sobre éste.

Para la realización de dichos análisis, se importó el CAD estructural al módulo (GPS). En este módulo se le asigna un material a la pieza, que en este caso fue uno lo más semejante al real de fabricación; el más aproximado que ofrece el programa es el aluminio, que posee un módulo de Young de: $7e10\text{N/m}^2$, Poisson: 0.346, Expansión térmica: $2.36e-005\text{Kdeg}$, Esfuerzo de fluencia: $9.5e+007\text{N}_m^2$ y una densidad de 2710Kg/m^3 .

Una vez asignado el material, se definen las zonas donde se aplicarán las cargas y las condiciones de frontera para cada caso. Se consideró una aceleración gravitacional de 9.81m/s^2 . Consecutivamente se asigna la malla de elementos finitos. Para nuestro análisis, se eligió una malla de 1.9mm. Cabe resaltar, que se realizaron análisis consecutivos aumentando el tamaño de la malla para corroborar que los resultados fueran consistentes.

Se corre el análisis estructural y los resultados de dicho análisis muestran la distribución de cargas a lo largo de las superficies estructurales, permitiendo visualizar las cargas máximas y mínimas en los segmentos estructurales. También, dentro de los resultados, se muestran los desplazamientos generados en el material a causa de las cargas. Esta información es examinada y comparada con el material a implementar físicamente, con lo cual se determina en gran parte la viabilidad del diseño.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

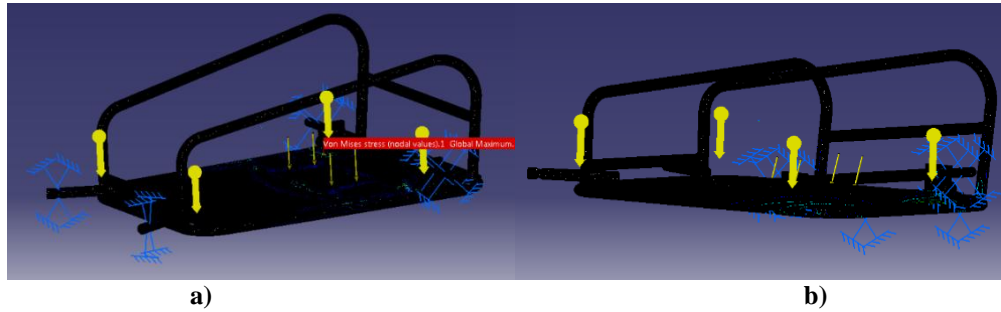


Figura 21. Empotramiento estructural.

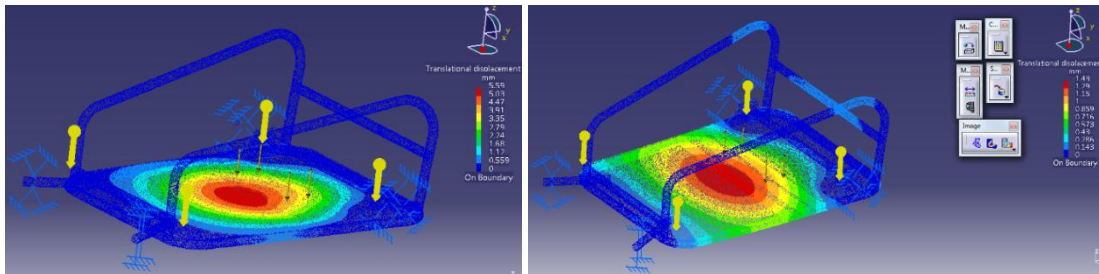
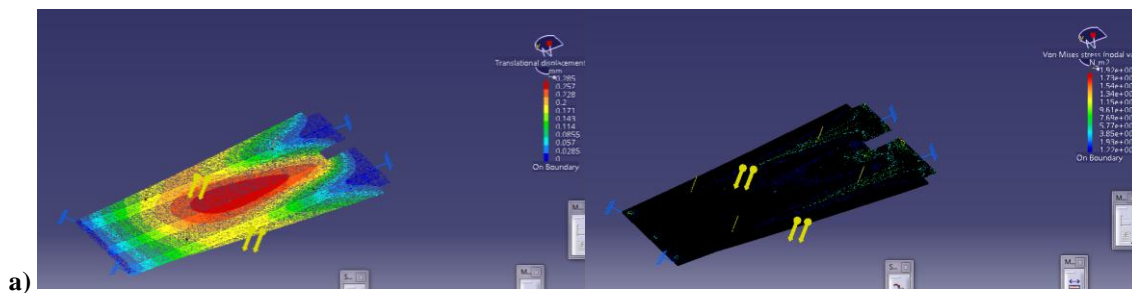


Figura 22. Comparación estructural sin y con refuerzo transversal.

Para la parte del análisis estructural del respaldo, se realizaron cuatro análisis por elemento finito. Dos para 300N y dos para 700N. Se realizó en 2 posiciones: la primera en posición de rampa y la segunda en posición de trabajo, o sea, simulando que el usuario se encuentra sentado en la silla de ruedas.

Los parámetros que se siguieron para el primer análisis son exactamente iguales a los empleados en la estructura salvo que la interacción de la fuerza aplicada de 300N en la vertical, actuaba con el respaldo que se posicionó a una inclinación de 30° sobre la horizontal (Figura 23 a)). Lo mismo se aplicó en el caso de 700N (Figura 23 b)).



Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

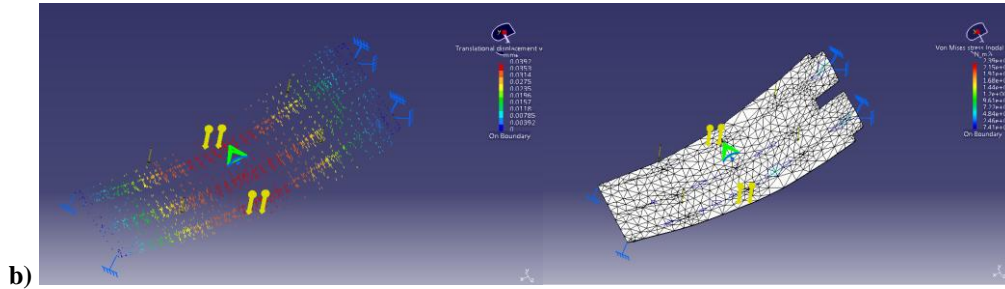


Figura 23. Análisis de elemento finito al respaldo en posición de rampa.

Para el segundo análisis del respaldo, se consideraron los siguientes parámetros: La posición del respaldo fue a 5° de la vertical, los empotramientos se pusieron en la parte baja de los tubos de los extremos donde se ensamblan con el eje de rotación y que la fuerza sobre la rampa fuese de 300N en vertical (Figura 24 a)). Lo mismo se aplicó en el caso de 700N (Figura 24 b)).

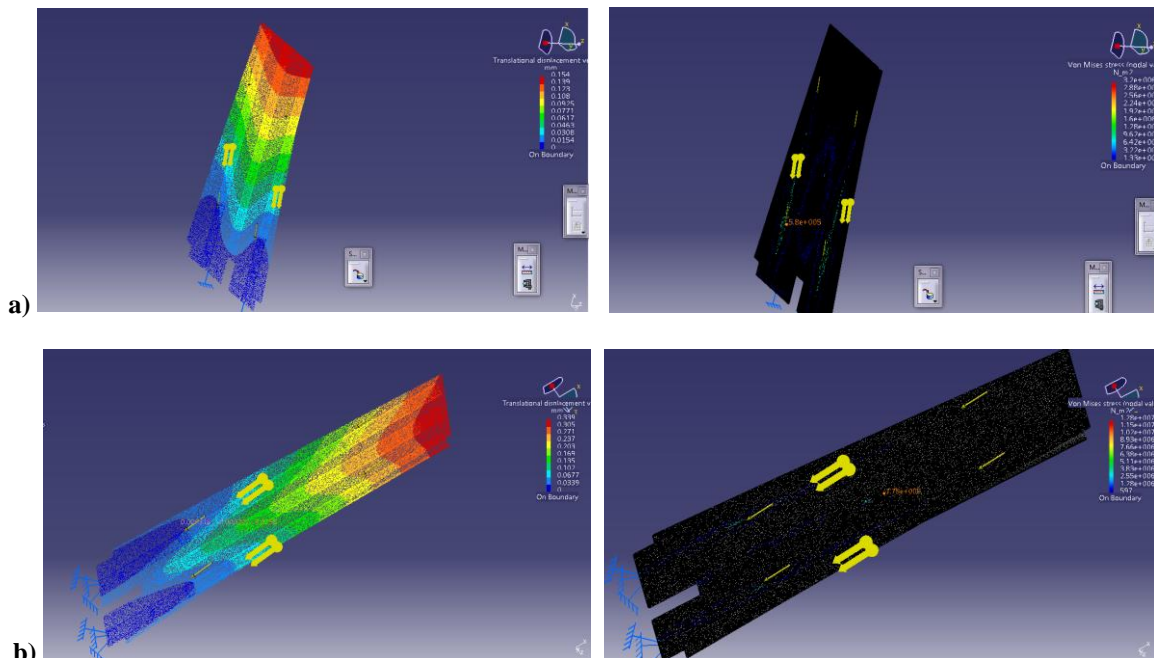


Figura 24. Análisis de elemento finito al respaldo en posición de rampa.

Una vez contempladas cada una de las características y requerimientos necesarios del usuario final, seguido del desarrollo implementado para el diseño de la silla de ruedas modular en segmentos y como un conjunto de piezas que interactúan entre sí, se llegó al concepto definitivo del cual se partiría para el proceso de fabricación, construcción y ensamble (véase la figura 25).

La silla de ruedas modular eléctrica representa la continuidad del diseño y seguridad brindada por la metodología llevada a cabo durante un largo periodo de tiempo. Este diseño conceptual fue elaborado con el propósito de brindarle al usuario la mayor satisfacción

posible en el aspecto visual, eficaz y operacional, así como una gran durabilidad en cada uno de sus componentes.

Para la elección de un factor de seguridad (F.S.) apropiado en una aplicación de diseño, se consideran aspectos como tipo de cargas, deterioro que puede ocurrir en el futuro por mantenimiento incorrecto o por causas naturales en el elemento y su importancia estructural.

Si el factor de seguridad es pequeño, la posibilidad de falla en el elemento es mayor, y si se elige demasiado grande el resultado en un diseño caro o no funcional. El factor de seguridad se obtiene de la siguiente manera:

$$F.S. = \frac{\text{Esfuerzo último}}{\text{Esfuerzo permisible}}$$

Tomando en cuenta que $1 \text{ Pa} \longrightarrow 1.45\text{e-}004 \text{ lb/in}^2$ obtenemos los siguientes resultados:

$$257\text{e+}006 \longrightarrow 37256 \text{ Psi}$$

$$F.S. e = \frac{100000 \text{ [Psi]}}{37265 \text{ [Psi]}} = 2.6$$

$$19.2\text{e+}006 \longrightarrow 2784 \text{ Psi}$$

$$F.S. r = \frac{100000 \text{ Psi}}{2784 \text{ Psi}} = 36$$

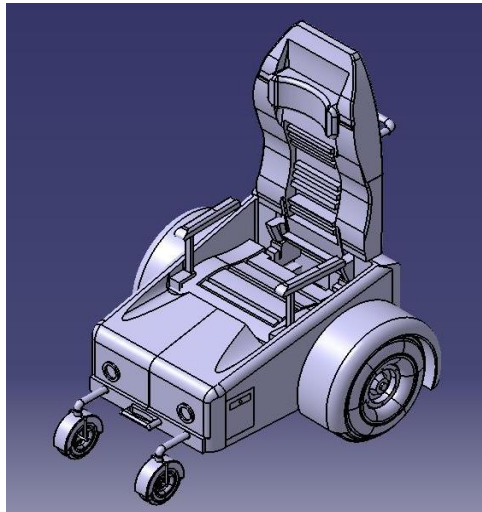


Figura 25. Modelo conceptual de la silla de ruedas eléctrica modular.

El diseño pretende aprovechar al máximo cada uno de los segmentos que integran a la silla, se buscó que las dimensiones sean las indicadas y suficientes para que el usuario

posea la mayor comodidad posible al momento de emplearla en lugares tanto internos como externos.

Todos los componentes son de fácil reposición en caso de llegar a tener una avería y el proceso de intercambio de los componentes son realizables por cualquier persona.

2.7.1 Estructura de la base.

El diseño estructural se basa en un marco cerrado de 4 lados en la parte inferior de ésta y dos secciones prolongadas que se establecen desde la esquina frontal hasta la esquina trasera de sus laterales, reforzados entre sí por una sección transversales en la parte frontal y otra en la parte posterior respectivamente; aunado a esto, se decidió colocar tres segmentos transversales en el fondo de la estructura para reforzar la zona en donde recae todo el peso del usuario (Figura 26).

Sobre el marco inferior de la estructura, se decidió colocar una placa de aluminio con la resistencia necesaria para soportar los dispositivos electromecánicos situados sobre ésta. La placa de aluminio abarca toda la sección inferior y cumple en cierta medida con aislar el ruido y evitar que los agentes contaminantes del ambiente ingresen a los dispositivos.

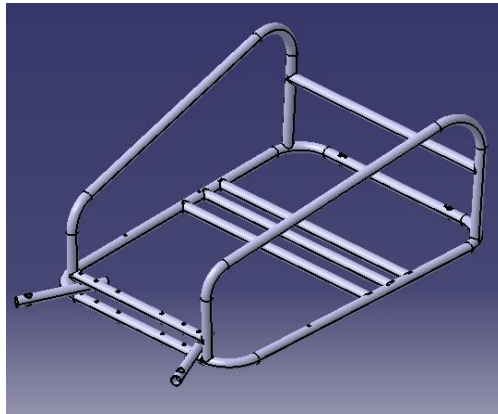


Figura 26. Estructura tubular de la silla de ruedas eléctrica modular con soporte de la placa.

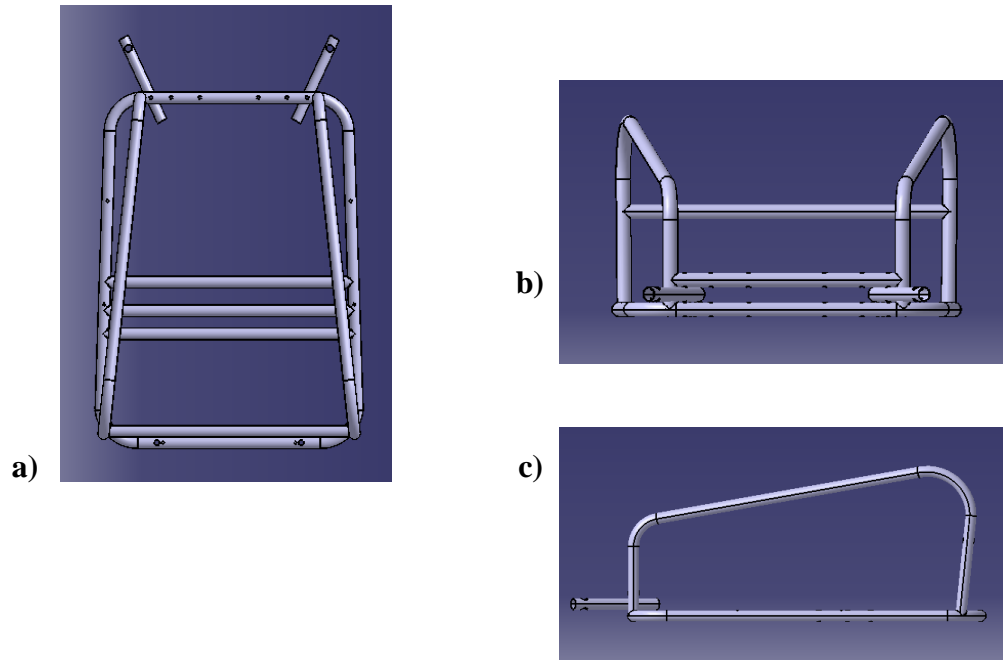


Figura 27 a) Vista superior. b) Vista frontal. c) Vista lateral.

Todas las secciones de la estructura fueron diseñadas con geometría circular (Tubos de aluminio de $\frac{3}{4}$ "") y las esquinas son dobleces con ángulos recomendables para el calibre del material (Figura 28).

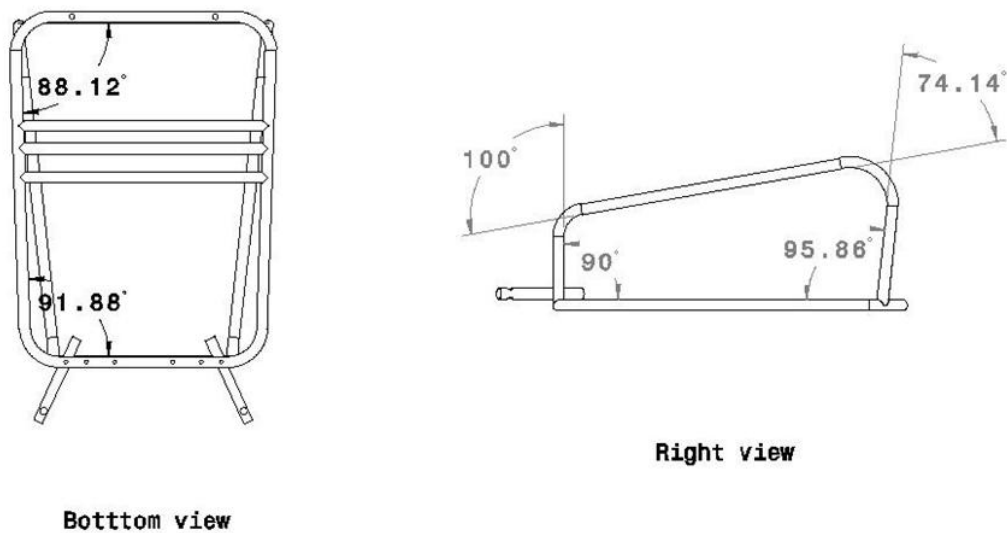


Figura 28. Ángulos de las esquinas.

2.7.2 Distribución de los componentes eléctricos y mecánicos.

Los componentes principales que se emplearon dentro del diseño estructural son:

- Dos motores eléctricos con su respectiva transmisión.
- Mecanismo de elevación del asiento.
- Dos circuitos impresos con sus respectivos componentes.
- Disipadores de calor.
- Batería 12[V].

En la distribución de los componentes dentro de la estructura se, diseñó una composición que permitiera el optimizar el espacio disponible, manteniendo la estabilidad entre el eje de las llantas de tracción y la zona donde recae el peso del usuario (véase figura 29).

Para esta distribución se tomaron en cuenta los siguientes aspectos:

- Cada uno de los componentes eléctricos y mecánicos deberán estar sobre la base de la estructura.
- Distribución correcta de los pesos (evitar torque).
- Optimizar el espacio requerido para evitar áreas entre los componentes.
- Sujeción firme y duradera de los componentes en la base.
- Evitar vibraciones entre componentes y la base estructural.
- Delimitar espacio para transporte de objetos del usuario.

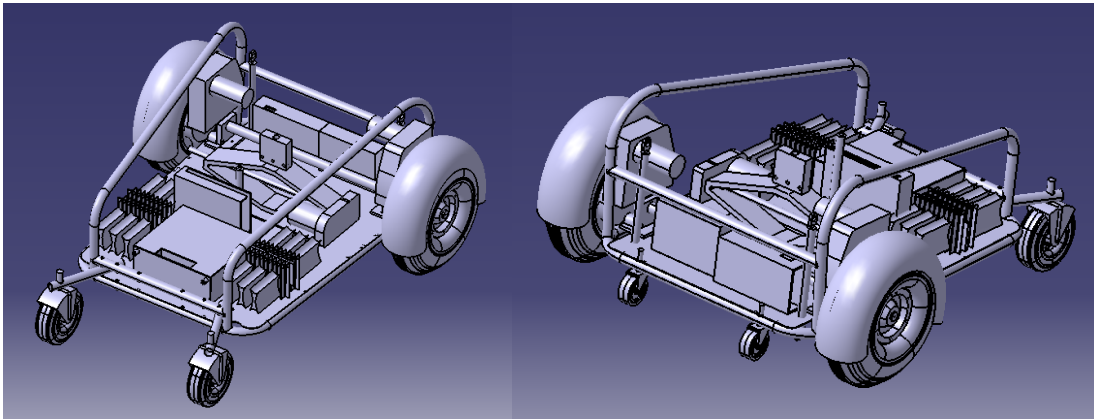


Figura 29. Distribución preliminar de los dispositivos mecánicos y eléctricos.

Esta distribución fue realizada al emplear las medidas reales de los dispositivos eléctricos y los electromotrices, las dimensiones del mecanismo de elevación eléctrica del asiento fue un aproximado de las medidas reales; así como el empleo de la baterías fueron aproximadas ya que existía la posibilidad de cambiarlas por una sola.

2.7.3 Diseño de la carcasa.

El diseño contempla líneas rectas a lo largo de todos los paneles (laterales, frontal, trasero y superior) con pequeños chaflanes en las esquinas con el fin de darle un aspecto redondeado y aerodinámico. En las intersecciones de los paneles laterales y el superior, cuenta con refuerzos en el material por lo que el grosor del material aumenta en un 25% del resto de la carcasa.

2.7.3.1 Sección Frontal.

En este segmento de la carcasa se diseñó un panel recto a lo largo de éste, con un refuerzo rectangular en la parte inferior que brinda soporte. Contempla orificios por los cuales están divisados instalar luces auxiliares.

2.7.3.2 Secciones Laterales.

Conformado por un segmento recto que va desde la sección frontal hasta la trasera de la estructura. En la sección anterior del panel, se encuentran diseñados unas rendijas que funcionan como entradas de aire para la circulación del flujo dentro de la carcasa con el fin de intercambiar calor con los dispositivos eléctricos, permitiendo la entrada de aire pero no de agua.

2.7.3.3 Sección Trasera.

En este segmento de la carcasa se encuentra un panel recto, contiene un segmento rectangular abierto a partir de la mitad del panel hasta la sección superior. En la parte baja del panel, se encuentran diseñados unos compartimientos (puertas) capaces de permitir el paso de los cables y conexiones requeridas por el sistema eléctrico.

2.7.3.4 Sección Superior.

Solo cubre la parte delantera de la estructura ya que lo demás esta delimitado por el asiento. Cuenta con dos desniveles funcionales en forma elíptica.

2.7.3.5 Salpicaderas.

Diseñadas para cubrir 3/4 partes del diametro de la rueda de tracción, contemplan líneas curvas en la parte exterior y rectas en la superior. El proposito radica principalmente en el cuidado y detención de agentes indeseables al momento de que las llantas empiecen a rodar (véase figura 30).

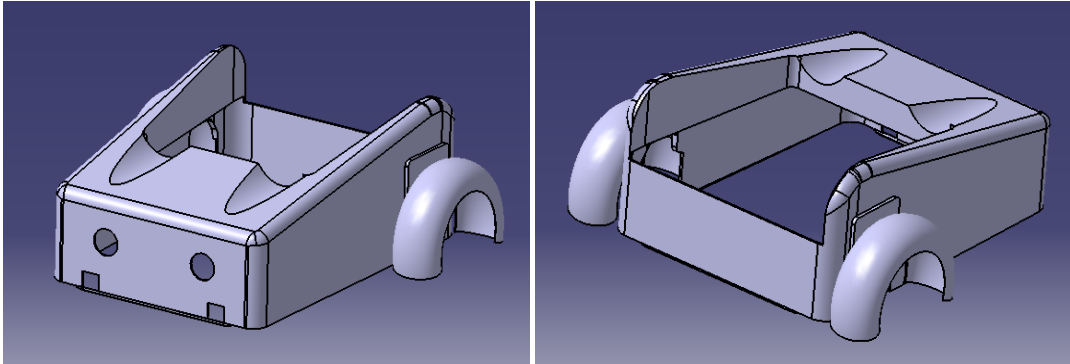


Figura 30. Vista frontal y posterior de la carcasa.

2.7.4 Diseño del Asiento.

2.7.4.1 Asiento.

La forma de la sección donde entren en contacto las protuberancias isquiales y el asiento, cumplen con los requerimientos del usuario para brindar comodidad en periodos cortos y prolongados de tiempo. Dado que el espacio es limitado en la sección de las extremidades pélvicas, se respetó la ergonomía y forma del usuario con el fin de no comprimir las venas y arterias que pasan por la parte posterior del muslo y de esta forma, interrumpir la circulación sanguínea provocando una sensación desagradable.

La estructura del asiento es metálica, plana y capaz de soportar el peso del usuario final. Los contornos ergonómicos y secciones acolchonadas integran el empleo de hule espuma, gomas espumosas y fibras sintéticas. El tapiz exterior se diseñó en un material equivalente a las telas impermeables con el fin de evitar traspaso de suciedad y el acumulamiento de microorganismos (Figura 31).

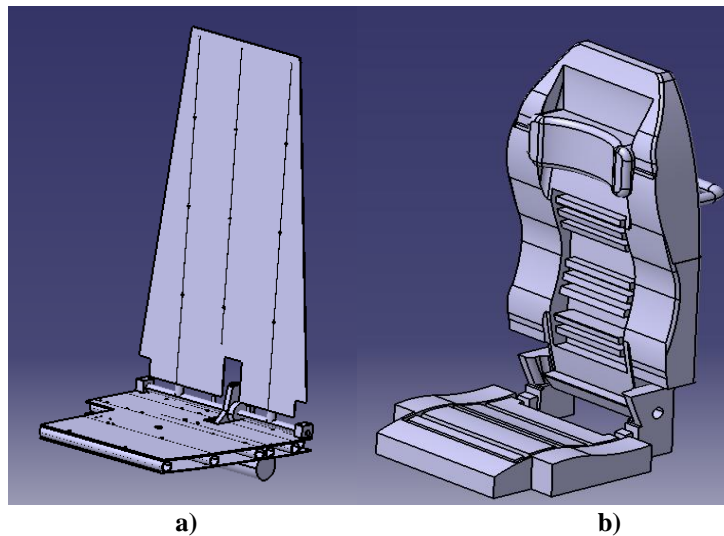


Figura 31. a) CAD de la estructura del asiento. b) CAD del asiento forrado.

2.7.4.2 Respaldo.

La parte estructural del respaldo es un segmento plano y sólido, capaz de soportar el peso del usuario y la carga a flexión provocada en el transcurso del ascenso y descenso. Del mismo modo que el asiento, los contornos ergonómicos y secciones acolchonadas integran el empleo de hule espuma, gomas espumosas y fibras sintéticas. Las características más importantes de los contornos ergonómicos son que brinden la suficiente comodidad, apoyo y sujeción en la sección lumbar, dorsal y cervical, así como el soporte lateral en la sección de los riñones y cabeza (véase figura 32).

El tapiz exterior se planteó en un material equivalente a las telas impermeables con el fin de evitar traspaso de suciedad y el acumulamiento de microorganismos.

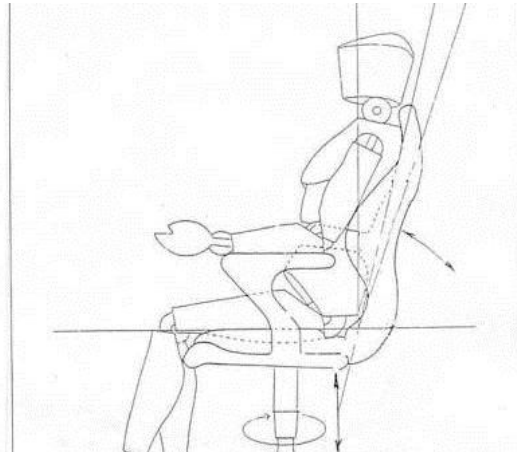


Figura 32. Silla con apoyo total en la columna vertebral sin regulación de altura de respaldo.

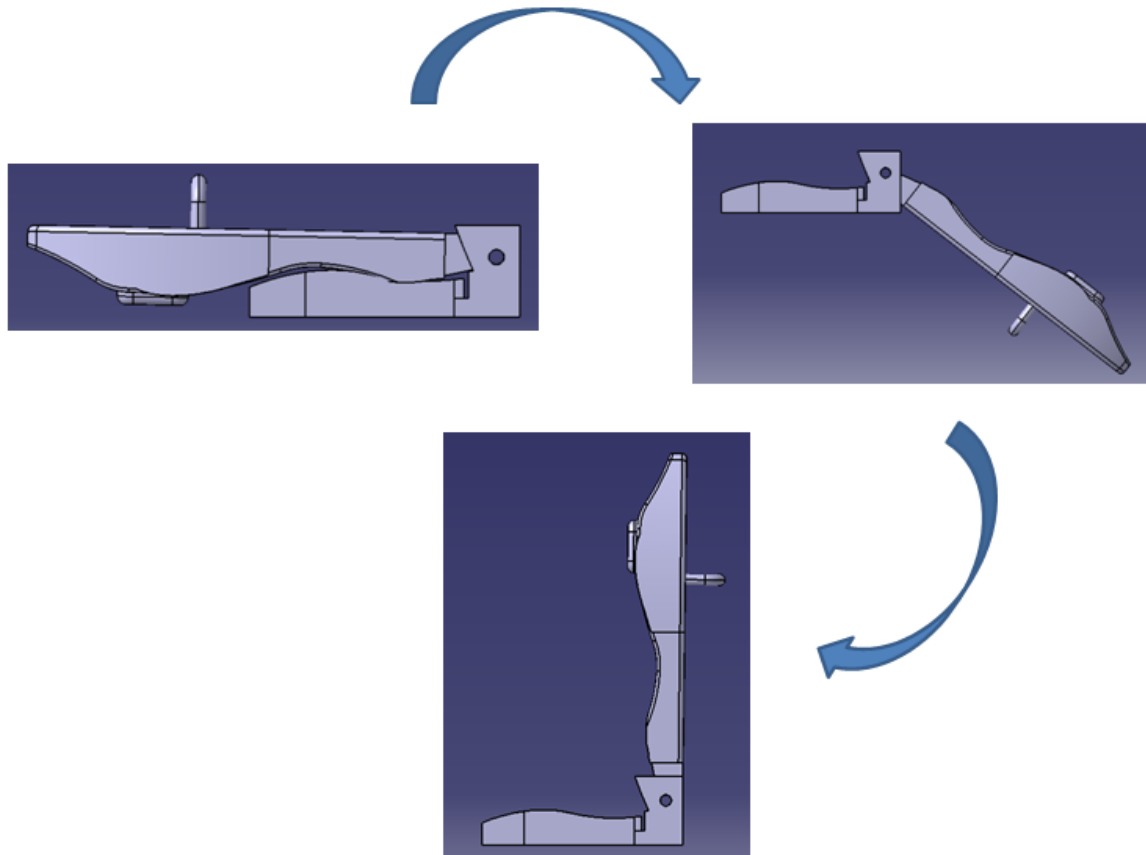


Figura 33. Inclinación del respaldo en sus diferentes pasos.

2.7.4.3 Descansabrazo.

El diseño y desarrollo del descansabrazo, dentro del conjunto de dispositivos de control de la silla de ruedas eléctrica modular. Cumple un objetivo muy importante ya que el mando de control se encuentra localizado en éste, con el cual el usuario controla los movimientos electromecánicos de dirección, inclinación del respaldo y ajuste de altura del asiento.

Para el diseño del descansabrazo, se consideró que éste sirviera como mando de control como función principal. En él se encuentran localizados el interruptor de las luces delanteras de guía, los botones de dirección, control de inclinación del respaldo y ajuste de altura. Este conjunto de botones está distribuido de manera ergonómica y funcional para el usuario.

La estructura principal del descansabrazo consiste en una superficie rectangular plana de acrílico de dimensiones: 6cm de ancho por 17cm de largo, en la cual están distribuidos los botones antes mencionados (véase figura 35). Dicha superficie se encuentra sujeta a la parte desplazable de una corredera y ésta a su vez, unida mediante elementos de sujeción, a la parte superior del asiento (véase figura 35). Este mecanismo está pensado así para que el

descansabrazo tenga características prácticas y eficaces; este elemento es capaz de ocultarse paralelamente al asiento y desplazarse una distancia determinada para el funcionamiento idóneo y ergonómico para el usuario (véase figura 36 y 37).

El proceso de desplazamiento del panel de control, es decir el descansabrazo, ocurre mediante el empleo de una corredera, la cual posee dos carriles de desplazamiento y seis pares de balines como puente guía. El procedimiento es manual y el usuario debe realizar la acción.

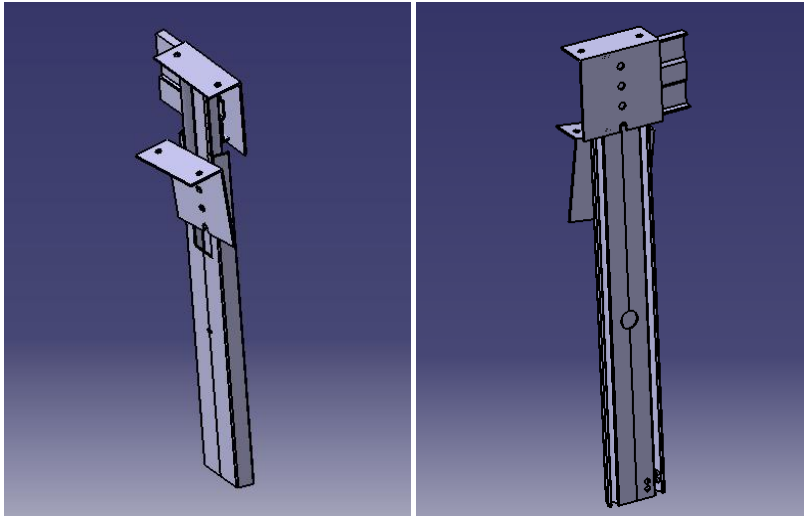


Figura 34. CAD del diseño de corredera.

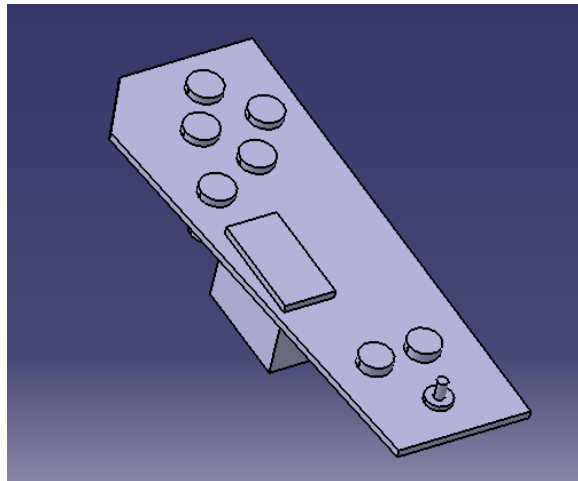


Figura 35 Panel de control.

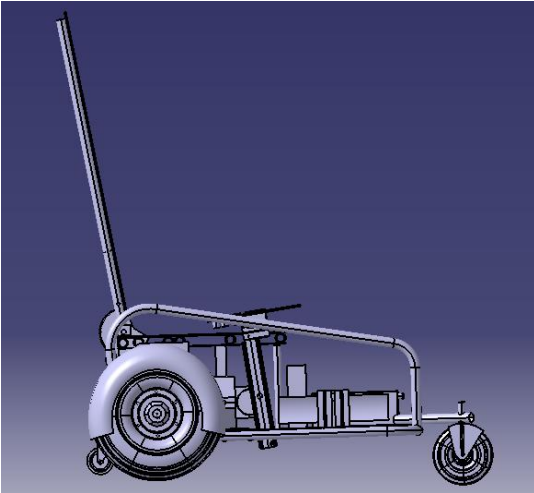


Figura 36. Posicionamiento de panel de control "portable".

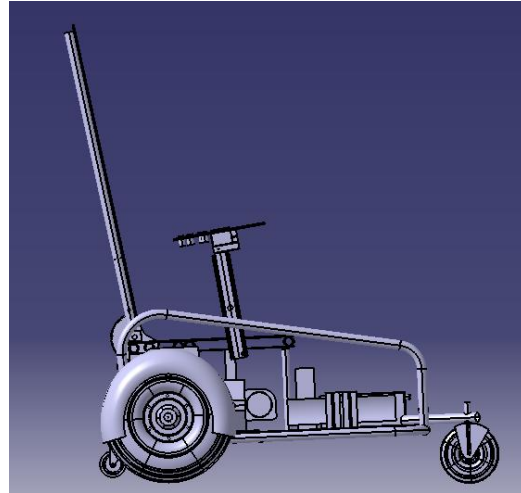


Figura 37. Posicionamiento de panel de control en uso.

2.8 Procedimiento de uso.

Se puede indicar que el empleo de la silla de ruedas modular parte desde la forma denominada "portátil", en la cual el respaldo se encuentra en contacto con el asiento y la sección superior de la carcasa (véase figura 38a).

A partir de este punto, el usuario debe reclinar el respaldo hasta su posición más baja, es decir, hasta que el segmento de la cabecera este en contacto con el suelo. Esto ocurre mediante el empleo de los botones de control de inclinación del respaldo, que se encuentran situados en la sección lateral de la carcasa. Es importante determinar que la superficie de contacto en la que se encuentra la silla de ruedas sea lo más regular posible, esto con el fin de brindar la mayor seguridad posible al usuario al momento de subir en ella (véase figura 38b).

Al estar el respaldo en dicha posición, el usuario debe emplearlo como el medio por el cual llegará a posicionarse en el asiento. Esta inclinación dada por el respaldo fue diseñada para que el usuario la aproveche como una pequeña rampa y así ubicarse en la posición de manejo.

El siguiente paso planteado para el usuario es poner a su disposición el descansabrazos donde se encuentran los botones de control de movimiento, altura e inclinación; con estos últimos, tendrá la capacidad de regresar a una posición de 90° de inclinación el respaldo, o a la inclinación que al usuario desee y le parezca la más cómoda. (véase figura 38c).

Con esto se completaría el ciclo de ingreso a la silla de ruedas, a partir de este punto el usuario tiene la capacidad de elegir a su conveniencia el grado de inclinación del respaldo y la altura deseada del asiento.

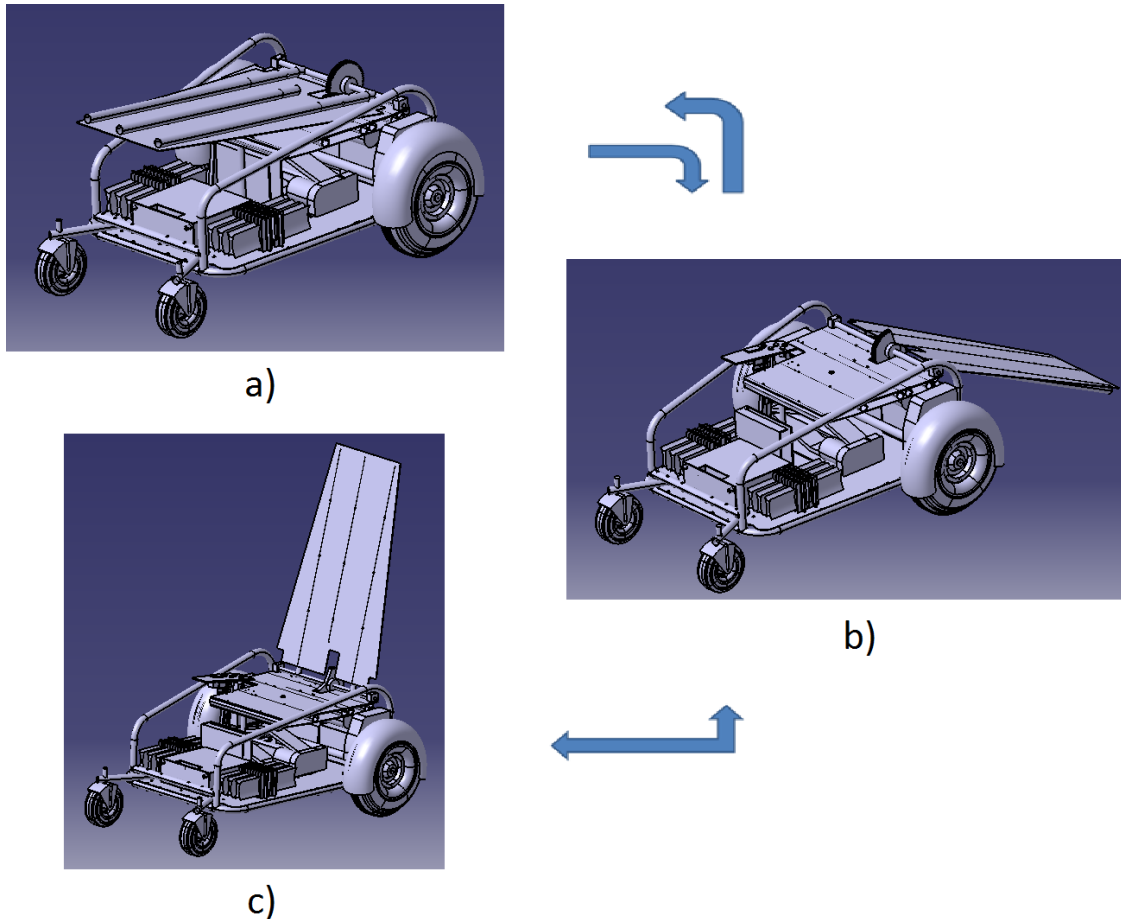


Figura 38. Metodología para el ingreso y egreso al asiento de la silla de ruedas. a) Posición“portátil”. b) Posición de “acceso”. c) Posición de “manejo”.

Para que el usuario pueda bajarse del asiento de la silla de ruedas, debe aplicar el proceso ya mencionado pero en sentido inverso.

Mediante el empleo de los botones que controlan la inclinación del respaldo ubicados en el descansabrazo, el usuario debe mover el respaldo hasta tener contacto con la superficie del suelo. El usuario se desplaza por el respaldo hasta llegar al suelo y, utilizando los botones ubicados en el costado de la carcasa, regresar el respaldo hasta tener contacto con el asiento.

2.8.1 Regulación de la altura.

La silla de ruedas eléctrica modular está diseñada para que la altura del asiento, respecto a su posición inicial, aumente 27cm en dirección vertical sin ningún desplazamiento transversal; cabe destacar que dicho movimiento del asiento está en conjunto con el

respaldo y el descansabrazo, por lo que en todo momento la posición ergonómica del usuario es conservada (véase figura 39 y 40).

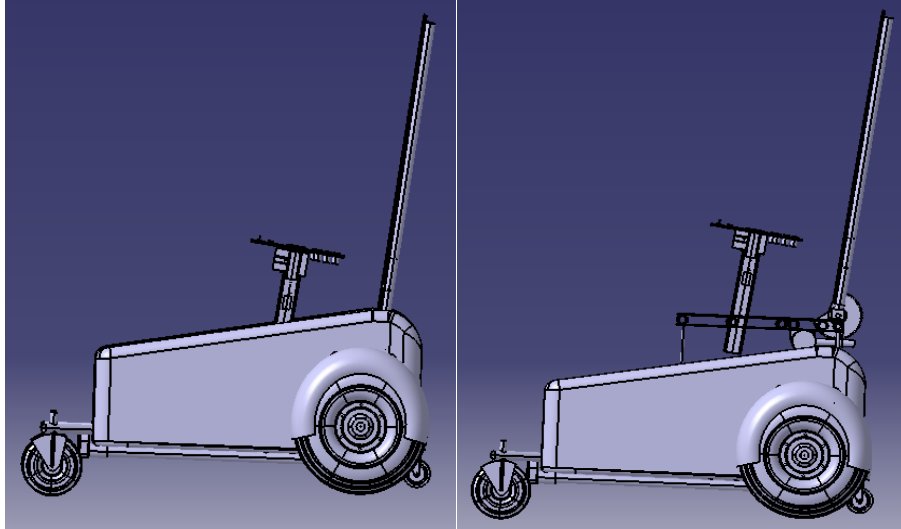


Figura 39. Vista lateral del desplazamiento en la altura del conjunto del asiento.

Estos cambios en la altura le permiten al usuario una mayor adaptabilidad con su ambiente inmediato, ya que mejora la visibilidad y la perspectiva de los objetos y personas al momento de trasladarse de un lugar a otro; permite un mejor cálculo de distancia de los objetos que se encuentran en superficies altas como mesas, sillas o muebles. Estos movimientos ocurren sin ningún tipo de problemas de estabilidad, ya que el diseño y distribución de los elementos que componen el sistema, mantienen en todo momento el peso concentrado en un punto estable y el peso de la silla de ruedas lo permite sin correr riesgos.

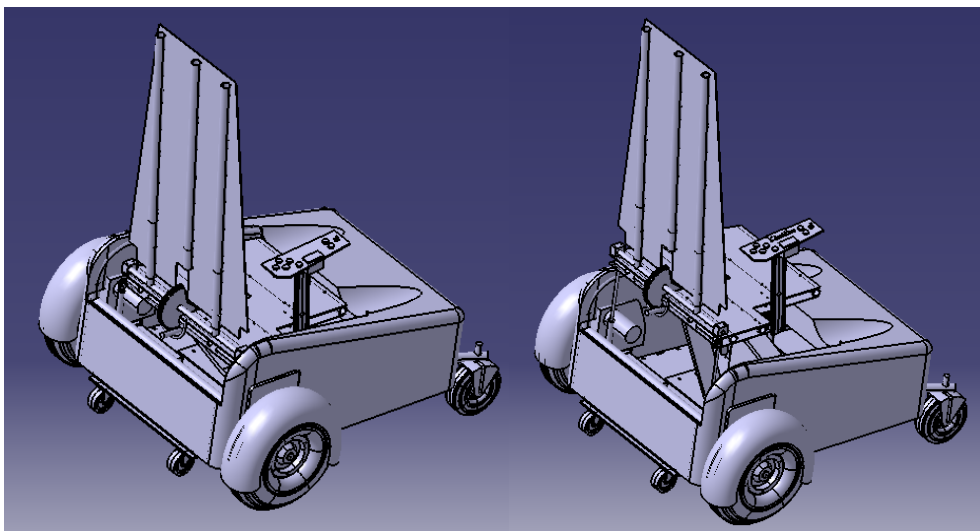


Figura 40. Vista posterior del desplazamiento en la altura del conjunto del asiento.

2.8.2 Transporte.

La silla de ruedas eléctrica modular está diseñada y pensada para que ande por casi cualquier superficie, tanto en interiores como exteriores, pero existe la posibilidad de que ocurran situaciones adversas como la descarga de la batería, alguna falla mecánica y/o eléctrica que no permita el buen funcionamiento de ésta; o simplemente el transportarla de un lugar a otro sin necesidad de emplearla por el usuario final.

Para estas situaciones, el diseño de la silla de ruedas cumple con facilitar el traslado de una forma práctica, eficiente y sin complicaciones; sin el inconveniente de tener que desmontar piezas de la silla (véase figura 41).

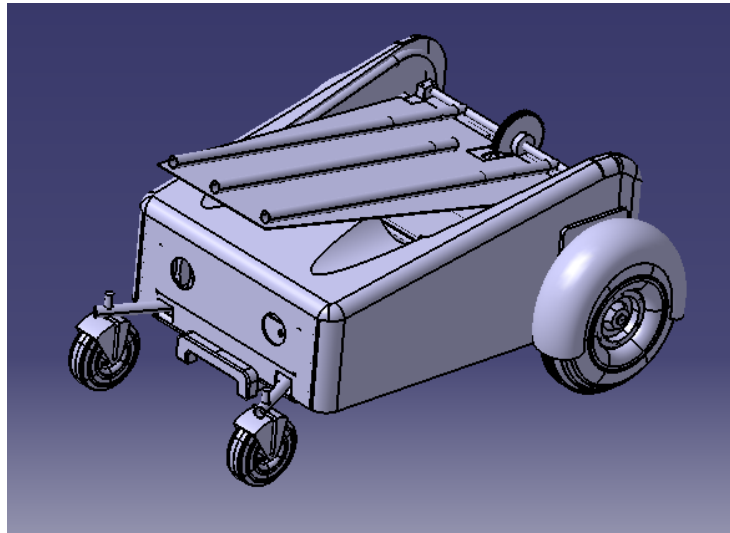


Figura 41. Posición para el traslado.

Para llevar a cabo el traslado de la silla de ruedas eléctrica, es necesario que ésta se encuentre en la posición “portátil”, es decir que el respaldo este en contacto con el asiento y la carcasa (véase figura 42). Una vez establecida la posición, se puede levantar por la parte frontal y desplazarla sobre las ruedas de soporte posterior (véase figura 43). Esta manera de transportarla es la más práctica, ya que la persona no carga todo el peso de la silla y sus ruedas permiten el libre desplazamiento sobre las superficies.

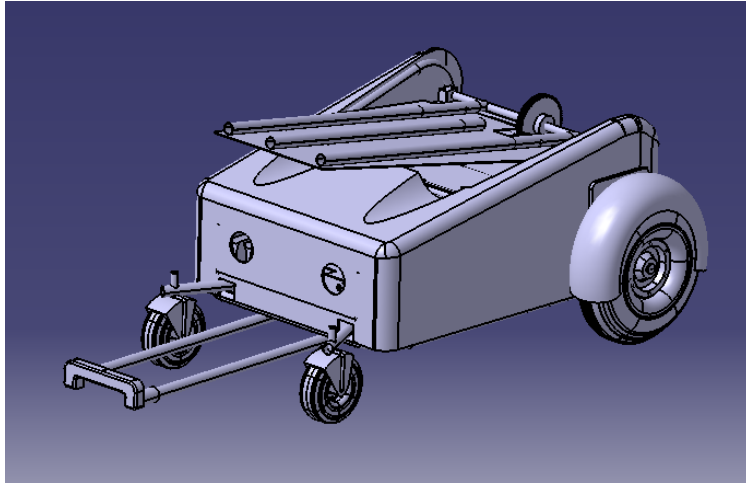


Figura 42. Desplazamiento de agarradera.

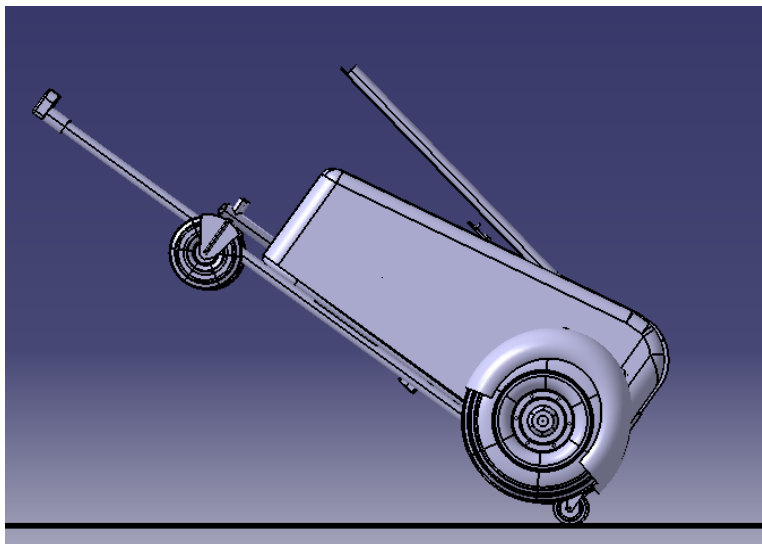


Figura 43. Posicionamiento de traslado manual.

Dadas las dimensiones finales de la estructura, aunada a la distancia de las llantas de soporte delanteras y traseras, permiten que el traslado sea cómodo en cajuelas de automóviles (pensando principalmente en modelos establecidos para transporte público como se puede apreciar en la figura 44).

El diseño permite colocar la silla de ruedas de forma longitudinal o transversal en la mayoría de las cajuelas de los automóviles y sin problemas de espacio; y dado que el peso es un 70% menor a las sillas de ruedas eléctricas del mercado, tanto el meterla como sacarla de la cajuela puede ser realizado por una sola persona.

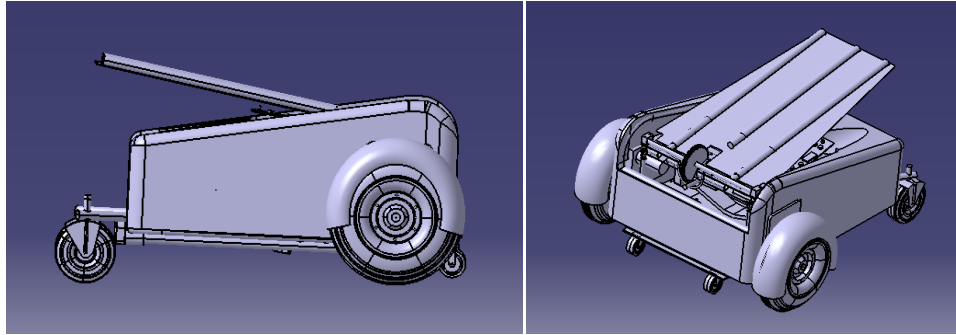


Figura 44. Vista lateral y posterior en la posición "portátil".

CAPÍTULO 3

FABRICACIÓN DE LA SILLA DE RUEDAS

En éste capítulo se hace referencia al proceso de fabricación física y funcional del prototipo desarrollado mediante el Diseño Asistido por Computadora (CAD). Se realiza un desglose de todo el material, equipo, accesorios y herramienta utilizado en cada módulo del proceso de fabricación. Los procedimientos de manufactura, ensamble y ajuste de cada una de las secciones del prototipo son descritos en su apartado correspondiente lo cual da un panorama puntual de dicha fabricación.

3.1 Fabricación de la estructura

Dado los requisitos y especificaciones del diseño final para la fabricación de la silla de ruedas eléctrica modular, la selección del material para su fabricación fue un punto importante a discutir y analizar; ya que requería ser lo más ligera posible y resistente debido a las exigencias de uso y transporte por parte del paciente.

El material que se designó para la estructura fue una aleación de aluminio por sus buenas propiedades mecánicas y sobre todo por su bajo peso con respecto al acero por ejemplo, que de éste material son la mayoría de las sillas de ruedas en el mercado actual. Un inconveniente del aluminio es que no es sencillo de soldar, es un material muy complicado sobre todo por la disipación de calor. Para este propósito se consiguió una soldadura específica para aluminio (DURAFIX) con la cual el procedimiento de soldar se simplificó (véase figura 45). Una vez adquiriendo la soldadura idónea y la aleación, se siguieron los planos del diseño final para su fabricación.

Material y Equipo utilizados para la fabricación de la estructura.

- Tubo de Aluminio de $\frac{3}{4}$ " de diámetro exterior.
- Lámina de aluminio 1100 calibre 18 (1.2mm de espesor).
- Soldadura TERMOFIX.
- Tanques de Gas Butano.
- Dobladora de tubo.
- Cizalla de pedal.
- Cizalla manual.
- Arco con segueta.
- Lima.
- Nivel.
- Transportador.
- Remachadora.
- Remaches 3/16 de pulgada.
- Taladro de banco.
- Taladro manual.
- Brocas de 5/32, 5/8, $\frac{1}{2}$ de pulgada.

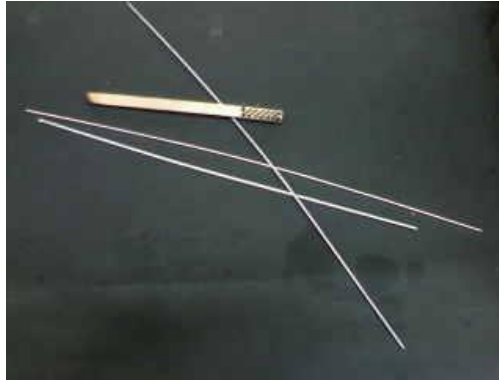


Figura 45. Soldadura para aluminio DURAFIX.



Figura 46. Lámina y tubo empleados para la fabricación.

3.1.1 Doblado de tubo.

Para el diseño se generaron dobleces a los tubos tanto para la base inferior como para los dos postes laterales, dichos dobleces fueron realizados en el taller de Diseño Industrial ubicado en Ciudad Universitaria. Los cálculos básicos empleados para doblar los tubos fueron mediante el uso de regla de tres existiendo la posibilidad de calcularlo mediante trigonometría, todo esto auxiliados por el diseñador industrial encargado del taller.

3.1.1.1 Análisis de despliegado de tubo industrial.

En la tabla de cálculo del despliegado, localizar el diámetro (ϕ) de tubo y adecuarlo con el desarrollo que se lleva generar un ángulo de 90° y por regla de tres estimar la cantidad de material que necesitas para obtener el ángulo deseado (véase figura 47 y tabla 7).



Figura 47. Muestra gráfica de doblado de tubo.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

Para hacer el cálculo de desarrollo se considera el ángulo complementario (B) del ángulo que es necesario, es decir: si se necesita el ángulo A, se considera el ángulo B.

Diámetro de tubo	Desplegado para 90°
1/2	59
5/8	88
3/4	90
7/8	91
1	85
1 1/4	143
1 1/2	187.5

Tabla 7. Cálculo de desplgado de tubo industrial.

Estimaciones en milímetros

Calibres recomendados para dobleces: 18-16

Los cálculos fueron los siguientes:

Tubo de 3/4

Para un tubo de 3/4 $90^\circ = 90$ [mm]

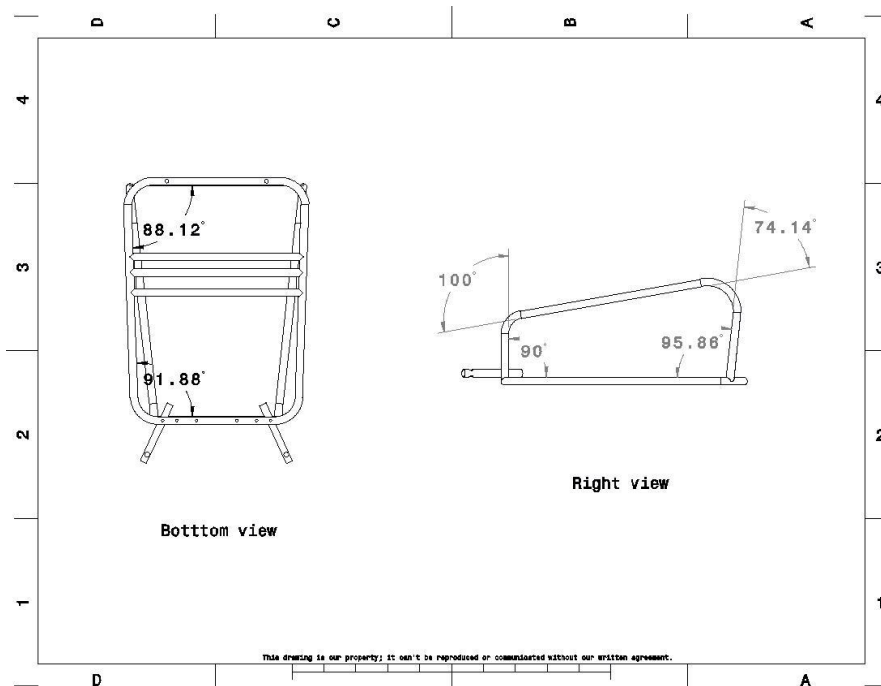


Figura 48. Ángulos requeridos para el doblz de tubo.

El procedimiento básicamente consistió en determinar las distancias que se requerían para cada determinado ángulo. Ya obtenidas las equivalencias, se marcaron en el tubo las longitudes para la realización de los dobleces. Posteriormente se pasa a la dobladora de tubo y con el apoyo de un nivel y de un transportador nos aseguramos de que el tubo estuviese perfectamente alineado, sin ninguna inclinación y al final conseguir el ángulo requerido (véase la figura 49).



Figura 49. Doblado de tubo



Figura 50. Finalización de doblado tubular.

3.1.2 Piso (placa).

Para la base de la estructura se designó una lámina de aluminio de aleación 1100, la lámina que originalmente se adquirió tenía dimensiones de 0.91x2.44 m por lo cual era necesario disminuir ésta área empleando la cizalla.

En la realización del corte de lámina se usaron las cizallas de pedal y manuales que se ubican en el CDMIT, la cizalla de pedal se utilizó para el corte mayor, es decir, un corte de 0.60x0.40 m para la base en donde se colocarían los diferentes dispositivos de la silla de ruedas (véase figura 51). Una vez obteniendo éste corte principal, se utilizaron las cizallas manuales con el fin de cortar las esquinas de la lámina y acercarnos lo más posible a la curvatura del diseño planteado (véase figura 52); finalmente para dar el último acabado se utilizó un par de limas para metal, la lima de media caña con la cual se desbastó el material y en la última etapa, una lima plana fina para quedar con un terminado liso y con bordes circulares en las esquinas.



Figura 51. Corte de lámina en cizalla de pedal



Figura 52. Corte de lámina con cizalla manual

3.1.3 Soldado de la estructura tubular.

Para soldar la estructura primeramente se realizaron pruebas en fragmentos de desecho con el material seleccionado, todas estas pruebas se hicieron con el fin de acostumbrarse a las especificaciones del método de soldadura para el aluminio y garantizar la aplicación correcta de la soldadura DURAFIX, con ello se sacrificaron varillas de soldadura y secciones de tubo. Una vez realizadas las pruebas y con la confiabilidad de la soldadura, el siguiente paso fue soldar y dar forma a la estructura.

Pasos para soldar la estructura (véase figuras 53, 54 y 55):

- Establecerse en un lugar cómodo y seguro.
- Fijar las piezas a soldar de manera que no existan desplazamientos entre ellas.
- Llevar a cabo un calentamiento de toda la sección tubular con el fin de evitar a gran medida la transferencia de calor.
- Calentar los tubos continuamente hasta que al poner la varilla en contacto con los tubos, esta se comience a fundir.
- Al comenzarse a fundir la varilla, esta se coloca en el área de unión y se retira la fuente de calor.
- Esperar a que el material fundido se distribuya sobre el área deseada.
- Esperar a que se disipe el calor de forma natural.

El principio para soldar los segmentos de la estructura es el siguiente: se partió como base de la estructura la sección rectangular inferior, sobre ésta se soldaron los postes laterales que van desde la sección frontal hasta la trasera. Una vez terminado lo anterior, se sueldan los tubos transversales que se encuentran en la parte frontal y trasera de la silla.

Siguiendo el mismo procedimiento de soldadura, se colocan los tres refuerzos tubulares transversales en la base del chasis, cuya sección corresponde a la base del asiento donde se encontrara soportado el usuario final.

Cabe resaltar que a todos los extremos de los tubos, cuyo contacto a 90° estaba predeterminado con otra sección tubular del mismo calibre, se les realizan unas cavidades semiesféricas con la finalidad de que tuviesen una mayor área de contacto entre sí y evitar huecos por los cuales se desplazara el material fundido.



Figura 53. Soldado de la estructura.



Figura 54. Últimos pasos de soldado.



Figura 55. Soldadura aplicada en la estructura.

3.1.4 Fijación del piso (placa).

Para la fijación de la placa en la base de la estructura se tenían dos opciones, una era soldarla con el mismo producto y procedimiento que en los tubos o fijarla mediante remaches. Haciendo intentos previos para fijar la base por medio de la soldadura, nos percatamos de que al implementar calor a la sección de la lámina existía una pérdida considerable en cuanto a resistencia por parte del material, por tanto se descartó esta solución para unir los dos elementos (véase figura 56).

Para confirmar los resultados previos obtenidos del CAD con respecto a la resistencia del material, se hicieron pruebas de esfuerzo colocando la placa por encima de la base de la estructura tubular ya soldada y ejerciendo una fuerza de aproximadamente 75 kgf, lo que comprobó que no había situaciones adversas con la parte tubular y con la placa.

El siguiente paso fue fijar la placa a la base de la silla de ruedas mediante el uso de remaches.

Primeramente se barrenó el piso laminado seguida de la cara superior de la base de la estructura, estos barrenos tienen un diámetro de $5/32$ " ideal para colocar los remaches.

Posteriormente se limaron las periferias de los barrenos de la lámina y el tubo con el fin de eliminar la rebaba generada. Finalmente se colocaron los remaches, siendo en un total de ocho: dos en la parte trasera de la estructura, tres en la sección lateral derecha y otros tres en la parte lateral izquierda.

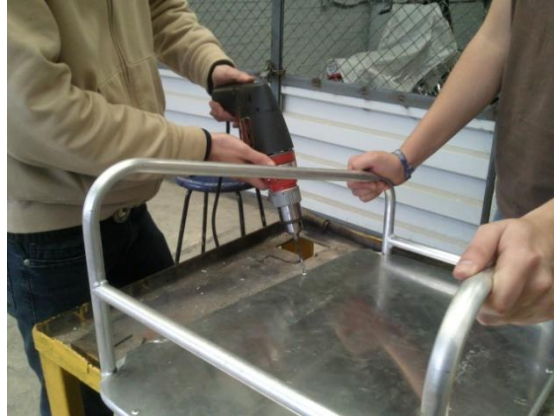


Figura 56. Ensamble de lámina a la estructura.

3.1.5 Colocación de llantas delanteras y traseras (soporte).

Para finalizar el proceso de la construcción de la estructura, se asigna el tipo de llantas que debe tener la parte frontal y trasera nuestra silla de ruedas.

3.1.5.1 Llantas delanteras.

Para la parte frontal se eligen unas llantas (ruedas locas) de 4" de diámetro, con la finalidad de que no se tengan problemas en cuanto a la altura de la silla de ruedas, esto debido a que éstas son las encargadas de dar la dirección a todo el sistema (véase figura 57).

La fijación de las llantas delanteras se realizó haciendo un corte a una sección tubular de $3/4$ " de diámetro y aproximadamente 14cm de longitud. Se realizó un barreno de $1/4$ " atravesando el poste frontal seguido del tubo antes mencionado y por último pasando por la base tubular delantera; ya hechos los barrenos, se sujetaron por un tornillo de $1/4$ " de diámetro y 3" de largo impidiendo el desplazamiento con una tuerca de presión. En la parte delantera del tubo de 14 cm se le incrustó un buje macizo de fierro con la finalidad de que entregase más resistencia, se realizó un barreno de $1/2$ " a 3cm del final de la sección, el cual atraviesa por completo la sección tubular y el buje. Esto con el fin de que a través de este barreno ingrese el tornillo de las ruedas delanteras y ser sujetadas por una tuerca de seguridad.



Figura 57. Rueda delantera.

En el otro extremo del tubo se sujetó con una abrazadera y ésta a su vez se aseguró con un par de tornillos (con un diámetro $\frac{1}{4}$ " y con longitud de $1\frac{1}{2}$ ") para cada tubo respectivamente.



Figura 58 .Barreno a estructura y lámina.

3.1.5.2 Llantas traseras.

Para la parte trasera se adquirió un par de llantas con aproximadamente 2" de diámetro, teniendo como característica principal un sistema de freno mecánico y manual con el fin de mantener inmóvil todo el sistema a la hora de ascender o descender de ésta o cuando lo requiera (véase figura 59).

Por otro lado para las ruedas traseras, el proceso fue similar al anterior con la diferencia de que el barreno se hizo de $\frac{3}{8}$ " y sólo se atravesó la lámina y la base tubular trasera, y de igual manera se sujetó con tuercas de presión.



Figura 59. Colocación de llantas traseras (soporte).

3.2 Sistema electromotriz.

El sistema electromotriz consta de los siguientes dispositivos (uno por cada rueda):

- Motor eléctrico.
- Caja reductora.
- Acoplamiento de sujeción “reductor-rueda”.
- Llantas de tracción.

Los dos motores principales que brindan la tracción y por ende el movimiento de la silla de ruedas, así como sus respectivos reductores y llantas de plástico duro, tienen su procedencia de los vehículos para niños *PowerWheels*. Dicho sistema electromotriz está diseñado para piezas poliméricas pero dadas nuestras especificaciones y requerimientos, era necesario acoplar a este sistema electromotriz unas llantas que permitiesen la circulación por la mayoría de los terrenos cotidianos con la mayor seguridad y funcionalidad permisible. El mayor inconveniente fue que el acoplamiento original de sujeción “reductor-rueda” está fabricado en plástico y nuestro rin de la rueda seleccionada es metálico.

3.2.1 Acoplamiento del elemento de sujeción “reductor-rueda”.

Con el fin de determinar la mejor opción y/o modificación a realizar para el acoplamiento del rin de la rueda con la terminación del tren de engranes, se desmontó la cubierta plástica de la caja reductora para poder tener una mejor visualización de los reductores, la relación de engranes y el material de los mismos.

En cuanto a la modificación del elemento de la caja reductora, consistió en barrenar en el lado inferior de la pieza con un diámetro de igual medida que la del eje del rin de la llanta (3/4”). Además se eliminó un elemento al motorreductor que para nuestro fin no afectó el funcionamiento, y una de las ventajas es que con ello se disminuyó la distancia entre llantas. Para poder establecer correctamente el rin con el motorreductor, prácticamente la forma de anclaje fue mediante el uso de presión entre los dispositivos sujetado al

acoplamiento con un tornillo Allen lo cual nos garantiza un buen funcionamiento al momento de ejecutar éste sistema.

El eje que se acopló fue una sección circular maciza de aluminio, la cual abarca transversalmente la estructura, es decir, sujetando ambas cajas reductoras entre sí. Esto con el objetivo de mantener a las ruedas siempre fijas, alineadas y a la misma distancia establecidas; evitando pandeos al momento de recibir alguna carga considerable.



Figura 60. Tren de engranes de caja reductora.



Figura 61. Acoplamiento de caja reductora y eje.

3.2.2 Montaje del sistema electromotriz a la base estructural.

Teniendo terminado el acoplamiento del sistema, el paso siguiente a realizar es el montaje de éste a la base estructural de la silla de ruedas.

Por la geometría que cuentan los motorreductores se realizó una modificación al diseño previamente establecido. Se colocó una base de aluminio de forma rectangular en el extremo trasero lateral de la estructura, para brindar un poco de mayor altura; en conjunto con estas bases se colocó otra del mismo material pero ahora de manera vertical y con un barreno por el cual pasa el eje de las llantas. Para sujetar las bases de menor dimensión, se instaló un par de cilindros apoyados horizontalmente, situados entre el motorreductor y la base; se sujetaron con tornillos Allen para evitar cualquier tipo de desplazamiento entre sí, que en un futuro pudiesen provocar el derribe de los motorreductores y el eje.

Al quedar terminados los acoplamientos y montajes de ambas ruedas con sus respectivas cajas reductoras, la estructura estaba preparada para continuar con el proceso de la fabricación y acoplamiento de los dispositivos para la silla de ruedas.



Figura 62. Vista inferior de sujeción de la caja reductora derecha.



Figura 63. Montaje final del sistema electromotriz.

3.3 Fabricación del asiento y respaldo.

La fabricación tanto del asiento como del respaldo contempla una de las fases más importantes en la producción de la silla de ruedas. Siguiendo de cerca las especificaciones y requerimientos examinados en la fase de diseño fue como se dio el desarrollo del producto.

Aprovechando el material y equipo que se tuvo a disposición durante la fabricación de la estructura, fue prácticamente con el cual se fabricó el asiento y respaldo, por razones de peso como propiedades mecánicas, material existente, experiencia en fabricación anterior y económicas.

Material y equipo requerido para la fabricación del asiento y respaldo:

- Tubo de Aluminio de $\frac{3}{4}$ " de diámetro exterior.
- Lámina de aluminio 1100 calibre 18 (1.2mm de espesor).
- Cizalla de pedal.
- Cizalla manual.
- Arco con segueta.
- Rehilete eléctrico.
- Disco de corte.
- Lima.
- Remachadora.
- Remaches.
- Taladro de banco.
- Taladro manual.
- Brocas de 1/8, 5/32, 1/4, 1/2 de pulgada.
- Tornillos de 1/8, 5/32, 1/4, 1/2 de pulgada.
- Rondanas de presión de 1/8, 5/32 de pulgada.
- Rondana de 1/2 pulgada.
- Tuercas de seguridad de 1/4 de pulgada.
- Tuercas de 1/8, 5/32 de pulgada.

3.3.1 Fabricación del asiento.

Partiendo de los requisitos y especificaciones, seguidos del diseño y análisis previamente realizados en el CAD se procedió a la elaboración del asiento.

Primeramente se utilizó la cizalla de pedal para hacer cortes de forma rectangular de 32cm de largo por 38cm de ancho a la lámina de aluminio, de los cuales se realizó un total de tres secciones, dos de éstas se colocaron en la parte superior del asiento y la tercera en la parte inferior. A continuación se realizaron los cortes referentes al espacio designado para el control, engrane y a su vez la forma generada en la fase del diseño, así como la distribución y ejecución de los barrenos.



Figura 64. Corte para colocación de engrane.



Figura 65. Diseño manufacturado de lámina para asiento

Posteriormente se cortó el tubo de $\frac{3}{4}$ " de diámetro para que estos trabajaran como base estructural del asiento, para ello se requirió cortar tres secciones tubulares de 28cm, 30cm y 38cm de longitud, distribuidas a lo largo de las láminas de manera ascendente. Cuatro segmentos tubulares de 5cm de longitud cada uno, fueron colocados en la parte posterior de las láminas, con la finalidad de reforzar la estructura y permitir el movimiento angular del respaldo.



Figura 66. Proceso de elaboración y ensamblaje del asiento.

El siguiente paso fue una visualización previa del ensamble final con la cual, se definió en los segmentos tubulares las distancias correspondientes a los barrenos elaborados en las láminas. Y de esta manera culminar el ensamblaje con la colocación de remaches. Una vez realizado lo anterior, se barrenó en la parte central del asiento, perforando ambas bases con broca de $\frac{1}{2}$ pulgada para dar cabida al elemento de sujeción.

3.3.2 Fabricación del respaldo.

En la realización del respaldo se partió nuevamente de una sección rectangular de lámina de aluminio de calibre 18 la cual fue cortada en forma trapezoidal haciendo uso de la cizalla de pedal. Ya cumplidas las dimensiones aproximadas requeridas se redondearon los bordes empleando cizalla manual y lima de desbaste y rectificadora.

Continuando con el proceso de fabricación del respaldo se distribuyeron a lo largo y ancho de dicha sección nueve barrenos de 3/16 de pulgada de diámetro por los cuales se sujetarían los refuerzos tubulares.

Al concluir lo anterior y pensando en el refuerzo de la lámina, la estructura del respaldo se fabricó a base de tubo de aluminio de 3/4" de diámetro. Dada la configuración del diseño se requirieron dos secciones tubulares laterales de 59cm de longitud y una tercera central de 50cm. Siguiendo el mismo proceso de fabricación del asiento, para el respaldo se realizó un ensamble previo entre la lámina y refuerzos tubulares. Esto permitió marcar la distribución exacta de los barrenos en los refuerzo, dónde posteriormente se perforó. A través de estas perforaciones, y como ensamblaje final, se instalaron los elementos de sujeción (remaches).



Figura 67. Finalización de fabricación del respaldo.

3.3.3 Sistema electromecánico de inclinación del respaldo.

Para el acople entre asiento y respaldo, fue necesario diseñar y fabricar un sistema que cumpliera con uno de los objetivos primordiales de esta tesis, que el usuario pudiese ascender y descender de la silla de ruedas con total autonomía. Para ello, se pensó en un sistema electromecánico el cuál se constituye de un mecanismo engrane-tornillo sin fin. Éste tornillo sin fin venía adaptado al motor que se adquirió para el respaldo.

El material y equipo que se requirió para el sistema electromecánico de inclinación del respaldo fue el siguiente:

- Fresadora.
- Taladro de banco.
- Planta de soldar MIG.
- Torno.
- Cortadora de sierra fija.
- Lijadora eléctrica.
- DREMEL.

- Machuelo.
- Arco con segueta.
- Brocas de 1/8, 1/4, 3/8, 1/2 de pulgada.
- Fresa.
- Nylon.
- Nylamid.
- Candado.
- Cincho metálico.
- Tuercas de 1/8, 1/4, de pulgada.
- Rondanas de presión de 1/8, 1/4, de pulgada.
- Tornillos prisioneros de 5/32 de pulgada.
- Remaches.
- Abrazadera tipo “U”.
- Abrazadera sin fin.

Sabiendo de la existencia de diferentes mecanismos que se podían ajustar, se optó por conseguir un engrane que se acoplará de buena manera al tornillo sin fin que contenía el motor. Éste engrane se eligió conseguirlo de nylamid (nylon) para no incrementar más peso a la silla de ruedas, aunque por otro lado se perdió durabilidad del sistema.

Teniendo en nuestras manos el engrane, lo consiguiente fue instalar un eje que permitiera el movimiento angular del respaldo. A éste eje se le soldó un par de bujes de tres octavos de pulgada de diámetro a la misma distancia de separación que existe entre los tubos laterales del respaldo; y así, con las distancias coincidentes se introdujeron los bujes a los tubos del respaldo. Para asegurarse de la instalación, se barrenaron a diferente distancia tanto bujes como tubos y se les designó un tornillo de un cuarto de pulgada siendo sujetos por tuercas de seguridad.



Figura 68. Soldado de bujes al eje del respaldo.

Al observar el engrane en funcionamiento, se detectó que éste podía estorbar y a su vez incomodar al usuario en el momento de permanecer sentado sobre el asiento. Para eliminar esta inconformidad se decidió cortar el engrane de tal manera que nos permitiese girar el respaldo un total de doscientos cuarenta grados.

Otro inconveniente que se encontró fue el movimiento del engrane a lo largo del eje, para solucionar esta situación se necesitó un machuelo como herramienta y se colocó un par de tornillos prisioneros que funcionaran como elementos de sujeción, uno al propio engrane y el otro al mamelón.



Figura 69. Corte de engrane.



Figura70. Machuelo de engrane y mamelón.

Con el eje ya concluido y la fijación del engrane al mismo, el siguiente paso fue fabricar y colocar un acoplamiento que sirviera como rodete y evitara movimientos en el posicionamiento del eje con respecto al asiento y el respaldo. Para ello se fabricó un par de rodetes de hierro colado, que primeramente se cortaron a la medida que se requirió, para después apoyándonos de una fresadora de dejaran al mismo nivel, es decir a la misma altura, posteriormente se les realizó tres barrenos por cada rodete, dos en la cara superior de un octavo de diámetro que atravesaran por completo la pieza y coincidieran con los barrenos del asiento, y el tercer y último barreno se realizó en una de las caras laterales de igual manera atravesando la pieza pero en esta ocasión de tres octavos de diámetro para la incorporación de los extremos del eje.

Finalmente, los rodetes fueron ubicados en los extremos laterales del asiento sujetándolos con tornillos de un octavo de diámetro, rondanas de presión y tuercas.



Figura 71. Corte de hierro colado para fabricación de rodete.

El motor que se usa para la inclinación del respaldo, también fue acoplado al asiento pero en la parte central posterior.

Los elementos de acople que se utilizaron fueron cuatro y se presentan a continuación:

- Nylamid. Éste se instaló en la parte inferior del asiento, sufriendo un par de barrenos de un cuarto de pulgada en los lados y un barreno de media pulgada en la parte central por dónde pasara posteriormente el tornillo sin fin del motor. Después se le realizó un corte a la mitad de la pieza dejando éste último barreno en forma de media circunferencia. Esta pieza se utilizó como base para evitar que el motor tuviese desplazamiento y se perdiera la coincidencia entre dientes del engrane y tornillo sin fin.
- Candado. La instalación del candado se realizó perforando el asiento con dos barrenos de un cuarto de pulgada en la parte central posterior, teniendo la misma distancia de separación que el ancho del candado. Por la simple razón de poder introducir el candado a los barrenos. A continuación se sujetó con rondanas de presión y turcas. El candado se requirió para poder mantener el contacto entre engrane y tornillo sin fin y a la poste no perder la linealidad entre ambos.
- Abrazadera tipo “U” y abrazadera sin fin. La abrazadera tipo “U” se incorporó en la parte central del motor y la abrazadera sin fin se colocó justo en la intersección entre el motor y tornillo sin fin. Ambos elementos se instalaron con la finalidad de no admitir que se cayera el motor del asiento y eliminar cualquier oportunidad de que esto suceda. La abrazadera tipo “U” se ensambló al asiento haciendo dos barrenos y sujetándolo con remaches.

La abrazadera sin fin se instaló haciendo dos perforaciones a cada lámina del asiento con las medidas suficientes para introducir la misma.



Figura 72. Corte de nylamid.

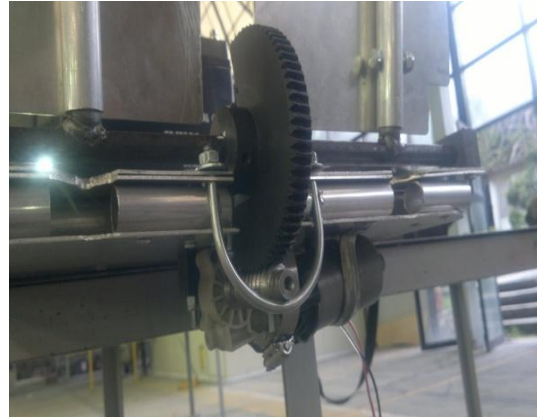


Figura 73. Instalación de los elementos de acople.

Para dar por terminada la fabricación del asiento y respaldo se tapizaron ambos elementos con un diseño que permitiera cierta ergonomía y disminución en la dificultad para ascender y descender de la silla de ruedas.

En la parte del respaldo se colocaron cinco divisiones al hule espuma a lo largo del propio y en los lados se situaron ciertos cojines para que el usuario tuviese la sensación de seguridad y perdiera el temor de caer. En la parte trasera del respaldo se tapizó con vinil dando un efecto de fibra de carbono sólo para efectos visuales, si se tuviese la necesidad de desmontar el respaldo, se colocó velcro para facilidad de desmontaje.

Por otro lado, el asiento sólo cuenta con tres divisiones de dimensiones similares, pero cuenta con la característica de que a sus lados no se forro precisamente con hule espuma sino con una capa delgada de espuma y tela. La razón por la cual no se cubrió con hule espuma fue para respetar el reclinamiento del respaldo y tuviesen cabida los cojines laterales en este lugar.



Figura 74. Asiento y respaldo tapizados.

3.4 Fabricación de la carcasa.

Para la fabricación de la carcasa se tomaron en cuenta varios pasos a seguir. A continuación se mencionaran y se brindará una breve explicación de cada uno de ellos.

1. Creación de molde. Para poder fabricar la carcasa, el primer paso fue generar un molde. El material que se utilizó para el molde fue poliestireno extruido, se le realizaron cortes y formas pertinentes, seguido de esto se ensamblaron todas las partes para poder llegar a la forma que se deseó fabricar. En cuanto a las salpicaderas de las llantas de los motorreductores, el molde que se fabricó fue con un garrafón de agua, sacando provecho de sus dimensiones y forma de la parte inferior.

Al término del ensamblaje, en la parte superior del molde se le realizó dos cavidades a los lados, pensados para que al momento que el respaldo se dese reclinar hacia adelante, los cojines laterales del respaldo entrasen por estas cavidades. También, en la parte frontal del molde se le efectuaron dos cortes circulares para posteriormente instalar un sistema de iluminación a base de dos lámparas de LED.



Figura 75. Molde de la carcasa.

2. Aplicación de fibra de vidrio. Una vez realizado el molde de la carcasa, lo consiguiente fue aplicar el material base de la carcasa (fibra de vidrio). Se adquirieron botes que contenían fibra de vidrio semi preparada.

Al seleccionar la cantidad de fibra que se aplicaría solamente se tenía que aplicar el catalizador suficiente para que éste endureciera y tomara las características deseadas. Al concluir con la aplicación de la fibra de vidrio, lo restante solo fue esperar a que seicara. Ya que se secó la mezcla aplicada, se lijó toda la superficie en la cual se aplicó la fibra para reducir al máximo las grandes asperezas que se generaron quizás por un exceso o falta de material.



Figura 76. Aplicación de la fibra de vidrio al molde.

3. Aplicación de masilla automotriz. Después de haber esperado el secado de la mezcla de la fibra de vidrio, la continuación de la fabricación de la carcasa consistió en aplicar masilla automotriz sobre toda la superficie de la carcasa. Para la preparación de ésta se necesitó de igual manera que para la fibra un catalizador que permitiese el endurecimiento de la masilla.

La razón por la que se aplicó esta masilla fue para tratar de mejorar el aspecto visual y más tarde brindar una superficie con menor rugosidad.

4. Lijado de masilla automotriz. Esta tarea llevó gran parte del tiempo para la fabricación de la carcasa, ya que con el lijado se disminuyeron las imperfecciones. Poco a poco se le dio un mejor acabado actuando con las diferentes lijas que se ocuparon. De acuerdo al incremento en el número de la lija es como se va disminuyendo la aspereza de las mismas; por lo cual, se mencionará el total de lijas aplicadas a la masilla.

- Lija número 36.
- Lija número 60.
- Lija número 80.
- Lija número 100.
- Lija número 250.
- Lija número 320.
- Lija número 400.
- Lija número 500.
- Lija número 1000.

De la lija número 36 hasta la número 250, se utilizaron para la eliminación y reducción de grandes cúmulos de masilla que se produjeron en el momento de aplicarla. A partir de la lija número 320 se destinaron para mejorar la suavidad de la carcasa y arreglo de pequeñas mal formaciones.

La lija número 1000, se aplicó exclusivamente momentos antes de pintar la carcasa.



Figura 77. Carcasa lijada momentos antes de pintarla.

5. Pintado de la carcasa. Después de haber lijado sobre la carcasa pasando por las diferentes lijas anteriormente mencionadas, el siguiente alcance fue el pintado de la misma. Para su realización se requirió de compresora de aire, pistola para pintar, primer, pintura y *thinner*.

Previo al pintado se limpió toda la superficie de la carcasa eliminando cualquier impureza que se pudiese presentar. Una vez limpia toda la carcasa, se aplicó primer. Terminando la aplicación del primer y su secado se procedió a pintar la carcasa. Los colores que se designaron fueron los colores representativos de la U.N.A.M., es decir azul y oro, predominando el color azul y en la parte posterior y lateral inferior de la carcasa se pintaron franjas de color dorado.



Figura 78. Carcasa con pintura aplicada.

6. Colocación de calcomanías. Ya para terminar por completo ya fabricación de la carcasa, se colocaron calcomanías de la U.N.A.M. y de la F.I. tanto en costados como en la parte trasera y superior de la carcasa, haciendo alusión de su diseño y fabricación realizados en esta casa de estudios. Para consumir la fabricación de la carcasa, se aplicó una base abrillantadora para mantener el color original y evitar una apariencia opaca.



Figura 79. Finalización de la carcasa.

3.5 Acoplamiento de los dispositivos.

Continuando con el desarrollo de la fabricación de la silla de ruedas, la distribución de todos los dispositivos eléctricos y mecánicos que se incorporan para el funcionamiento de la misma tenían que seguir los planos de diseño, ya que el objetivo recaía en aprovechar en gran medida el espacio disponible. Las dimensiones de la silla de ruedas se respetaron en todo momento.

Los dispositivos situados en la base laminar son los siguientes:

- Gato eléctrico.
- Circuito electrónico.
- Control del circuito electrónico.
- Control del respaldo.
- Disipadores.
- Batería.
- Amortiguadores.

Para el acomodo de todos los dispositivos se siguió en gran medida los planos de distribución del diseño realizado en CAD, pero dadas algunas variaciones dimensionales de los dispositivos finales, existieron pequeñas modificaciones en dicha distribución que no afectaron el resultado final.

3.5.1 Acoplamiento del gato eléctrico.

Uno de los dispositivos más importante por su función y posición fue sin duda el gato eléctrico, el objetivo principal era de no rebasar los 16cm antes de llegar a la parte trasera de la silla de ruedas determinados en el diseño asistido por computadora.

En la instalación del gato eléctrico se realizaron cambios en el acomodo que se diseñó de un principio. Para el primer acomodo se ideó que el gato tomase una posición ortogonal a los tubos frontal y trasero, a una distancia de 16cm con respecto al límite estructural trasero, pero no se tenía contemplado el eje transversal de las llantas para posicionar el gato; por lo que se planeó una nueva posición que consistió en que el gato eléctrico se posicionara paralelamente a los tubos frontal y trasero de la base estructural considerando la misma distancia con respecto a la parte de atrás.

El acoplamiento del gato eléctrico se llevó a cabo posicionándolo exactamente en su lugar predeterminado, sin que ningún otro objeto obstruyera su postura, se marcó con lápiz en la base laminar la ubicación final. Para la continuación del proceso de acoplamiento, se barrenó la base del gato en cuatro puntos con broca de $\frac{1}{4}$ " de diámetro, terminando éstos barrenos, se posicionó el gato en la base laminar y se barrenó en esta ocasión a la lámina, con la precaución de no perforar los tres tubos de soporte de la base tubular.

Finalmente con los barrenos realizados, se sujetó el dispositivo electromecánico con cuatro tornillos de $\frac{1}{4}$ " de diámetro y $\frac{1}{2}$ " de longitud, con sus respectivas tuercas de presión.



Figura 80. Ensamble de gato eléctrico a la estructura.

3.5.2 Acoplamiento del circuito, control electrónico y control del respaldo.

En el ensamble, el circuito electrónico se colocó por la parte frontal del gato eléctrico con el fin de poder trasladar los cables de los *encoders* sin obstáculo alguno; otra razón por la que se ubicó en ese lugar fue para evitar sobrecalentamiento en el circuito.

Para poder acoplar el circuito, previamente se realizó una caja protectora de material aislante, con la cual se pretende evitar que cualquier tipo de polvo o suciedad ingrese al circuito y evitar algún tipo de corto circuito. De no existir esta caja, tendría contacto directo con la base laminada ocasionando desajustes e interferencias en el circuito. La geometría de la caja es de un paralelepípedo de 15cm de largo por 12cm de ancho por 4cm de profundidad.

Posteriormente se realizaron tres barrenos de 1/8" de diámetro a una de las caras del paralelepípedo que actuaría como base de la misma, seguido de esto a la cara opuesta de la base se le realizó un corte de forma rectangular para que pudiesen pasar los cables del circuito sin ningún problema y generar la transferencia de calor por convección libre.

Con las caras completadas y los barrenos establecidos, el proceso por el cual se unieron las caras de la caja protectora fue mediante el uso de silicón líquido. Con la certeza de que no fallaría por las pruebas previamente realizadas, se armó la caja y para su fijación a la base laminar fue mediante el uso de tres tornillos de 1/8" de diámetro tres rondanas de presión y sus correspondientes tuercas.



Figura 81. Acoplamiento de circuito.

Por otra parte, el control electrónico se ensambló en la parte trasera de la silla de ruedas, es decir, entre el eje de las llantas y el tubo de la base. El procedimiento para instalar el control fue prácticamente el mismo que el del circuito electrónico. Con el mismo material aislante, se fabricó un pequeño paralelepípedo con dimensiones 15cm de largo por 8cm de ancho y 4cm de profundidad; al igual que el anterior paralelepípedo, se realizaron tres barrenos de 1/8" de diámetro a la cara que se tomó como base.

Para concluir se unieron las caras de la caja con silicón líquido y se instaló colocando tres tornillos de 1/8" de diámetro con sus respectivas rondanas de presión y tuercas.

Así mismo, para el control del respaldo fue necesario fabricar una caja similar a las anteriormente mencionadas, las dimensiones de ésta fueron muy parecidas a las del control electrónico es decir; 13cm de largo, 9cm de alto y 3.5cm de ancho, una vez concluida el corte de sus caras, la unión de las mismas se realizó con silicón líquido seguido de esto se procedió al ensamble con la lámina, para ello fue necesario barrenar tanto la cara del paralelepípedo como a la lámina y posteriormente fue fijada con tornillo de 1/8" de diámetro, rondanas de presión y tuercas.



Figura 82. Circuito de control y respaldo ensamblados.

3.5.3 Acoplamiento de disipadores.

Continuando con el acoplamiento de los dispositivos, la siguiente instalación fueron los disipadores de calor. Estos fueron colocados por delante del circuito electrónico y a un costado de la batería, en la sección frontal lateral de la estructura.

Tomando ventaja de la geometría de sus bases, la altura fue suficiente para no colocar algo como plataforma. Además cuentan con barrenos, que posteriormente funcionaron como guía para marcar el piso y barrenar, haciendo coincidir los orificios.

Para tener la certeza de que no se moverían los disipadores al momento de poner en acción la silla de ruedas, se instalaron dos tornillos a cada disipador de 1/8" de diámetro y 2 1/2" de longitud y se fijaron con rondanas de presión y tuerca.

3.5.4 Acoplamiento de la batería.

El último dispositivo que se instaló y no por ello menos importante fue la pila. Tomando en cuenta de que éste dispositivo es posiblemente el más pesado, la ubicación correspondiente a este dispositivo fue en la sección frontal de la silla de ruedas teniendo en mente dos propósitos fundamentales.

Uno de los propósitos por el cual se le asignó este lugar, es para facilitar la recarga de ésta sin tener que mover o desmontar algún otro dispositivo al momento de su descarga normal por uso.

El otro motivo radica en que, dado su gran peso, el situarlo en esta sección de la estructura nos ayudaría en cierta medida como contrapeso del gato eléctrico y del mismo usuario final.

La posición en la cual se acomodaría la batería es de manera recostada dirigiendo los postes de carga hacia el frente de la silla de ruedas por el motivo de la recarga. Para sujetar la pila se optó por fabricar un par de abrazaderas angostas y rectangulares, utilizando

secciones de la misma lámina que se empleó como soporte de los dispositivos, el objetivo fue cruzar estas abrazaderas a través de la pila en forma de “tache”. A las abrazaderas fabricadas se les realizó un barreno en cada extremo de $\frac{1}{4}$ ” de diámetro al igual que a la base laminar. Para concluir con el acoplamiento de dispositivos, se le colocó tornillos de $\frac{1}{4}$ ” de diámetro y $\frac{1}{4}$ ” de longitud acompañados de sus tuercas de seguridad.



Figura 83. Batería acoplada a la estructura.

3.5.5 Sistema de transportabilidad de la silla de ruedas.

Para cumplir con el objetivo de transportabilidad, se decidió instalar un sistema similar a los que poseen las maletas de viaje. Éste sistema permite trasladar la silla de ruedas de una manera práctica, segura y sin emplear mayor esfuerzo.

Haciendo uso de las ruedas traseras, el sistema se facilitó ya que se adoptaron tubos y guías de una maleta que ya no tenía uso. El sistema del cual se habla consta de dos tubos de $\frac{3}{4}$ ” que a su vez, contienen una sección de tubo para cada uno de aproximadamente $\frac{5}{8}$ ” de diámetro que funcionan como guía de los tubos antes mencionados. En el extremo frontal de este sistema se encuentra la agarradera que hace posible una transportabilidad sencilla.

En el otro extremo del sistema se tiene anclado a los tubos una masa de plástico de forma rectangular de dimensiones: 33cm de largo, 12 cm de alto y con espesor de 0.35cm, ésta sufrió modificaciones ejerciéndole cortes y sobre todo creándole dos barrenos coincidentes con los ya existentes en la base tubular de $\frac{3}{8}$ ” de diámetro para que por medio de éstos se introdujeran los tornillos de las llantas traseras, que a su vez se sujetaran con las tuercas de seguridad.



Figura 84. Acople de sistema de transporte.

3.5.6 Sistema de soporte y amortiguación del asiento.

Para lograr la estabilidad del asiento y su correcta interacción con la estructura de nuestra silla de ruedas, se implementó un sistema de amortiguación que consiste en tres amortiguadores de gas. La distribución de éstos amortiguadores consta de uno en cada extremo posterior del asiento y un tercero en la parte frontal media de éste.

La selección de estos amortiguadores se llevó a cabo tomando en consideración la altura mínima permisible y la capacidad de carga distribuida en el área del asiento

3.5.6.1 Acoplamiento de amortiguadores.

Para el sistema de amortiguamiento posterior, se utilizó como elemento de sujeción, en la parte superior, dos secciones de tornillo sin fin de $\frac{1}{4}$ " anclado a la sección tubular de la estructura del asiento. El ojillo superior de éstos amortiguadores ingresa en el elemento de sujeción el cual es retenido entre sus respectivas tuercas.

En la parte inferior se fabricó una base de aluminio con perfil "L" de dimensiones 11cm de largo por 6 cm de alto con espesor de 1.2 mm, para la base de esta sección se realizaron tres barrenos coincidentes con los implementados para el elemento de sujeción del eje y caja reductora. En la sección lateral de la misma se hizo un barrenos de $\frac{1}{4}$ "; aunado a éste, se incorporó una sección metálica de 2.5 cm largo por 2cm de alto y 1cm de ancho, la cual permite que el amortiguador se encuentre en perpendicularidad con el asiento. Como elemento de sujeción se utilizó un tornillo de $\frac{1}{4}$ " por $1\frac{1}{2}$ " y tuerca de seguridad.

Para finalizar el acoplamiento de los amortiguadores se perforó la lámina en la parte posterior con un diámetro de $\frac{5}{8}$ " por el cual atraviesa el respectivo amortiguador.

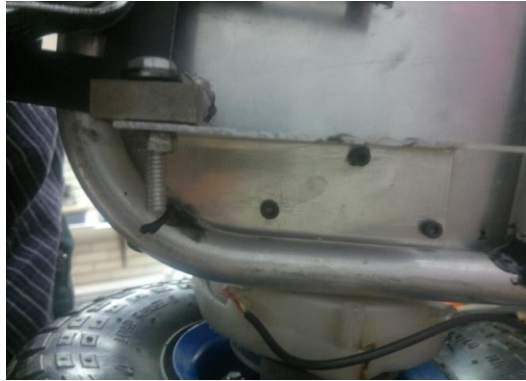


Figura 85. Acoplamiento de amortiguador trasero.

Para el acoplamiento del amortiguador en la parte frontal del asiento se instaló otra sección “L” de aluminio para conformarla como base del fin del pistón, ésta base cuenta con dimensiones: 5 cm de largo, 4 cm de ancho, 2 cm de alto y con un espesor de 0.3cm, y está sujeta al asiento, en este caso los elementos de sujeción que se utilizaron fue un par de tornillos de 1/8” de diámetro con sus respectivas tuercas y rondanas de seguridad. En la parte central de la base se realizó un barreno de 1/4” en el cual accesa la sección superior del amortiguador hasta la superficie del asiento.

El extremo inferior del amortiguador está directamente sujeto a la placa laminar la cual fue barrenada con broca de 1/4”. Dicho barreno cumple con el propósito de permitir la entrada de la cuerda del amortiguador. La cuerda del amortiguador está sujeta al piso de aluminio laminado mediante su propia tuerca.



Figura 86. Acoplamiento superior.



Figura 87. Acoplamiento inferior.

3.6 Acoplamiento de dispositivos de interacción física.

Atendiendo los requisitos que solicitó el usuario, se diseñó y construyó un control pensado en la optimización del manejo de la silla de ruedas. Éste control cuenta con diferentes botones, y se colocaron de tal manera que el operador acceda al manejo y manipulación de los elementos controlados.

La ubicación de los botones se ordenó de acuerdo a la posible cantidad de uso en un día de operación; es decir, los botones más utilizados como los que controlan la dirección y tracción de la silla de ruedas se localizan en la parte inferior del control pensando en el alcance del usuario con sus muñones. Los botones que hacen funcionar al respaldo se instalaron en diferentes lugares, uno se ubicó en el costado izquierdo del control y el segundo se encuentra en una cara lateral de la carcasa, suponiendo que el consumidor lo tienda a activar de cuatro a seis ocasiones, y por último en la parte superior se ensambló los botones referentes al gato eléctrico que son solamente dos y en caso de activarlos serán la misma cantidad de veces que el botón del respaldo.

Para el acople de los botones del gato eléctrico, se barrenó la base del control con broca de media pulgada, para que de esta forma se introdujeran los botones y en la parte inferior fuesen sujetos con rondana y tuerca. De igual forma, se realizó el mismo procedimiento para los botones de tracción y dirección de la silla de ruedas, con la diferencia de que fueron sujetos únicamente con tuercas.

En cuanto a los botones referentes al respaldo, por una parte se procedió a cortar la base del control generando un rectángulo con las dimensiones necesarias para la introducción y sujeción con el propio marco del botón. También se recortó en la carcasa otro rectángulo con las mismas dimensiones para la colocación del segundo botón activador del respaldo.

Recordando la necesidad de instalar luces en la parte frontal de la carcasa, se diseñó un circuito para que las lámparas de LED se activaran o desactivaran en el momento que el usuario lo desee. Para que esto fuese posible, se situó un interruptor de corriente, el cual se encuentra en la parte superior del control.

Nuestro siguiente reto, fue acoplar el control al asiento. Sugiriendo varios mecanismos se llegó a la conclusión de manipular una corredera de mueble para que tuviese la característica de deslizamiento ya sea hacia arriba o hacia abajo. En la primera dirección para tener el mejor alcance y control sobre la silla de ruedas, y en la segunda dirección provocando un buen reclinamiento del respaldo.

La corredera que se compró tuvo cambios en su forma original, principalmente en su longitud, recortándola aproximadamente diez centímetros y a su vez eliminando una de las dos bases que contenía. Por otro lado, en la parte superior de la corredera se acopló un par de bases, una de ellas enfocada para el control y la otra para sujeción en el asiento de la silla de ruedas.

La base que reposa al control se sujetó por medio de dos tornillos de cinco treintidosavos de diámetro con sus respectivas tuercas. Para la base acoplada al asiento se requirió de igual manera de un par de tornillos y tuercas. Cabe señalar que el piso de la silla de ruedas también sufrió un corte a la altura de la corredera para no interrumpir el reclinamiento del respaldo.



Figura 88. Soporte para el control.



Figura 89 Control.

CAPÍTULO 4

RESULTADOS Y **CONCLUSIONES**

4.1 Resultados

Los resultados logrados durante el desarrollo de esta tesis fueron los siguientes:

- Elaboración de un diseño innovador, compacto y portátil utilizando el diseño asistido por computadora (CAD).
- Mediante la ingeniería asistida por computadora (CAE), se comprobó la factibilidad del diseño y asignación de material al arrojar los resultados del esfuerzo último entre la base del piso y el acoplamiento del eje de 257MPa y un desplazamiento máximo en la base de 1.43mm.
- Para el análisis estructural del respaldo en posición de ascenso y descenso (rampa), se obtuvo que la deformación máxima se concentró en la parte media del respaldo con una deformación de 0.285mm y el esfuerzo máximo se dio en los empotramientos de los tubos con 19.2MPa.
- Para la posición de uso, la deformación máxima fue de 0.154mm en la parte superior del respaldo. El esfuerzo máximo se dio en los empotramientos de los tubos con 3.2MPa.
- Elaboración física y funcional del diseño planteado.
- Estructura fabricada con aluminio, permitiendo una masa menor respecto a las sillas eléctricas ya existentes en el mercado.
- Ingreso y egreso del usuario a la silla de ruedas mediante el ajuste de altura del asiento e inclinación del respaldo.
- Capacidad de transporte manual empleando un sistema mecánico de agarradera.



Figura 90. Prototipo fabricado.

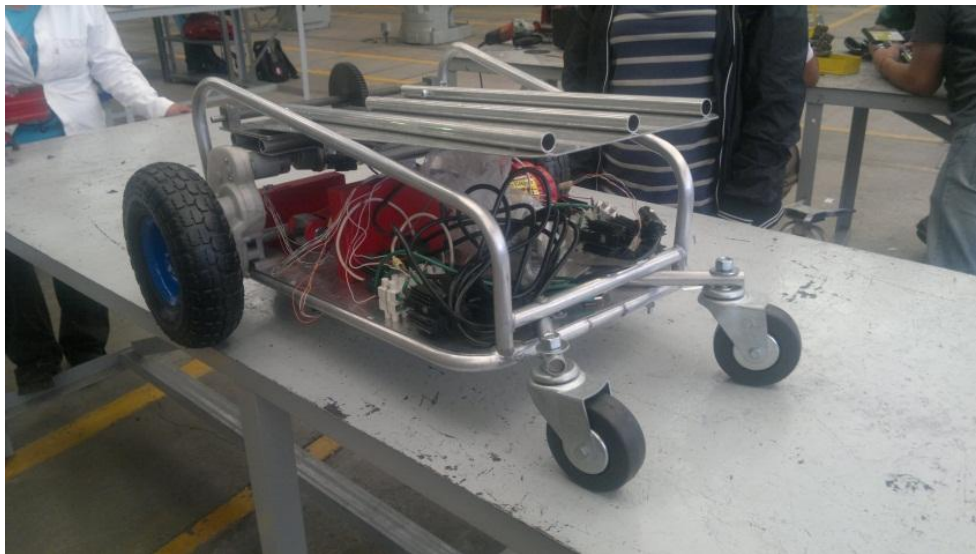


Figura 91. Prototipo en posición portátil.

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



Figura 92. Prototipo en posición de uso.

4.2 Áreas de oportunidad

Dentro de las áreas de oportunidad que se encontraron en la realización de esta tesis, resalta la idea de diseñar un asiento-gimnasio, con el cual el paciente pueda ejercitar su cuerpo a la vez que usa su silla de ruedas. Este asiento tendría que estar diseñado para esta silla de ruedas y poder ser montable y desmontable con relativa facilidad.

En cuanto al diseño de este asiento-gimnasio, se propuso poner como asiento una especie de disco “twister” el cual tiene la capacidad de girar en su mismo eje, con lo cual el paciente podría girar su cuerpo de un lado al otro.

Por otro lado, se propuso que el respaldo contara con ligas las cuales, de alguna manera, pudiese utilizar el usuario para estirarlas y así ejercitar los músculos de su tronco y abdomen.

En cuanto al diseño de la estructura, se puede replantear el posicionamiento de los dispositivos, así como cambiar algunos de estos por dispositivos más pequeños pero con la misma funcionalidad, con el objetivo de disminuir las dimensiones de la silla de ruedas.

Por último, el gato eléctrico que fue comprado, se puede cambiar por uno más pequeño y más ligero, y que preferentemente sea más estable estando en su configuración de mayor altura.

4.3 Conclusiones

Como especificación, en cuanto al diseño estructural, se estableció que la silla soportara a una persona de hasta 800N, para esto, se realizó una propuesta de diseño a la cual se le hizo un análisis por elemento finito en CATIA, el cual demostró que aún con una carga de 4000 N, la estructura no se fractura, sólo se pandea 1.43mm.

Tomando en cuenta que los motores están diseñados para desplazar cargas de hasta 1000N, el usuario final no deberá ejercer una fuerza mayor a 700N, ya que sumado a la carga de la silla de ruedas eléctrica se acercaría a dicho límite permisible.

De este modo, se estableció que la silla de ruedas establezca una carga máxima de 250N para que pudiese desplazarse y al mismo tiempo ser transportable. Esto no fue logrado dado que durante el proceso de fabricación y ensamble, se requirió agregar elementos no contemplados originalmente en la fase de diseño. Se registró una carga total de la silla de ruedas de 280N el cual es cercano al requerimiento.

Otra especificación fue que tuviese una larga vida útil. Esto no se pudo comprobar experimentalmente, pero el diseño y los materiales empleados fueron seleccionados para cumplir este objetivo.

De igual manera se estableció que la silla de ruedas logre albergar todos los dispositivos eléctricos, mecánicos y de control. Esto se cumplió ya que durante el proceso de diseño, en parte, las dimensiones de la estructura fueron especificadas a partir de dichos dispositivos con el fin de lograr una distribución apropiada sin perder sus características compactas y transportables.

La carcasa cumple con el propósito de brindar un atractivo visual al usuario mediante el empleo de colores de su preferencia y un diseño que asemeja a un automóvil. Así mismo se logró que dicha carcasa no incrementara significativamente la masa total de la silla de ruedas, empleando para ello fibra de vidrio y masilla automotriz. Esta última para un mejor acabado.

El otro propósito cumplido es referente a la protección de agentes externos como líquidos, polvo, elementos contaminantes e interacción humana a los dispositivos ensamblados en el piso de la estructura; y de igual manera reduce el ruido generado por vibraciones en los dispositivos. Para cumplir por completo con éste propósito se instaló tela impermeable que une al asiento con el límite superior de la carcasa.

Refiriéndose al asiento, se dio como requerimiento que este contara con una forma anatómica que respetase las formas antropométricas del paciente. Esto se logró gracias a un estudio previo sobre medidas del cuerpo del paciente e investigación sobre las formas comunes que tienen los asientos para brindar al usuario comodidad y salud a su cuerpo, pero con las respectivas variaciones debido a la condición del paciente.

Por otro lado, como requerimiento se tiene que el asiento no sea resbaladizo con la intención de proporcionar seguridad al usuario. Esto se logró utilizando una tela en el asiento lo suficientemente rugosa para no permitir deslizamiento del usuario.

Con este mismo material de recubrimiento del asiento, se logró cumplir el requerimiento de que el material permitiera la transferencia de calor y así brindarle comodidad al usuario y evitar el exceso de sudor.

Sobre el respaldo se repiten algunos requerimientos propuestos para el asiento, como que no sea resbaladizo, que cumpla con las medidas antropométricas del paciente y que permita la transferencia de calor. Estas se lograron de la misma manera que con el asiento.

Por otro lado, para el respaldo se propuso que este tuviera una interacción mecánica con el asiento la cual permitiera que el mismo respaldo funcionara como rampa de acceso al asiento por parte del usuario. A su vez, el respaldo debe lograr una posición de uso en la cual tenga un ángulo con respecto a la horizontal de entre 93 y 97 grados. Todo esto se logró gracias a un mecanismo de motor, tornillo sin fin y engrane el cual permitió que el asiento pudiera ser cambiado de posición por el paciente presionando un botón de subida y uno de bajada. De igual manera, el uso de un tornillos sin fin con forma helicoidal y un engrane de igual manera helicoidal, aseguro la restricción al respaldo de cambiar de ángulo de manera pronunciada debido al peso del paciente al recargarse en este.

Por último, para el control se consiguió que sus dimensiones fueran adecuadas para empujar en el diseño estructural de la silla de ruedas, y al mismo tiempo resistente a impactos, desgaste y manipulación. Estos requerimientos se lograron diseñando el control con las dimensiones adecuadas, ya que el control mide 17cm por 6.5cm, con lo cual empuja con el diseño del asiento. Así mismo, el material utilizado fue acrílico, el cual es un material duro de gran resistencia y aísla de manera segura la electricidad de los cables.

Finalmente se consiguió una configuración apropiada para el paciente, ya que está familiarizado al uso de botones con sus muñones, lo cual le permitirá hacer uso de su silla de ruedas sin gran dificultad.

Bibliografía.

- *Dibujo Técnico*, Spencer Henry, Dygdon John, Novak j Dmes, Alfaomega, México2003.
- *Dibujo Técnico Industrial*, Calderón Francisco, Porrúa, México 2003.
- *Mecánica de Materiales*, Ferdinand Beer, E. Russell yDewolf John, McGraw Hill, México 2007.
- *Diseño de Elementos de Máquinas*,Mott Robert, Pearson, México 2006.
- *Terapia ocupacional: teoría y técnicas*, Dulce María Ayuso,Masson, México.
- *TRIZ, la metodología más moderna para inventar o innovar tecnológicamente de manera sistemática*, Coronado Maldonado Margarito, Oropeza Monterrubio Rafael, Rico Arzate Enrique, Panorama, 2005.
- *Manual del aluminio Volumen II*, W. Hufnagel, Editorial Revertè.

Mesografía.

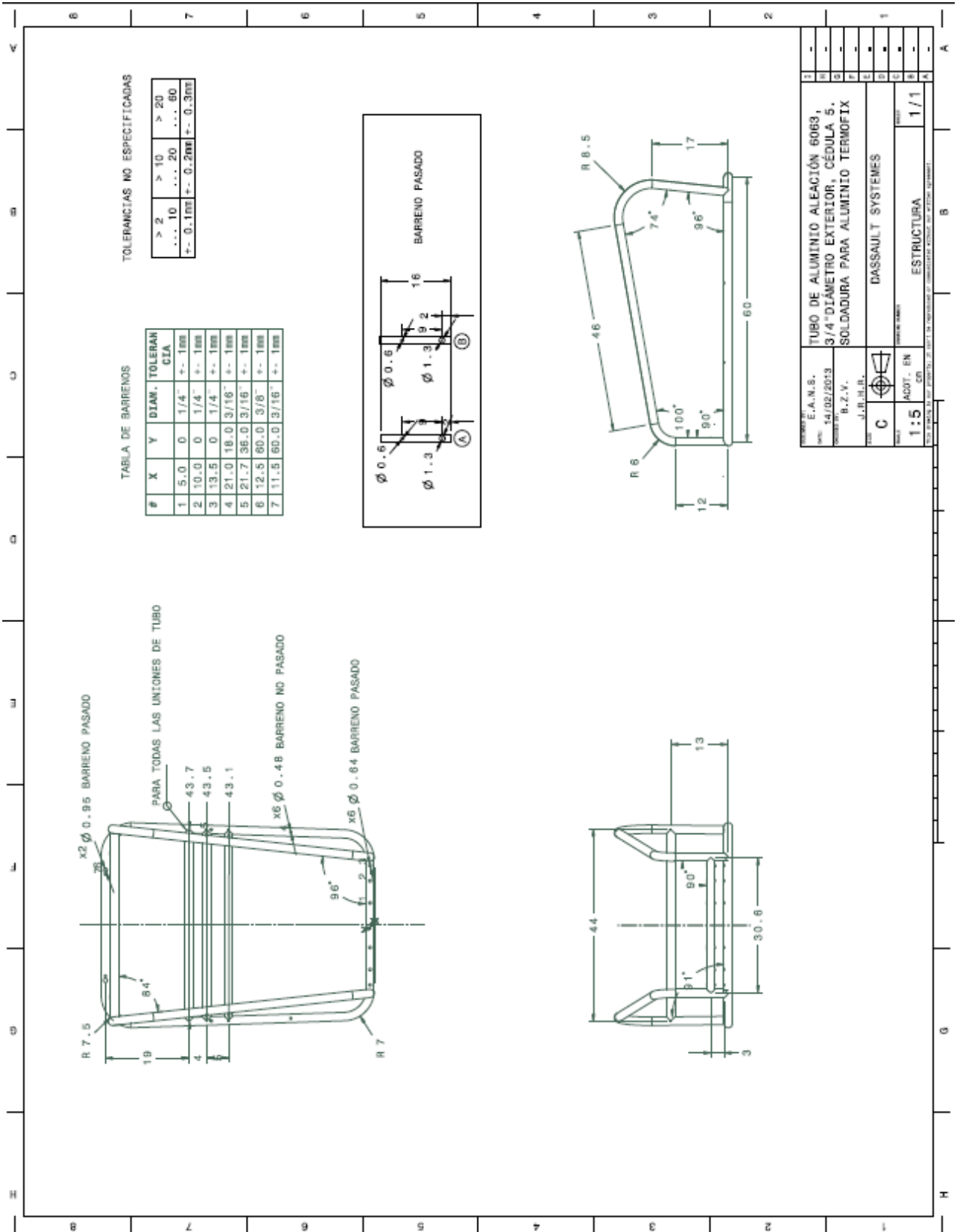
- ["Homozygous WNT3 Mutation Causes Tetra-Amelia in a Large Consanguineous Family"](#); Niemann, S.; Zhao, C.; Pascu, F.; Stahl, U.; Aulepp, U.; Niswander, L.; Weber, J.; Muller, U. (Mar 2004).; *The American Journal of Human Genetics*.
- <http://www.chairdex.com/shistory.htm>
- <http://www.guiamovilidad.com/guias-de-compra/85-tipos-de-silla-de-ruedas-manual.html>
- http://dspace.uniandes.edu.co/xmlui/bitstream/handle/1992/321/mi_1229.pdf?sequence=1

- http://vinculando.org/salud/arriba_el_bienestar_sillas_de_ruedas_elevables.html
- <http://www.estrucplan.com.ar/Producciones/Entrega.asp?identrega=81>, Lic. José Luis Melo, (Dic2002).
- http://www.midsa.com.mx/tablas/prop_ nylon.htm
- <http://www.tecniaceros.com/productos7.htm>

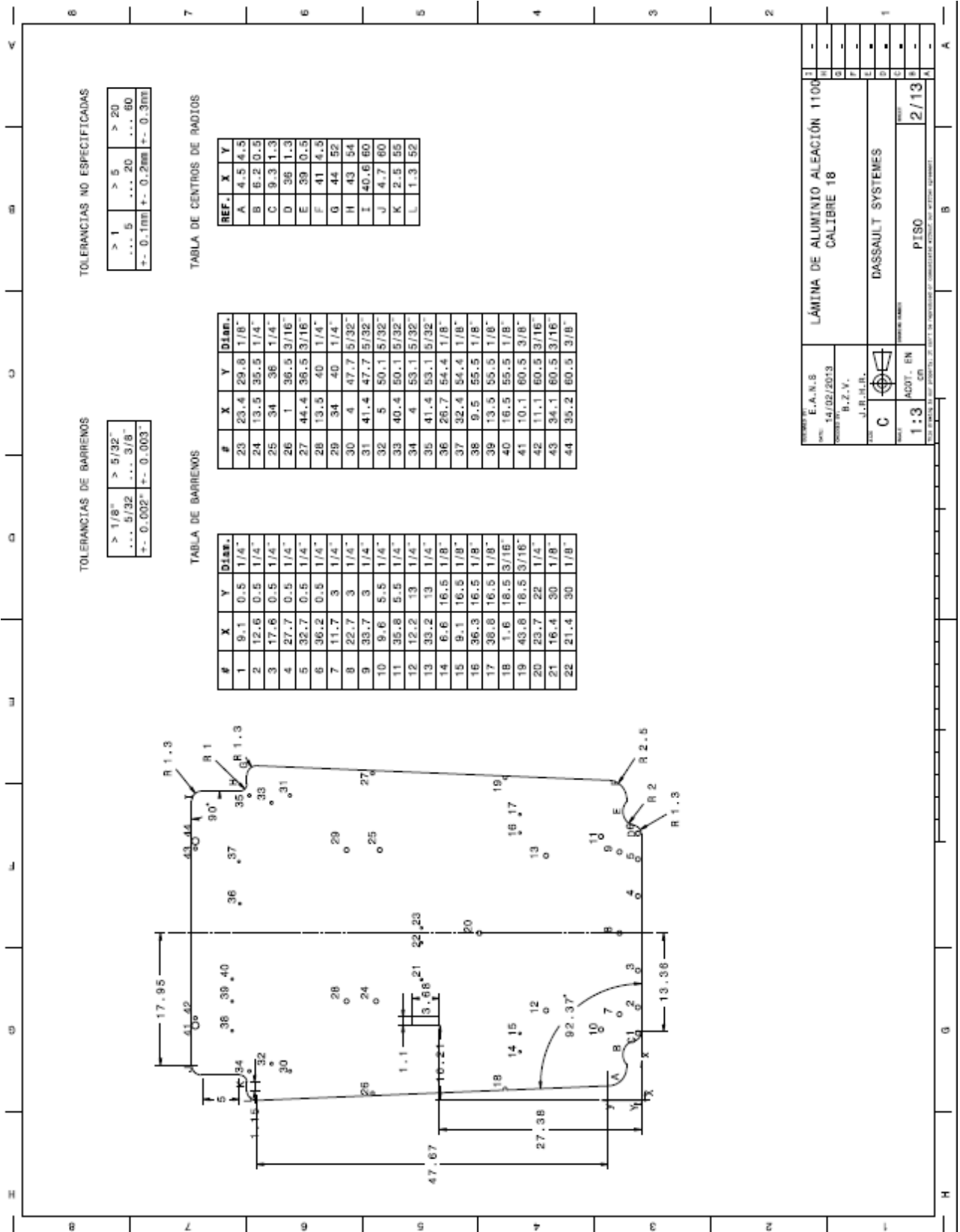
ANEXO 1

PLANOS DE PIEZAS **NO COMERCIALES**

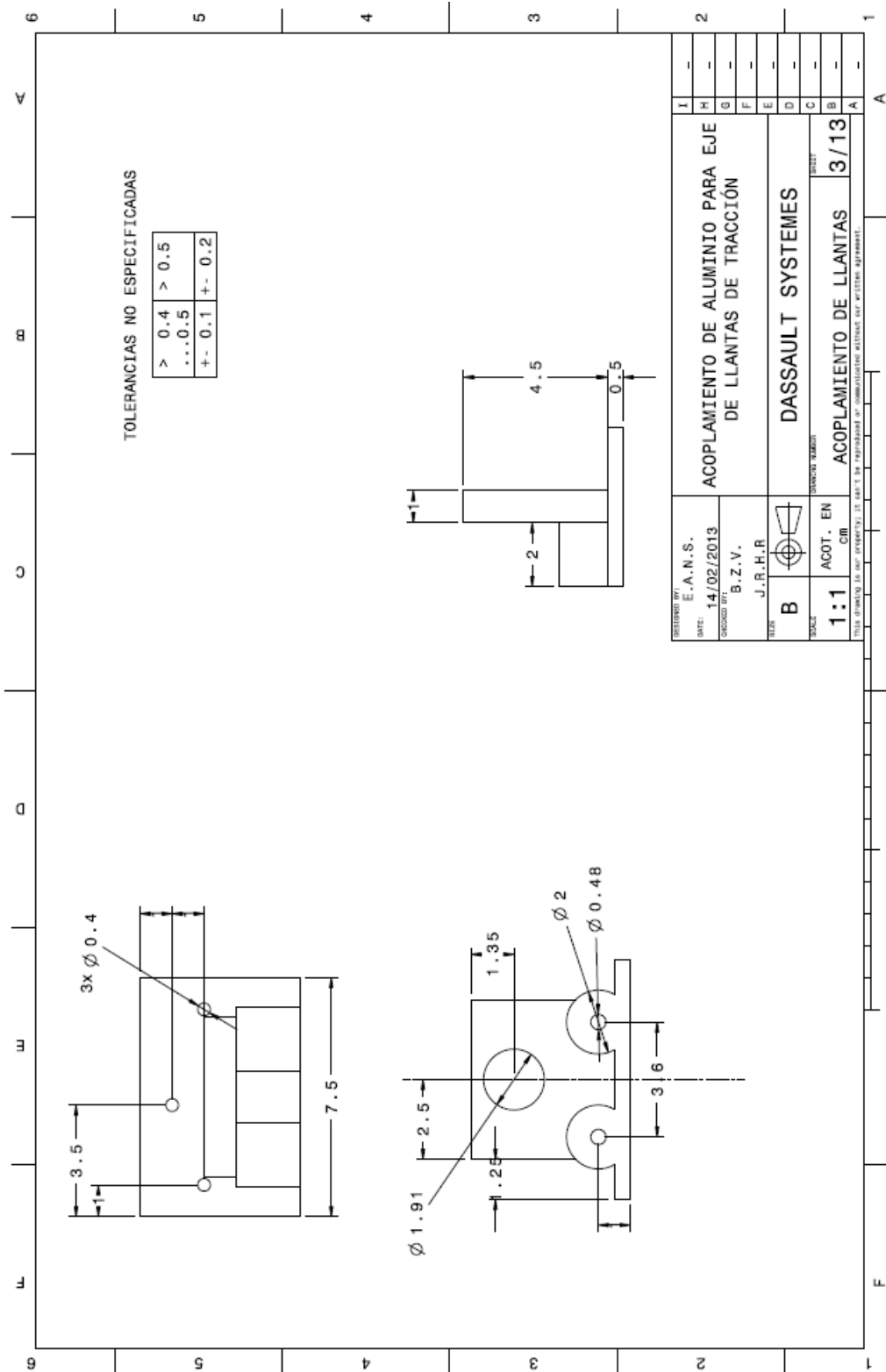
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



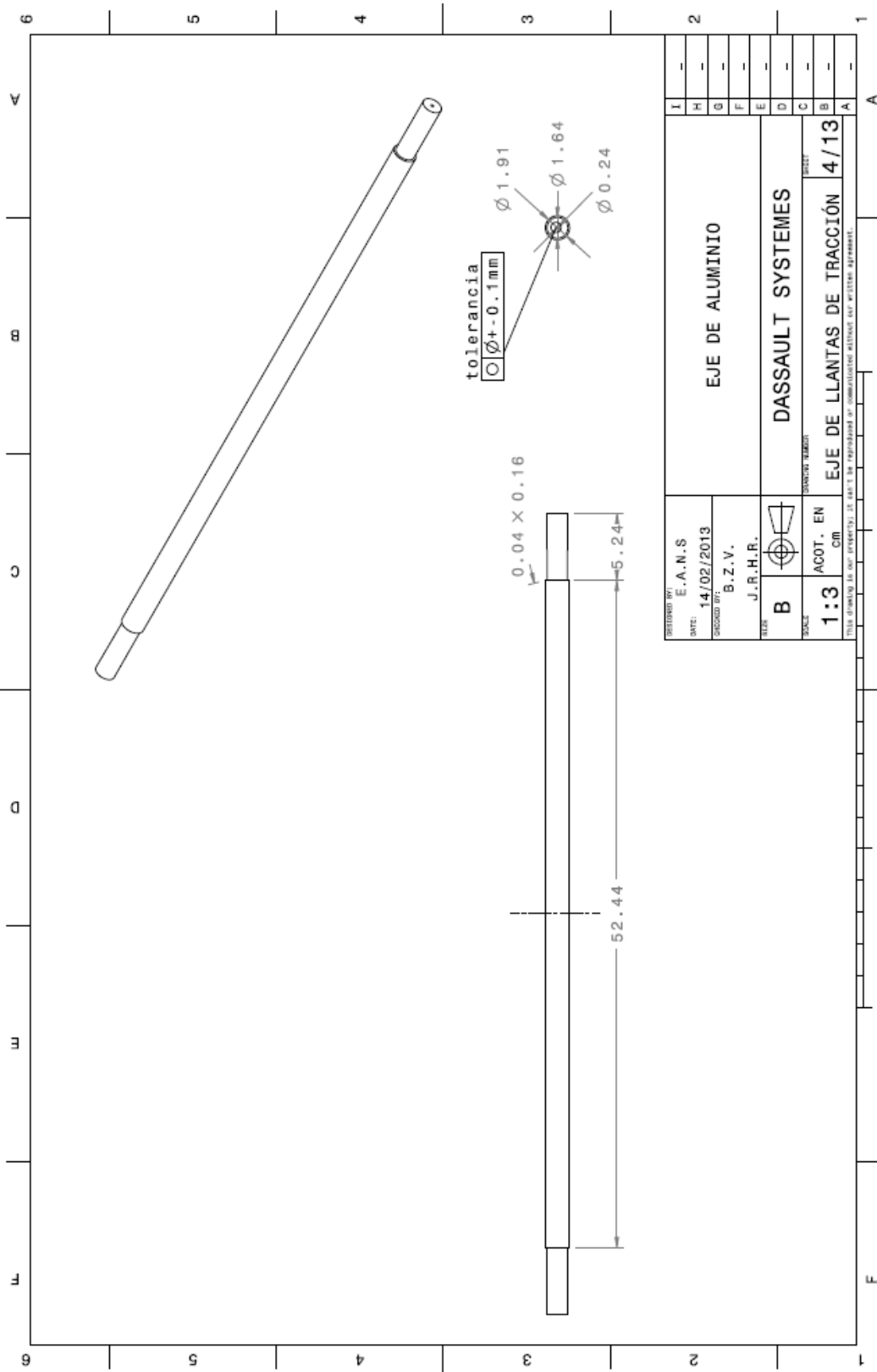
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



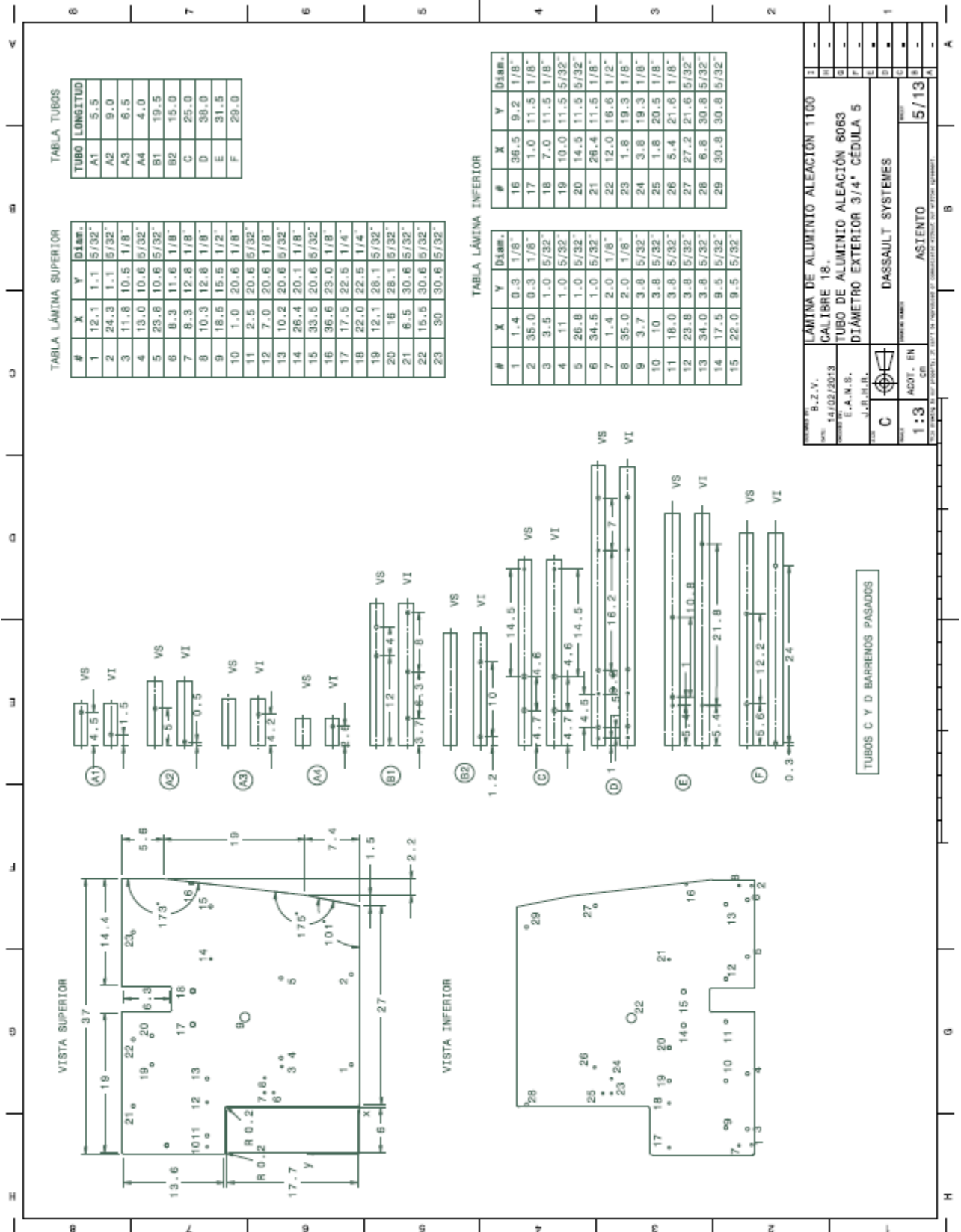
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



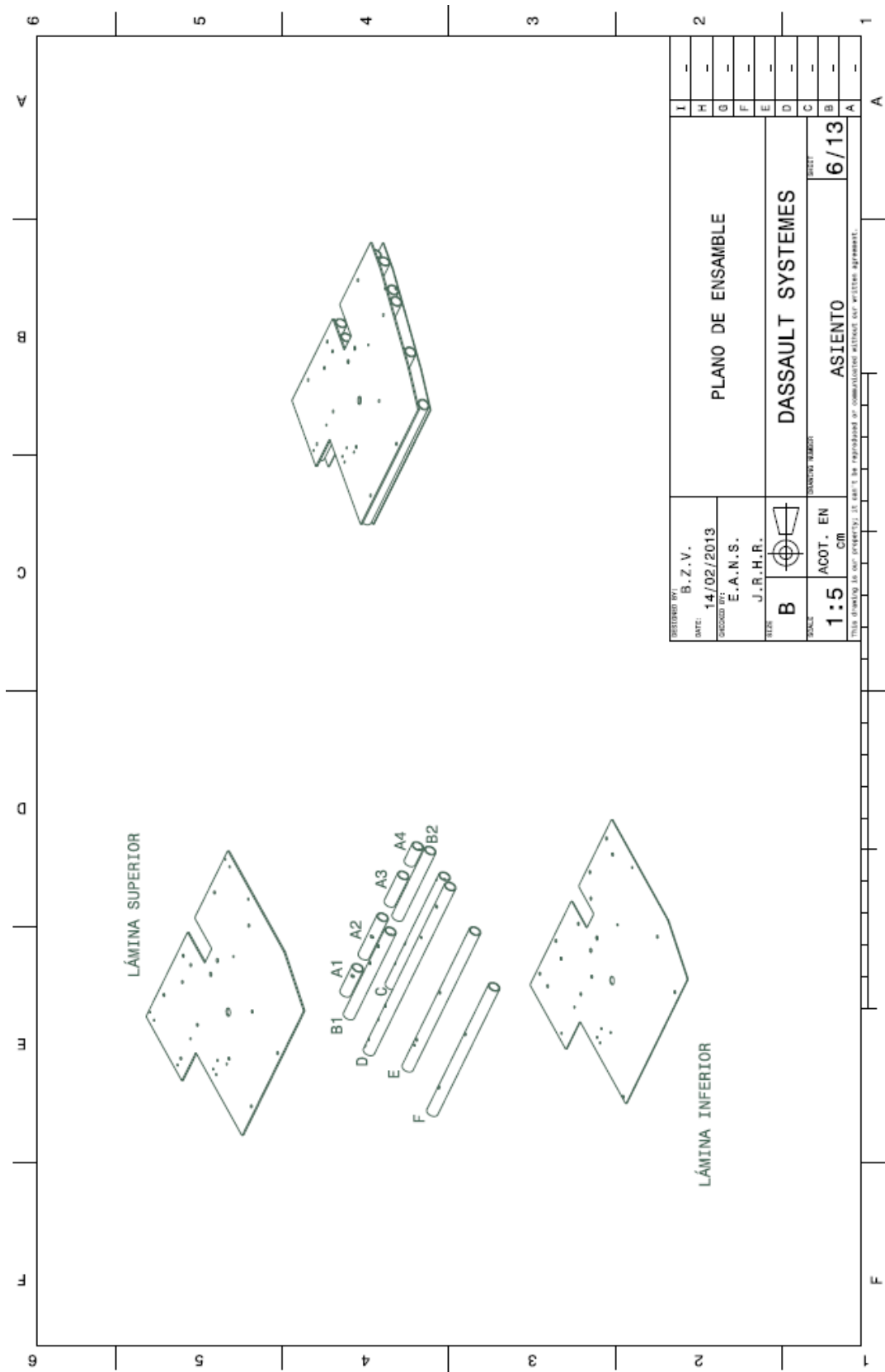
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



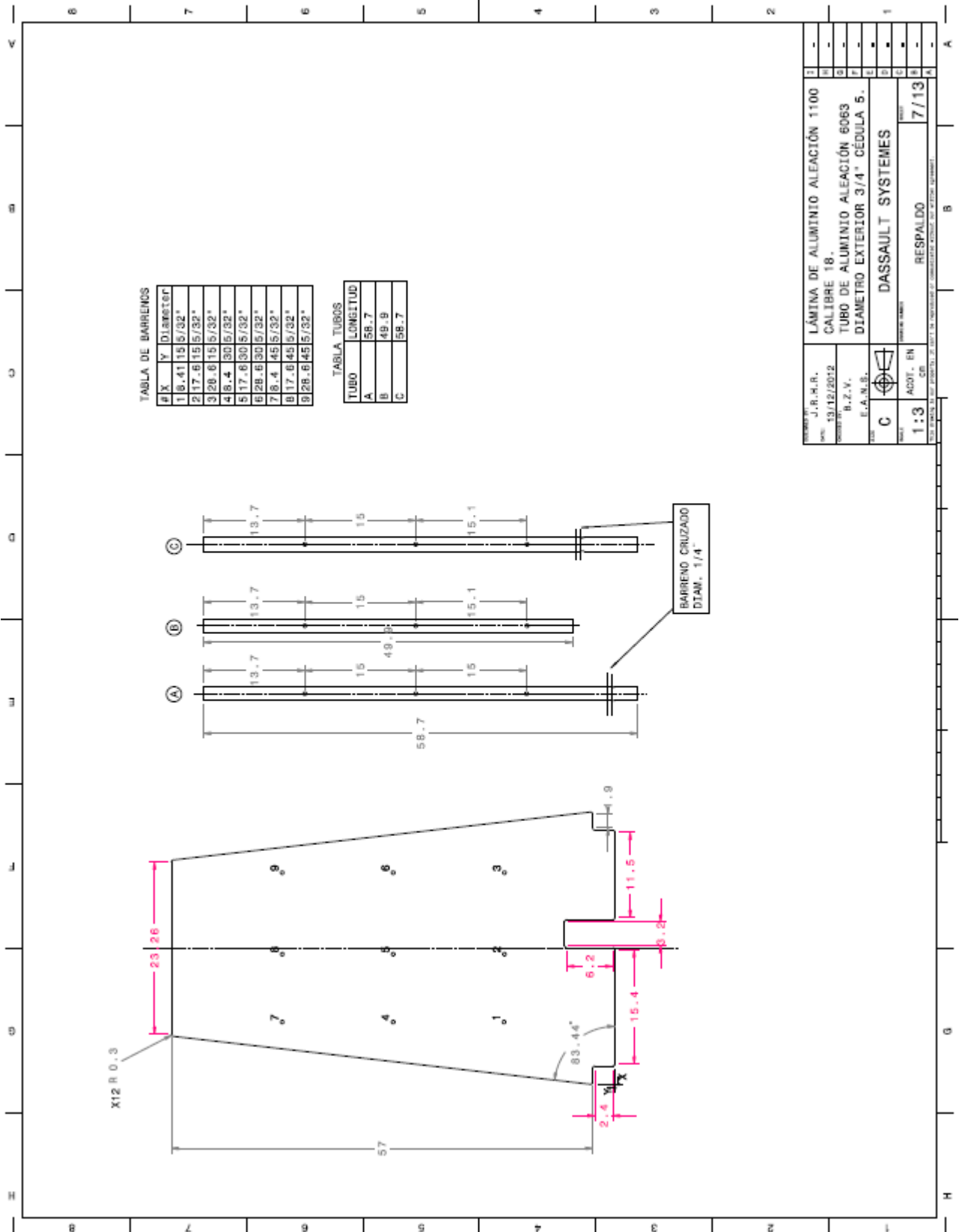
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



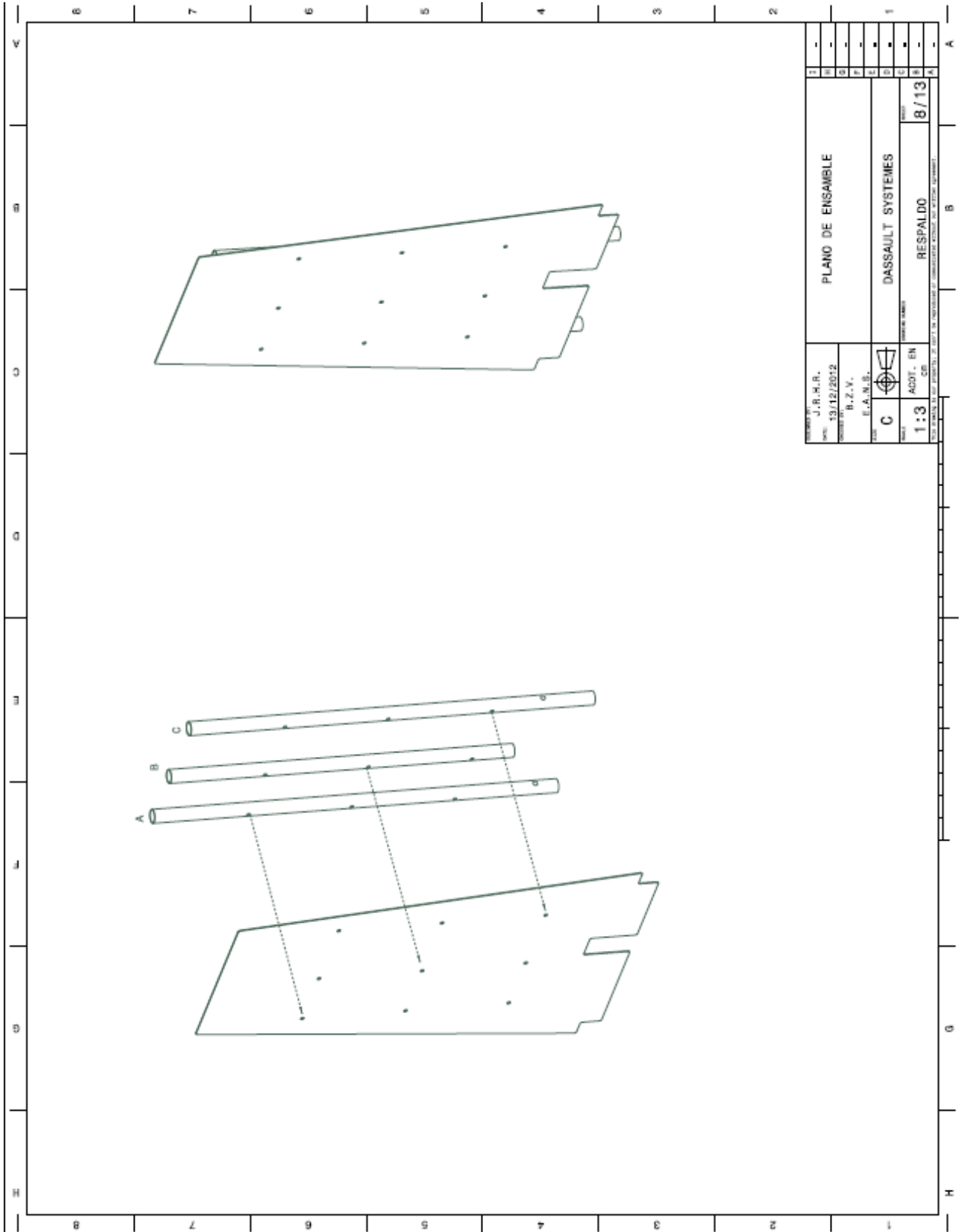
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



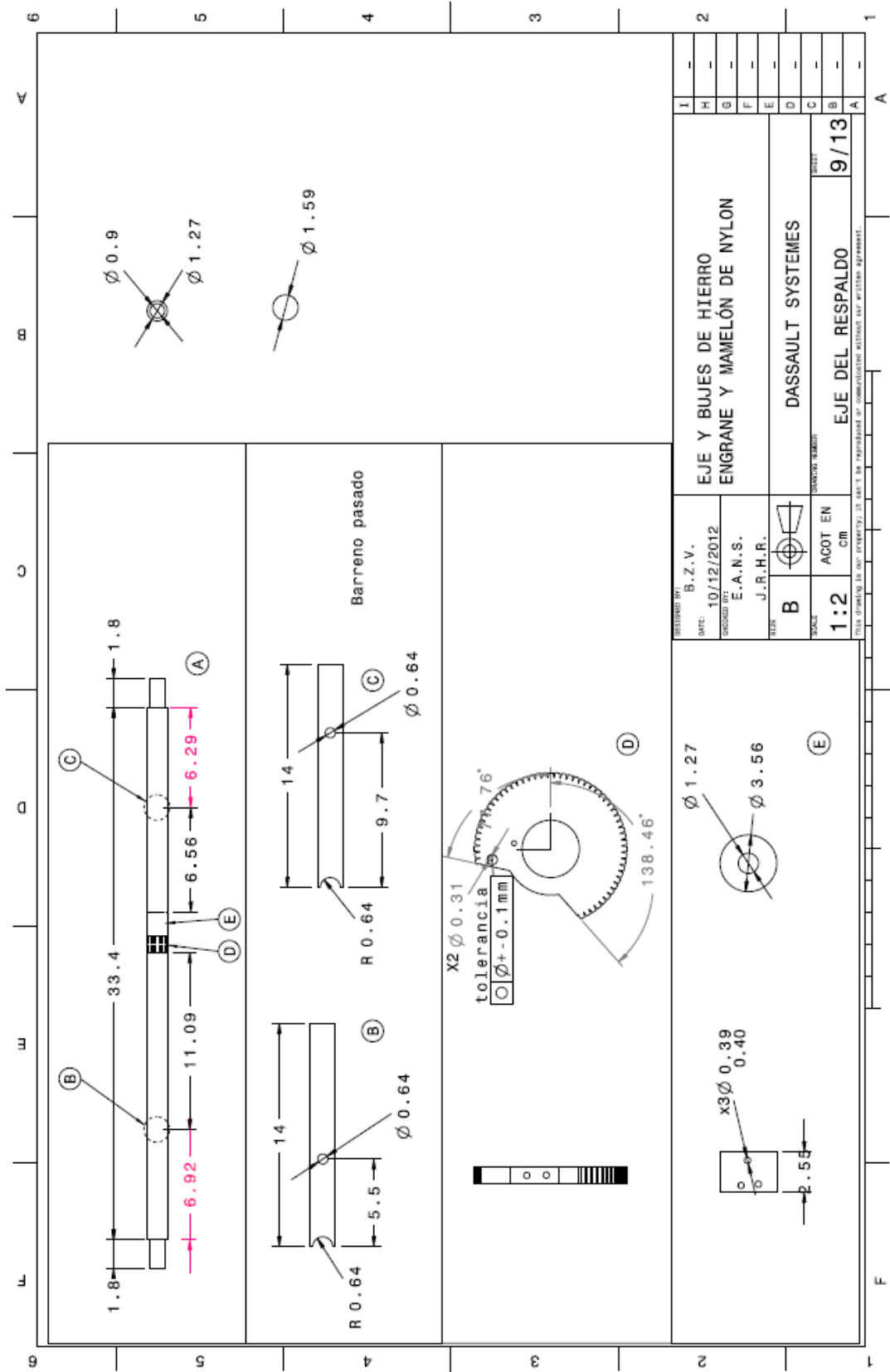
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

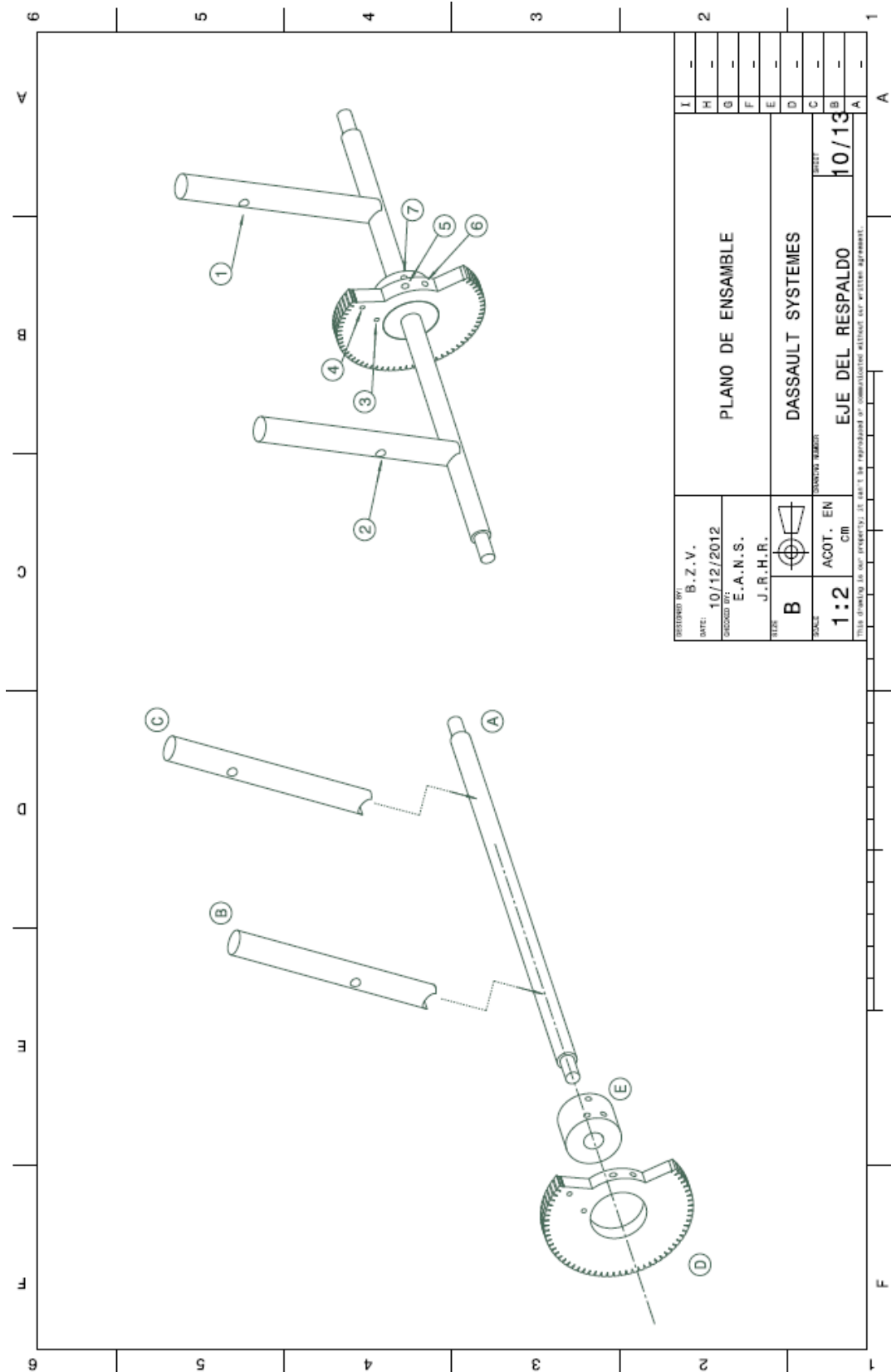


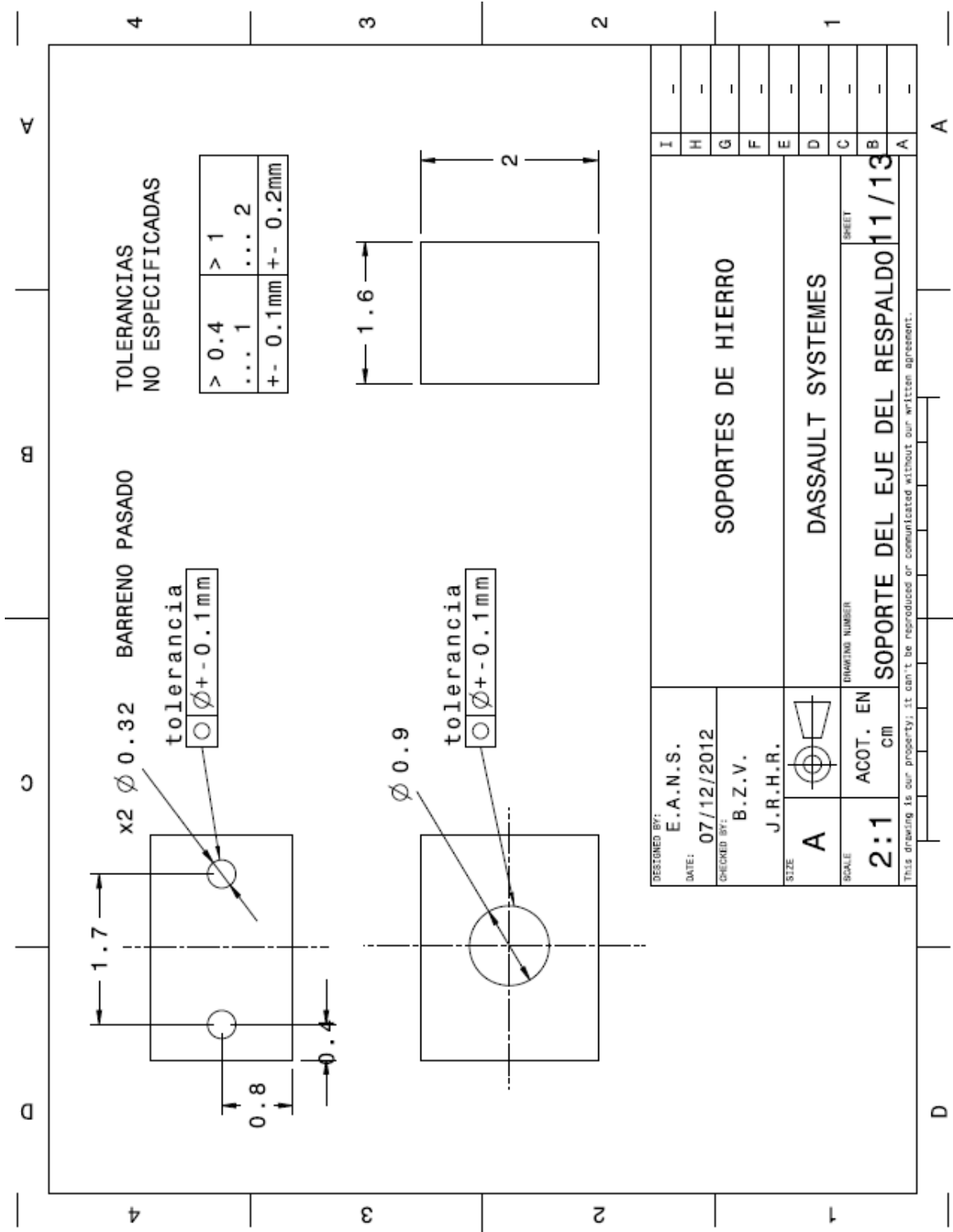
Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



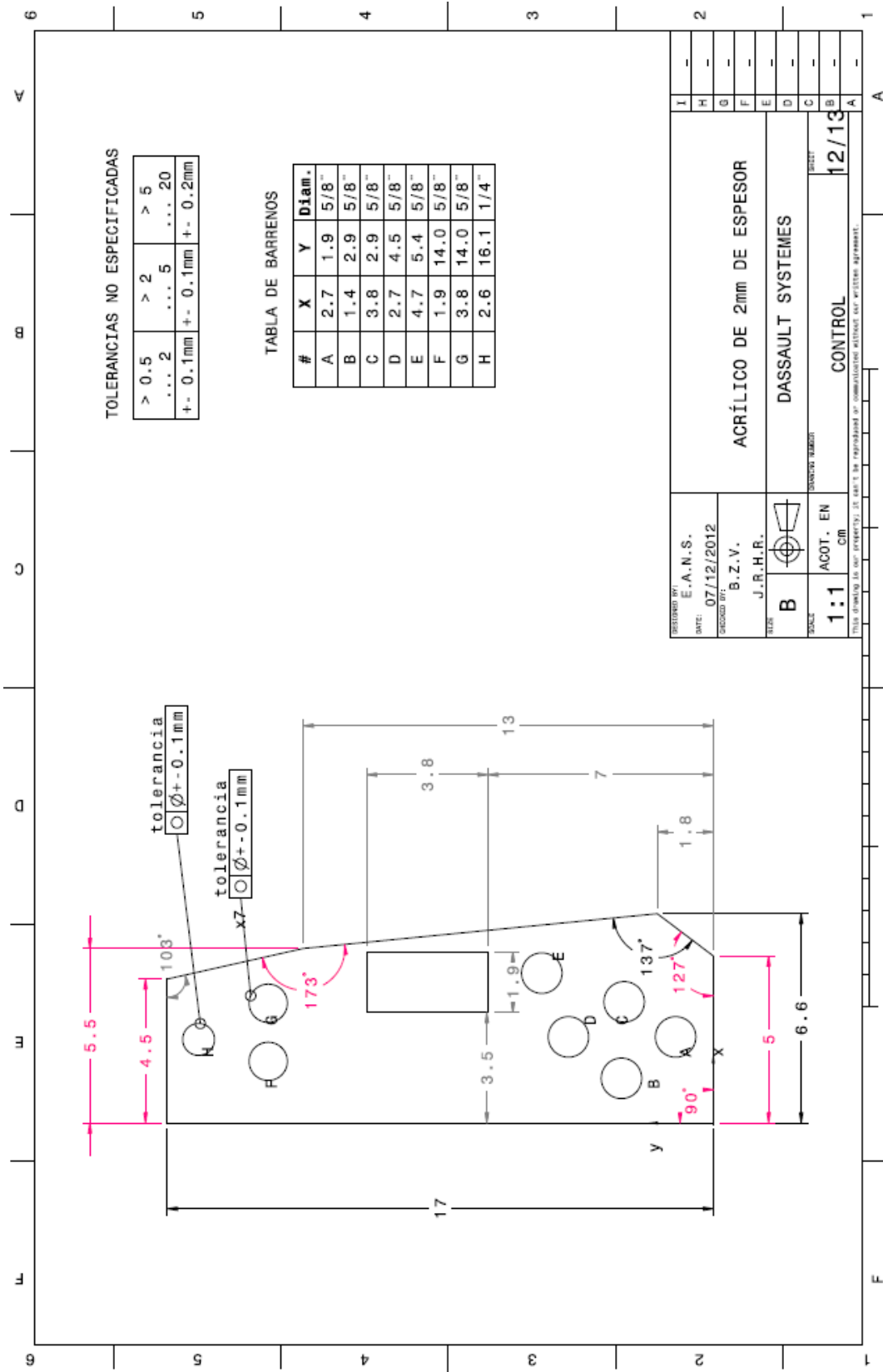
REVISOR: B.Z.V.	PROYECTO: EJE Y BUJES DE HIERRO ENGRANE Y MAMELÓN DE NYLON	FECHA: 10/12/2012	PROYECTO: EJE DEL RESPALDO
DISEÑADOR: E.A.N.S.			
PROYECTISTA: J.R.H.R.			
ESCALA: B	DIVISION: DASSAULT SYSTEMES	ACOT EN CM	FECHA: 9/13
PROYECTO: 1:2			
ESTE DIBUJO LE FUE ENTREGADO EN SU MOMENTO DE CONSULTORIA SIN QUE SE HUBIERA REALIZADO UN ANÁLISIS DE RIESGOS.			

Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.

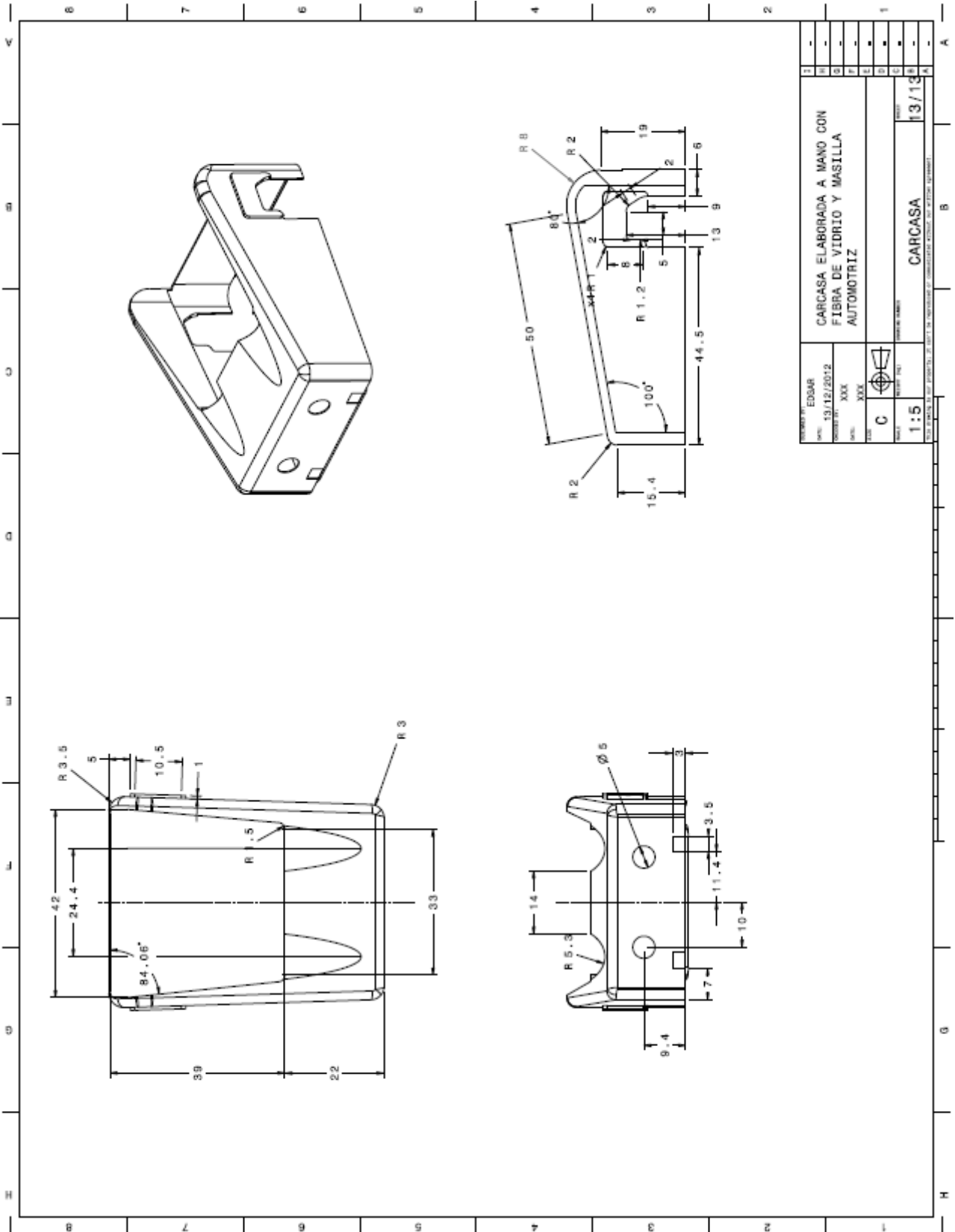




Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



Diseño y fabricación de una silla de ruedas eléctrica modular para un paciente con Amelia Congénita.



Glosario de términos.

Diseño Asistido por Computadora (CAD)

El diseño asistido por computadora es un proceso conocido por las siglas CAD, (ComputerAidedDesign), que mejora la fabricación, desarrollo y diseño de los productos con la ayuda de la computadora, mostrando el proceso completo de fabricación de un determinado producto con todas y cada una de sus características como tamaño, contorno, etc. Todo esto se almacena en la computadora en dibujos bidimensionales o tridimensionales. Con este proceso se pretende fabricarlos con mayor precisión, a un menor precio y mucho más rápido.

Ingeniería Asistida por computadora (CAE)

El término Ingeniería Asistida por Computadora CAE (ComputerAidedEngineering), engloba un conjunto de técnicas de análisis basadas en aplicaciones informáticas. Se emplea de técnicas de Método de elementos finitos (FEM). Se aplica a análisis de resistencia de materiales, de transmisión de calor y de flujo principalmente. Genera programas de mecanización de CNC y genera información para posteriores fases del proyecto de producción.