



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO

FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA

MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

Tema: DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA SILLA DE RUEDAS DE BIPEDESTACIÓN CON SISTEMA DE VERTICALIZACIÓN Y LA INCIDENCIA EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA

Trabajo de Investigación, previo a la obtención del Grado Académico de
Magister en Diseño Mecánico

Autor: Ingeniero Víctor Rodrigo Espín Guerrero

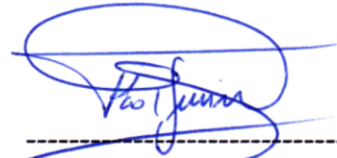
Directora: Ing. Thalía Daniella San Antonio Serrano PhD.

Ambato – Ecuador

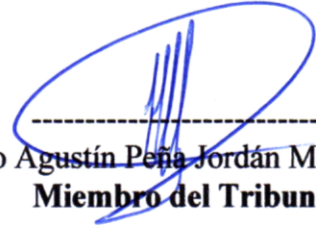
2018

A la Unidad Académica de Titulación de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica

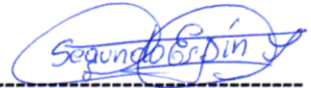
El Tribunal receptor del Trabajo de Investigación presidido por el Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg., e integrado por los señores: Ing. Francisco Agustín Peña Jordán Mg., Ing. Segundo Manuel Espín Lagos Mg. y el Ing. Gustavo David Patín Manobanda Mg., designados por la Unidad Académica de Titulación de la Universidad Técnica de Ambato, para receptor el Trabajo de Titulación con el tema: “DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA SILLA DE RUEDAS DE BIPEDESTACIÓN CON SISTEMA DE VERTICALIZACIÓN Y LA INCIDENCIA EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA, elaborado y presentado por el señor Ingeniero Víctor Rodrigo Espín Guerrero, para optar por el Grado Académico de Magister en Diseño Mecánico; una vez escuchada la defensa oral del Trabajo de Investigación el Tribunal aprueba y remite el trabajo para uso y custodia en las bibliotecas de la UTA.



Ing. Segundo Francisco Pazmiño Gavilanes, Mg.
Presidente del Tribunal



Ing. Francisco Agustín Peña Jordán Mg.
Miembro del Tribunal



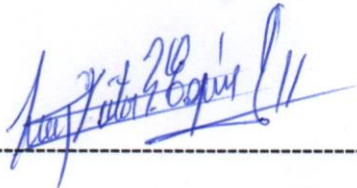
Ing. Segundo Manuel Espín Lagos Mg.
Miembro del Tribunal



Ing. Gustavo David Patín Manobanda Mg.
Miembro del Tribunal

AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN

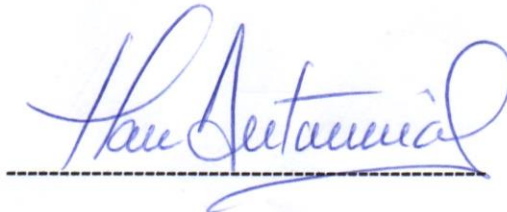
La responsabilidad de las opiniones, comentarios y críticas emitidas en el Trabajo de Investigación presentado con el tema: DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA SILLA DE RUEDAS DE BIPEDESTACIÓN CON SISTEMA DE VERTICALIZACIÓN Y LA INCIDENCIA EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA, le corresponde exclusivamente a: Ingeniero Víctor Rodrigo Espín Guerrero, Autor bajo la Dirección de la Ing. Thalía Daniella San Antonio Serrano PhD, Directora del Trabajo de Investigación; y el patrimonio intelectual a la Universidad Técnica de Ambato.



Ingeniero Víctor Rodrigo Espín Guerrero

c.c.1803046109

AUTOR



Ing. Thalía Daniella San Antonio Serrano PhD

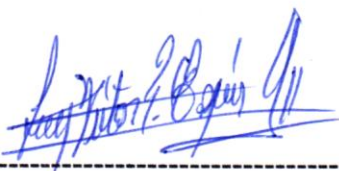
c.c.1757223498

DIRECTORA

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que el Trabajo de Investigación, sirva como un documento disponible para su lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la Institución.

Cedo los Derechos de mi trabajo, con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este, dentro de las regulaciones de la Universidad.



Ingeniero Víctor Rodrigo Espín Guerrero

c.c.1803046109

ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS

PORTADA.....	i
A LA UNIDAD ACADÉMICA DE TITULACIÓN.....	ii
AUTORÍA DEL TRABAJO DE INVESTIGACIÓN.....	iii
DERECHOS DE AUTOR.....	iv
ÍNDICE GENERAL DE CONTENIDOS.....	v
ÍNDICE DE FIGURAS.....	x
ÍNDICE DE TABLAS.....	xiii
AGRADECIMIENTO.....	xvi
DEDICATORIA.....	xvii
RESUMEN EJECUTIVO.....	xviii
ABSTRACT.....	xix
INTRODUCCIÓN.....	1
CAPÍTULO I.....	2
PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	2
1.1. TEMA:.....	2
1.2. Contextualización.....	2
1.3. Análisis crítico.....	4
1.4. Prognosis.....	4
1.5. Formulación del problema.....	5
1.6. Preguntas directrices.....	5
1.7. Delimitación del problema de investigación.....	5
1.7.1. Delimitación de contenido.....	5
1.7.2. Delimitación espacial.....	5
1.7.3. Delimitación temporal.....	5
1.8. Justificación.....	6
1.9. Objetivos.....	6
1.9.1. Objetivo general.....	6
1.9.2. Objetivos específicos.....	6
CAPÍTULO II.....	7
MARCO TEÓRICO.....	7
2.1. Antecedentes investigativos.....	7
2.2. Fundamentaciones.....	9
2.2.1. Filosófica.....	9
2.2.2. Tecnológica.....	9
2.2.3. Técnica.....	9

2.2.4. Legal.....	9
2.3. Fundamento teórico.....	10
2.3.1. Diseño mecánico	10
2.3.2. Diseño y desarrollo de productos	11
2.3.3. Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación	14
2.3.4. Descripción de los componentes principales de una silla de ruedas.....	15
2.3.5. Sistema de verticalización para la bipedestación	21
2.3.6. Antropometría	21
2.3.7. Cálculo de la estabilidad del dispositivo	27
2.3.8. Cálculo de la potencia	27
2.3.9. Eficiencia energética	28
2.4. Hipótesis.....	29
2.5. Señalamiento de variables.....	29
2.5.1. Variable independiente.....	29
2.5.2. Variable dependiente.....	29
CAPÍTULO III.....	30
METODOLOGÍA.....	30
3.1. Enfoque	30
3.2. Modalidades de la investigación	30
3.2.1. Bibliográfica – documental	30
3.2.2. De campo	30
3.2.3. Experimental	31
3.3. Nivel o tipo de investigación.....	31
3.3.1. Exploratoria.....	31
3.3.2. Descriptivo	31
3.3.3. Asociación de variables.....	31
3.4. Población y muestra.	32
3.4.1. Población.....	32
3.4.2. Muestra.....	32
3.5. Operacionalización de variables	33
3.5.1. Variable independiente: Diseño estructural de una silla de ruedas.....	33
3.5.2. Variable dependiente: Eficiencia energética	34

3.6. Técnicas de recolección de la información.	35
3.6.1. Observación.....	35
3.6.2. Encuesta	35
3.7. Procesamiento y análisis.	35
3.7.1. Plan de procesamiento.....	35
3.6.2. Plan de análisis e interpretación de resultados.	36
CAPÍTULO IV	37
ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS	37
4.1. Parámetros para el diseño de una silla de ruedas de bipedestación	37
4.1.1. Aspectos importantes de medicina para personas con discapacidad.	37
4.2. Descripción generalizada de la silla de ruedas.....	39
4.3. Diseño conceptual de la silla de ruedas de bipedestación.....	40
4.3.1. Estudio del objeto.....	41
4.3.2. Tipología de varios fabricantes	41
4.3.3 Empleo del método Kano para determinar las preferencias de los usuarios	43
4.4. Despliegue de la función calidad	48
4.4.1. Características técnicas de las sillas de ruedas.....	48
4.5. Estudio ergonómico.	58
4.6. Investigación antropométrica	60
4.6.1. Dimensiones antropométricas fundamentales para el diseño de una silla ..	61
4.6.2. Resultados de las mediciones. Carta antropométrica.	62
4.6.3. Análisis de las variables consideradas como medidas antropométricas.	63
4.6.4. Características del diseño de la silla en función de la antropometría.	65
4.7. Eficiencia energética	67
4.7.1. Especificación de las capacidades de los equipos seleccionados.....	67
4.7.2. Estudio energético de los movimientos de para los puestos de trabajo.	68
4.7.3. Análisis de la energía que demandará el proyecto	75
4.7.4. Verificación de la hipótesis.....	84
CAPÍTULO V	89
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	89
5.1. Conclusiones	89
5.2. Recomendaciones.....	92

CAPÍTULO VI	93
LA PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN	93
6.1.Tema:.....	93
6.2. Datos informativos.....	93
6.3. Introducción	93
6.4. Justificación.....	94
6.5. Objetivos de la propuesta.....	94
6.5.1. Objetivo general.....	94
6.5.2. Objetivos específicos.....	95
6.6. Fundamentación legal	95
6.7. Fundamentación teórica.....	96
6.7.1. Diseño de equipos de asistencia a personas con movilidad limitada.....	96
6.7.2. Fundamentos del diseño.....	97
6.7.3. Análisis biomecánico. Obtención de centros de gravedad.....	99
6.7.4. Fundamentos teóricos de simulación	102
6.7.5. Diseño y manufactura	103
6.8. Parámetros para el diseño de una silla de ruedas de bipedestación	105
6.8.1. Medidas antropométricas	105
6.8.2. Definición de las medidas estructurales de la silla de ruedas	106
6.8.3. Definición de parámetros funcionales.....	107
6.8.3. Matriz morfológica.....	108
6.9. Diseño y selección de elementos mecánicos.....	108
6.9.1. Análisis mecánico del dispositivo de bipedestación	108
6.9.2. Selección del mecanismo actuador	111
6.9.3. Diseño de elementos y/o sistemas mecánicos de la estructura	113
6.9.4. Diseño del apoya brazos.....	132
6.9.5. Selección de las ruedas posteriores	134
6.9.6. Selección del freno.....	135
6.9.7. Selección de las ruedas delanteras	135
6.9.5. Sistema electrónico de control del actuador.....	136
6.10. Análisis por el método de elementos finitos	141
6.10.1. Objetivos FEM.....	141

6.10.2. Normativa aplicable	141
6.10.3. Identificación del método de ensayo.....	141
6.10.4. Ensayo estático.....	147
6.10.5. Ensayo dinámico	151
6.11. Construcción del prototipo.....	159
6.11.1 Materiales elegidos para los componentes.....	160
6.11.2. Elaboración de la estructura de la silla de ruedas	161
6.11.3. Equipos y maquinaria.....	163
6.11.4. Talento humano necesario.....	164
6.11.5. Evidencia fotográfica del proceso de fabricación del prototipo.....	164
6.12. Análisis económico	165
6.12.1. Costos por materia prima	165
6.12.2. Costos por mano de obra.....	166
6.12.3. Costos por maquinaria y equipos	167
6.12.4 Costos de fabricación de la silla de ruedas con sistema de bipedestación	167
6.13. Protocolo de pruebas	168
6.13.1. Preguntas sobre la operatividad de la silla de ruedas.....	168
6.13.2. Condiciones fisiológicas de las personas.	172
6.13.3. Parámetros de funcionamiento.....	174
6.14. Conclusiones y recomendaciones de la propuesta	176
6.14.1. Conclusiones	176
6.14.2. Recomendaciones.....	177
6.15. Bibliografía	178
ANEXO A Ejemplo de construcción del cuestionario de Kano	181
ANEXO B Matriz QFD	182
ANEXO C. Ficha de levantamiento de información para el Método MAPFRE	183
ANEXO D. NTP 323	184
ANEXO E Coeficientes de energía incorporada a cada material	190
ANEXO F Especificaciones del actuador marca LINAK modelo LA32	193
ANEXO G Especificaciones del tubo redondo ASTM A513 catálogo DIPAC .	196
ANEXO H Fichas aplicadas en el protocolo de pruebas	197
ANEXO I PLANOS	208

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura No. 1.1 Tipos de discapacidades en el Ecuador.....	3
Figura No. 2.1 Morfología del proceso de diseño.....	10
Figura No. 2.2 Selección de concepto.....	11
Figura No. 2.3 Silla de ruedas con bipedestación eléctrica.....	15
Figura No. 2.4 Componentes principales de una silla de ruedas de bipedestación	16
Figura No. 2.5 Simulación de esfuerzos de silla bipedestadora.....	27
Figura No. 4.1 Descripción generalizada del sistema	40
Figura No. 4.2 Preguntas 1: Capacidad de bipedestación.	44
Figura No. 4.3 Imágenes de las entrevistas y mediciones realizadas.....	45
Figura No. 4.4 Formato datos informativos y página de la entrevista.	46
Figura No. 4.5 Características de la información del cliente.	50
Figura No. 4.6 Análisis de las Características de Calidad.	55
Figura No. 4.7 Relaciones de las Características de Calidad para el proyecto.	55
Figura No. 4.8 Simbología de la Matriz de relaciones.....	56
Figura No. 4.9 Matriz de relaciones.....	56
Figura No. 4.10 Segmentos de la columna vertebral	59
Figura No. 4.11 Mediciones antropométricas	60
Figura No. 4.12 Medidas antropométricas relevantes y su nomenclatura	61
Figura No. 4.13 Parámetros de diseño seleccionados.....	65
Figura No. 4.14 Elementos considerados en el peso máximo.....	67
Figura No. 4.15 Posición sedente y de pie	69
Figura No. 4.16 Matriz morfológica	83
Figura No. 6. 1 Segmentación del cuerpo para centros de gravedad.	100
Figura No. 6. 2 Estructura del mecanismo de bipedestación.	101
Figura No. 6. 3 Proceso de manufactura para la silla bipedestadora	104
Figura No. 6.4 Medidas antropométricas.....	106
Figura No. 6.5 Definición de las medidas estructurales de la silla de ruedas	107
Figura No. 6.6 Mecanismo bipedestador. (a) horizontal, (b) vertical.....	109
Figura No. 6.7. Síntesis del mecanismo bipedestador en 2D.	109

Figura No. 6.8. Síntesis gráfica de 3 posiciones con pivotes fijos.....	110
Figura No. 6.9. Mecanismo resultante de la síntesis gráfica (Paralelogramo).....	110
Figura No. 6.10. Diagrama cinemático mecanismo actuador.....	111
Figura No. 6.11 Representación plana del mecanismo bipedestador.	111
Figura No. 6.12 Elementos y/o sistemas mecánicos de la estructura.....	113
Figura No. 6.13 Elementos que conforman la estructura del asiento.....	113
Figura No. 6.14 DCL de la viga soporte de la estructura del asiento	114
Figura No. 6.15 Elementos que conforman la estructura espaldar del asiento ...	116
Figura No. 6.16 DCL de la viga soporte longitudinal del espaldar del asiento ..	117
Figura No. 6.17 Manija	118
Figura No. 6.18 Diagrama de cuerpo libre de la manija	119
Figura No. 6.19 Eslabón.....	121
Figura No. 6.20 Diagrama de cuerpo libre del eslabón.....	121
Figura No. 6.21 Elementos que conforman la estructura inferior.....	125
Figura No. 6.22 DCL de la viga soporte de la estructura del asiento	127
Figura No. 6.23 DCL de las columnas pertenecientes a la estructura inferior....	130
Figura No. 6.24 Esquema del apoyabrazos	132
Figura No. 6.25 DCL de la viga apoyabrazos	132
Figura No. 6.26 Dimensiones características de las ruedas posteriores.....	134
Figura No. 6.27 Freno ruedas posteriores. a) Desactivado b)Bloqueo activado.	135
Figura No. 6.28 Dimensiones características de las ruedas delanteras	136
Figura No. 6.29 Fuente de Alimentación	136
Figura No.6.30.Circuito electrónico, carga de baterías y control del actuador.	137
Figura No. 6.31 Simulación del Circuito	138
Figura No. 6.32 Circuito en la Placa	138
Figura No. 6.33 Recorte de la Baquelita	138
Figura No. 6.34 Perforaciones en la baquelita	139
Figura No. 6.35 Montaje de componentes	139
Figura No. 6.36. Soldadura de Componentes	139
Figura No. 6.37 Caja con elementos de los circuitos de carga de baterías	140
Figura No. 6.38 Dimensiones silla de ruedas.....	142
Figura No. 6.39 Reparación de la geometría.....	143

Figura No. 6.40 Preparación de la geometría.....	144
Figura No. 6.41 Partes fijas del ensayo modal.....	144
Figura No. 6.42 Resultados del control de malla skewness.....	145
Figura No. 6.43 Resultados del ensayo modal.....	146
Figura No. 6.44 Aplicación de cargas al modelo.....	147
Figura No. 6.45 Centro de gravedad del conjunto silla humano.....	148
Figura No. 6.46 Diagrama de flujo del proceso de construcción del prototipo..	159
Figura No. 6.47 Evidencia fotográfica del proceso de fabricación del prototipo	164
Figura No. 6.48 Requiere asistencia en la trasferencia de una silla a otra.....	168
Figura No. 6.49 Necesita ajustarse la inclinación del respaldo.....	169
Figura No. 6.50 Ajuste de la altura del reposapiés.....	170
Figura No. 6.51 Fácil Maniobrabilidad de la silla.....	170
Figura No. 6.52 Movilidad y sensación de seguridad.....	171
Figura No. 6.53 Consumo de Oxígeno.....	172
Figura No. 6.54 Ritmo cardíaco.....	173
Figura No. 6.55 Tensión o Presión Diastólica y sistólica.....	174
Figura No. 6.56 Tiempos de ascenso y descenso, ángulo de inclinación.....	175

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla No. 3.1 Operacionalización de la variable independiente.....	33
Tabla No. 3.2 Operacionalización de la variable dependiente.....	34
Tabla No. 4.1 Datos de las personas seleccionadas para el estudio.....	38
Tabla No. 4.2 Tipología sillas de ruedas MOVILITEC.....	41
Tabla No. 4.3 Tipología sillas de ruedas ACTION VERTIC	42
Tabla No. 4.4 Tipología sillas de ruedas TECNUM.....	42
Tabla No. 4.5 Características y requerimientos de la silla de ruedas.....	43
Tabla No. 4.6 Síntesis de resultados.	46
Tabla No. 4.7 Cuantificación de los objetivos de las Características de Calidad. 48	
Tabla No. 4.8 Matriz 1 QFD Requerimientos funcionales o el como.....	49
Tabla No. 4.9 Requerimientos priorizados por el usuario	51
Tabla No. 4.10 Pesos y Requerimientos dentro de la matriz QFD	52
Tabla No. 4.11 Análisis competitivo.....	53
Tabla No. 4.12 Características de Calidad.....	54
Tabla No. 4.13 Puntuación Final.....	57
Tabla No. 4.14 Ordenación y Priorización.....	57
Tabla No. 4.15 Soluciones a aplicar.....	58
Tabla No. 4.16 Carta de medidas antropométricas de los 22 usuarios de sillas. ..	62
Tabla No. 4.17 Resultados obtenidos de media, P ₅ y P ₉₅	64
Tabla No. 4.18 Valores de los parámetros de diseño.....	66
Tabla No. 4.19 Determinación del peso máximo como parámetro principal	68
Tabla No. 4.20 Matriz de sistematización de resultados obtenidos MAPFRE.	70
Tabla No. 4.21 Evaluación general de niveles de riesgo MAPFRE.	71
Tabla No. 4.22 Análisis del consumo energético para posición sedente	72
Tabla No. 4.23 Análisis del consumo energético para posición de pie.....	73
Tabla No. 4.24 Valores (CO), (RC), (PS) y (PD), en posición sentada y de pie .	74
Tabla No. 4.25 Análisis del subsistema material de la estructura.....	77
Tabla No. 4.26 Análisis del subsistema material para la tapicería.....	78
Tabla No. 4.27 Análisis del subsistema sistema de bipedestación	78
Tabla No. 4.28 Análisis del subsistema sistema de reclinación.....	79
Tabla No. 4.29 Análisis del subsistema apoya brazos	79

Tabla No. 4.30 Análisis del subsistema cojín	80
Tabla No. 4.31 Análisis del subsistema espaldar	80
Tabla No. 4.32 Análisis del subsistema frenos	81
Tabla No. 4.33 Análisis del subsistema ruedas posteriores	81
Tabla No. 4.34 Análisis del subsistema reposa pies	81
Tabla No. 4.35 Valoración de alternativas	82
Tabla No. 4.36 Distribución t Student	85
Tabla No. 4.37 Tabulación del t Student a partir del consumo metabólico	86
Tabla No. 4.38 Resumen de cálculos para verificación de la hipótesis	88
Tabla No. 4.39 Tabulación y resultados para t Student, regla de decisión	88
Tabla No. 6.1 Obtención del centro de gravedad por el método de segmentos ..	100
Tabla No. 6.2 Resumen resultados de la matriz morfológica	108
Tabla No.6.3 Dimensiones mínimas del actuador, longitud de desplazamiento	112
Tabla No. 6.4 Información Técnica LINAK	112
Tabla No. 6.5 Especificaciones Técnicas del Tubo Redondo	115
Tabla No. 6.6 Especificaciones técnicas del tubo redondo para el espaldar	118
Tabla No. 6.7 Especificaciones técnicas del tubo redondo para la manija	120
Tabla No. 6.8 Longitudes efectivas de las columnas	122
Tabla No. 6.9 Esfuerzos Permisibles de Columnas ($F_y = 46.000$ psi)	122
Tabla No. 6.10 Especificaciones técnicas del tubo redondo para la manija	123
Tabla No. 6.11 Cálculos para seleccionar el perfil de la estructura inferior	128
Tabla No. 6.12 Especificaciones técnicas tubo redondo de estructura inferior ..	128
Tabla No. 6.13 Cálculos del perfil para las columnas de la estructura inferior ..	131
Tabla No. 6.14 Especificaciones técnicas de columnas de la estructura inferior	131
Tabla No. 6.15 Especificaciones técnicas del tubo redondo para la manija	133
Tabla No. 6.16 Elementos que conforman el circuito electrónico	140
Tabla No. 6.17 Simulación del ensayo estático sometida a la fuerza W.	148
Tabla No. 6.18 Ensayo dinámico con desplazamiento de 0 mm	151
Tabla No. 6.19 Ensayo dinámico con desplazamiento de 100 mm	154
Tabla No. 6.20 Ensayo dinámico con desplazamiento de 200 mm	157
Tabla No. 6.21 Materiales elegidos para los diferentes componentes	160
Tabla No. 6.22 Materiales para los componentes invariables	160

Tabla No.6.23 Procesos y tiempos empleados para diferentes componentes	161
Tabla No.6.24 Procesos y tiempos empleados para componentes invariables ..	162
Tabla No. 6. 25 Equipos y maquinaria.....	163
Tabla No. 6.26 Costos por materia prima utilizada para estructura metálica	165
Tabla No. 6.27 Costos por materia prima utilizada para la sistema electrónico .	165
Tabla No. 6.28 Costos por materia prima utilizada por accesorios y tapicería...	166
Tabla No. 6.29 Costos por mano de obra.....	166
Tabla No. 6.30 Costos por utilización de maquinarias y equipos	167
Tabla No. 6.31 Análisis de costos para la silla de ruedas	167
Tabla No. 6.32 Requiere asistencia en la trasferencia de una silla a otra	168
Tabla No. 6.33 Necesita ajustarse la reclinación del espaldar	169
Tabla No. 6.34 Ajuste de la altura del reposapiés.....	169
Tabla No. 6.35 Fácil Maniobrabilidad de la silla.....	170
Tabla No. 6.36 Movilidad y sensación de seguridad	171
Tabla No. 6.37 Saturación de Oxígeno	172
Tabla No. 6.38 Ritmo cardiaco	173
Tabla No. 6.39 Presión Diastólica y sistólica	173
Tabla No. 6.40 Tiempos de ascenso y descenso, ángulo de reclinación.....	175

AGRADECIMIENTO

A Dios y a la Virgen Santísima, que siempre han sido mi guía en cada uno de los logros alcanzados en mi vida.

A mis Padres, por el apoyo incondicional en todas las decisiones que he tomado en la vida.

A la Ing. Thalia San Antonio PhD., por su ayuda en la culminación exitosa de este proyecto de investigación.

A las autoridades, y personal de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, quienes han sido compañeros de labores diarias en mis últimos años dentro de la Universidad Técnica de Ambato.

DEDICATORIA

Dedico el presente trabajo de investigación a mi esposa Soledad y sobre todo a mis hijas, Victoria y Camila que, con su cariño y ternura, me dan las fuerzas para seguir superándome cada día de mi vida.

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA /DIRECCIÓN DE
POSGRADO
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

TEMA:

DISEÑO ESTRUCTURAL DE UNA SILLA DE RUEDAS DE BIPEDESTACIÓN CON SISTEMA DE VERTICALIZACIÓN Y LA INCIDENCIA EN SU EFICIENCIA ENERGÉTICA

AUTOR: Ingeniero Víctor Rodrigo Espín Guerrero

DIRECTOR: Ing. Thalía Daniella San Antonio Serrano PhD

FECHA: Enero 2018

RESUMEN EJECUTIVO

La necesidad de rehabilitar y volver a una vida normal para la persona con discapacidad ha hecho que la tecnología desarrolle implementos que ayuden a mejorar la independencia del paciente. En este caso el proyecto está relacionado con el diseño de una silla de ruedas manual que permita la verticalización de la persona y así mejorar su inserción en actividades que no puede desarrollar en posición sedente, así como mejorar aspectos fisiológicos. Para lo que se determinaron los parámetros de diseño, utilizando varias metodologías lógicamente relacionadas como la descripción generalizada de un producto, criterios de aplicación diseño conceptual, involucrando las necesidades del cliente, con el método de KANO y de despliegue de la función de calidad (QFD). El estudio de las medidas antropométricas, fue un referente para dimensionar los elementos del producto final. Además, la eficiencia energética fue asociada a la especificación de las potencias o capacidades de los equipos seleccionados, como también la energía incorporada en los procesos de fabricación de los elementos seleccionados. Como complemento del análisis de la eficiencia energética se involucra al gasto de energía que tiene una persona con discapacidad, lo que da como resultado en posición de pie de 210 W/m^2 , comparado con el valor con el que se determinó en la posición sedente de 165 W/m^2 de consumo metabólico para el desarrollo de las distintas actividades. La propuesta define el diseño definitivo del prototipo cuyo modelamiento de la estructura y la validación de los resultados generados se hizo con software con base al Método de Elementos Finitos para un análisis estático y dinámico verificando que los resultados de deformación máxima, esfuerzo equivalente máximo y factor de seguridad mínimo se mantienen dentro de los parámetros permisibles para los materiales seleccionados. Se finaliza con la construcción y pruebas del prototipo, que para los procesos y mano de obra empleados, se invierten 55.33h, lo que repercute en un bajo costo de fabricación en comparación con los costos de sus similares.

Descriptor: Personas con discapacidad de miembros inferiores, bipedestación, silla de ruedas, diseño conceptual, estudio antropométrico, QFD, método de KANO, método MAPFRE, consumo metabólico, FEM.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICAL /
POSTGRADUATE ADDRESS
MASTERY IN MECHANICAL DESIGN

THEME:

STRUCTURAL DESIGN OF A BIPEDAL WHEELCHAIR WITH
VERTICALIZATION SYSTEM AND ENERGY EFFICIENCY

AUTHOR: Ing. Víctor Rodrigo Espín Guerrero

DIRECTOR: Ing. Thalía Daniella San Antonio Serrano PhD

DATE: January, 2018

ABSTRACT

The need to rehabilitate and return to a normal life for a person with disabilities has led technology to develop tools that help improve patient independence. The project is related to the design of a manual wheelchair that allows verticalization of the person thereby improving their participation in activities that cannot develop in a sitting position, as well as improvement in physiological aspects of their body. The design parameters were determined using several logically related methodologies such as the generalized description of a product, conceptual design application criteria involving the needs of the client with the KANO method and the deployment of quality control functions (QFD). The study of anthropometric measurements was a reference for dimensioning the elements of the final product. In addition energy efficiency was achieved thru selection of components with optimum capacities and power consumption. As a complement to the energy efficiency analysis, the energy expenditure of a person with a disability is involved, which results in a standing position metabolic energy consumption of 210 W/m², compared to the value with which it was determined in the sitting position of 165 W/m² of metabolic consumption for the development of the different activities. In conclusion the final design proposal of the prototype, whose modeling of the structure and the validation of the results generated was done with software based on the Finite element method for a static and dynamic analysis, verified that the maximum deformation results, maximum equivalent effort and minimum safety factors are kept within the parameters permissible for the model and selected materials. The project ended with the construction and testing of a prototype which, with the processes and labor employed, invest 55.33h, which has a low manufacturing cost compared to the costs of their peers.

Descriptors: Persons with disabilities of lower limbs, standing, wheelchair, conceptual design, anthropometric study, QFD, KANO method, MAPFRE method, metabolic consumption, FEM.

INTRODUCCIÓN

El proyecto de investigación tiene como tema: “Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y la incidencia en su eficiencia energética”. Su importancia radica en que servirá como referente para el diseño y construcción de este tipo de sillas de ruedas, en el ámbito local y nacional.

La presente investigación está estructurada por capítulos: el capítulo I denominado EL PROBLEMA se conforma por la contextualización, análisis crítico, prognosis, formulación del problema, preguntas directrices, delimitación del objeto de investigación, justificación, objetivo general y objetivos específicos.

El capítulo II llamado MARCO TEÓRICO contiene: antecedentes investigativos, fundamentación filosófica, tecnológica, técnica, legal, teórica, hipótesis y señalamiento de las variables dependiente e independiente.

El capítulo III METODOLOGÍA, contiene la modalidad básica de la investigación, población y muestra, operacionalización de variables, técnicas e instrumentos, plan de recolección de información, plan de procesamiento de la información y análisis e interpretación de datos.

El capítulo IV de ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADO, analiza las diferentes técnicas como la encuesta y la observación con sus respectivos instrumentos para el levantamiento de información, los cuales permiten determinar los parámetros y evaluación energética como base para el diseño.

El capítulo V establece las CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES que se obtiene de la investigación, acorde a los objetivos propuestos.

El capítulo final VI de la PROPUESTA, llega a determinar soluciones concretas al problema planteado a partir de las conclusiones alcanzadas; además se concluye con la bibliografía y los anexos en los que se incorporan los instrumentos que se aplican en la investigación de campo.

CAPÍTULO I

PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

1.1. TEMA:

Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y la incidencia en su eficiencia energética.

1.2. Contextualización

De acuerdo a la Organización Mundial de la Salud (OMS), “la discapacidad es toda restricción o ausencia (debida a una deficiencia) de la capacidad de realizar una actividad en la forma o dentro del margen que se considera normal para el ser humano” (Sánchez Sánchez, 2.016). Las personas con discapacidad no forman un grupo homogéneo, pueden ser personas con enfermedades o deficiencias mentales, visuales, auditivas o del habla, las que tienen movilidad restringida o las llamadas “deficiencias médicas”. Todas ellas se enfrentan a barreras diferentes que se han de superar también de manera diferente.

Las personas con discapacidad se enfrentan a grandes obstáculos, especialmente las personas con discapacidad que pertenecen a grupos históricamente desfavorecidos, como las mujeres, los niños, los adultos mayores y los refugiados. Estas personas luchan a diario, no sólo con su discapacidad sino también con la discriminación a la que se enfrentan. Sin embargo, ante estas circunstancias, muestran normalmente una gran paciencia, fortaleza e imparcialidad.

Según el informe Mundial sobre la Discapacidad de la OMS (2.011), se estima que un 15% de la población mundial tiene algún tipo de discapacidad, esto es alrededor de 1.000 millones de personas.

Se estima que, de acuerdo a datos del Censo Nacional 2.010, en nuestro país un 5,6% de la población tiene algún tipo de discapacidad, esto representa 816.156,0 ecuatorianos, en tanto que el Registro Nacional de Discapacidades del Ministerio de Salud (a junio del 2.016), constan registradas 411.721,0 personas con discapacidad legalmente reconocidas (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades, 2.016), que de acuerdo a la discapacidad se clasifican en diferentes tipos como se muestra en la Figura No.1.1

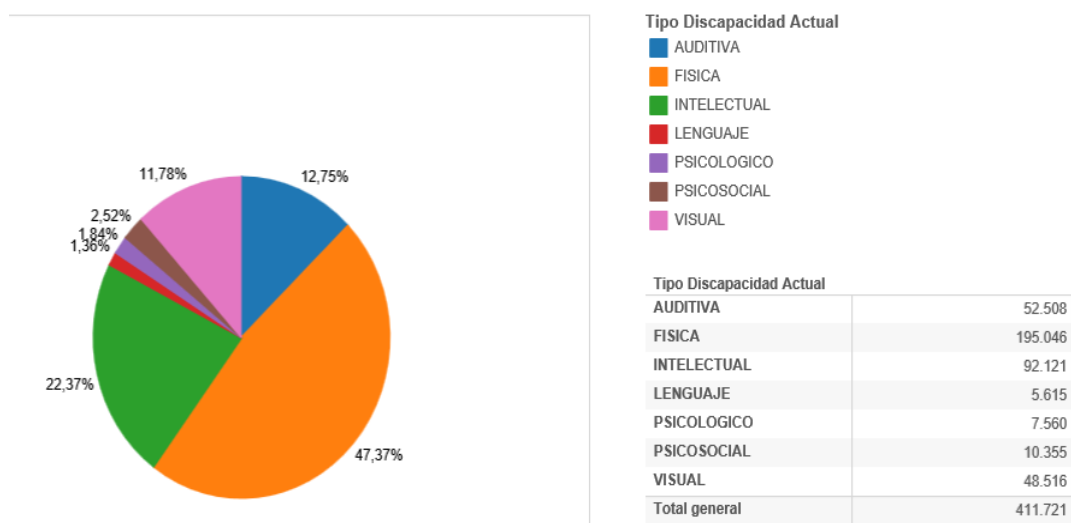


Figura No. 1. 1 Tipos de discapacidades en el Ecuador
Fuente: (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades, 2016)

La falta en general de las necesidades básicas de la vida, tales como el acceso a servicios médicos, de enseñanza, capacitación, empleo y vivienda, es experimentada en forma aguda por las personas con discapacidad.

Ante esta situación, la participación de los gobiernos y de todos los sectores de la sociedad en los recursos financieros y materiales, sin omitir las zonas rurales de los países, podría ser muy importante para las personas con discapacidad, ya que podría traducirse en el aumento de los servicios comunitarios y en la mejora de oportunidades económicas. Esto significa entre otras cosas, que las personas con discapacidad se les ofrezcan oportunidades de carrera y formación profesional y no de pensiones de retiro prematuro o asistencia pública.

Así mismo, es necesario un nuevo nivel de liderazgo de las organizaciones de personas con discapacidad; una creciente disposición de la sociedad civil de ajustarse a la diversidad de sus ciudadanos; un mayor reconocimiento en la

comunidad internacional de la necesidad de brindar igualdad de oportunidades a este sector de la sociedad y una activa participación de las propias personas con discapacidad, así como de sus familias, en el diseño, la aplicación y evaluación de los programas que se emprendan. (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades, 2.015).

1.3. Análisis Crítico

La presencia de barreras de accesibilidad física reduce la autonomía en la movilidad de las personas que utilizan sillas de ruedas, por lo que se hace indispensable la colaboración de otros individuos para contrarrestarlas. Aunque la mayor parte de individuos no requiere de un acompañante permanente, se hace necesario la participación de la sociedad para facilitar las actividades de movilidad de las personas con discapacidad.

Las sillas de ruedas, productos de apoyo que son conocidas y necesitadas por la mayoría de la población en situación de discapacidad física, son elementos que justifican su diseño interdisciplinar con el propósito de que esta población tenga acceso a productos de apoyo de calidad que no lo pueden adquirir por su situación de precariedad económica, ya que disponen de dispositivos electrónicos sofisticados, en lugar de que éstos estén provisto de sistemas eficientes y simples, también el problema se presenta en las dimensiones antropométricas de los mismos ya que no son desarrollados para la población ecuatoriana, de tal forma que sean difícilmente accesibles para la mayor parte de este grupo vulnerable de la sociedad.

Los individuos con discapacidad activos laboralmente perciben bajos ingresos mensuales, alrededor de un salario mínimo vital legal vigente, por presentar dificultades para acceder a un trabajo digno, siendo por esfuerzo propio que éstas personas, han adquirido su producto de apoyo para la movilidad que no cumple con especificaciones técnicas por las limitaciones en su capacidad adquisitiva.

1.4. Prognosis

Al no efectuarse el presente análisis, no se podrá contar con un referente en cuanto a ingeniería y tecnología en lo que a diseño estructural de una silla de ruedas de

bipedestación con sistema de verticalización concierne, tomando en cuenta que otro factor es el no poder mejorar en su eficiencia energética, relegando este tipo de proceso a un nivel de baja movilidad de personas con discapacidad física.

1.5. Formulación del problema

¿El diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización, permitirá mejorar en su eficiencia energética?

1.6. Preguntas directrices

- ¿Cuáles son los parámetros para el diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización?
- ¿Cómo se evalúa su eficiencia energética?
- ¿Se ha diseñado, construido y desarrollado pruebas en algún prototipo?

1.7. Delimitación del problema de investigación

1.7.1. Delimitación de contenido

El estudio realizado, está enmarcado dentro del campo de Ingeniería Mecánica, concretamente dentro de las líneas de investigación: “Diseño de maquinaria agrícola e industrial que aporte en el desarrollo social y económico de la población circundante al área de influencia” de la Maestría de Diseño Mecánico a la que contribuye el trabajo.

1.7.2. Delimitación espacial

La investigación se realizó en la empresa Maquinarias “Espín” y los Laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato, ubicadas en la ciudad de Ambato.

1.7.3. Delimitación temporal

La investigación se realizó en el período Agosto 2016 – Diciembre 2017, a partir de la aprobación del Consejo de Posgrado de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica de la Universidad Técnica de Ambato.

1.8. Justificación

Cuando existe una discapacidad física, la persona afectada presenta una desventaja que le imposibilita o limita su desempeño motor, lo que implica que las partes afectadas son los brazos y/o las piernas; en consecuencia, el individuo generalmente requiere de la ayuda de otras personas para realizar las actividades de la vida diaria y en muchos de los casos quedan excluidos del ambiente laboral. (San Antonio, López Arboleda, Sánchez Rosero, & Urrutia , 2.015).

Se ha visto la necesidad de crear un tipo de sillas de ruedas de bipedestación con un sistema de verticalización eficiente energéticamente, capaz de ayudar a las personas con discapacidad física en sus extremidades inferiores y así poder disminuir de forma efectiva la discriminación laboral de este grupo, con un análisis de costos aprovechando la disponibilidad de materiales locales y tratando de reducir la inversión de las empresas en la adecuación de sus puestos de trabajo.

Se considera un estudio factible, ya que en el país y en la región aún no se han realizados estudios para este tipo de equipos que sean específicos para personas con discapacidad física en sus extremidades inferiores, lo que se cree ha constituido un factor para la baja inserción laboral de los mismos, a pesar del favorable marco legal existente en el país para proteger a las personas con discapacidad.

1.9. Objetivos

1.9.1. Objetivo general

Diseñar estructuralmente una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y determinar la incidencia en su eficiencia energética.

1.9.2. Objetivos específicos

- Determinar los parámetros de diseño para una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización.
- Evaluar la eficiencia energética de técnicas y tendencias tecnológicas disponibles.
- Proponer el diseño, la construcción y pruebas de un prototipo de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización energéticamente eficiente.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

2.1. Antecedentes investigativos

Realizado un recorrido por las principales bibliotecas de las Universidades, existe una tesis cuyo tema es: “Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembro inferior” (Giraldo Gómez, 2.012), que dentro de sus conclusiones principales menciona:

- Se diseñó una silla bipedestadora para personas con discapacidad de miembro inferior, útil para el ingreso a espacios reducidos tales como un baño donde se puede acceder a los diferentes muebles que lo componen como son el sanitario, el lavamanos y la ducha. Además, esto permite la realización de la sedestación y la bipedestación.
- El dispositivo está diseñado con base en las medidas antropométricas de una persona estándar siguiendo las especificaciones determinadas en la norma Acopla 95, gracias a ello, la silla puede ser adaptable a las diferentes normas, sin embargo, si se utilizan diferentes métodos como el utilizado en el libro “Biomecánica articular y sustituciones protésicas”, o siguiendo el proceso de toma de medidas antropométricas de un usuario, se puede desarrollar una silla a la medida.
- Por medio del análisis de elementos finitos se simuló el comportamiento mecánico del dispositivo y tanto la simulación de esfuerzos como el desplazamiento evidencian que el dispositivo cumple con las mínimas especificaciones de aceptación.

Trabajos de investigación relacionados al tema, se ha encontrado un artículo de la revista INGENEIRÍA UC de la Universidad de Carabobo, con el tema “Diseño de un equipo de bipedestación” (Saavedra , García, & San Antonio, 2.013), cuyas conclusiones más relevantes de la investigación son:

- Los cálculos analíticos fueron consistentes con el modelo de elementos finitos utilizado para el diseño del dispositivo EBI 3, con los que se puede validar la utilización de la herramienta computacional para el diseño de este tipo de equipos bajo las condiciones de operación crítica.
- El equipo se desempeñó muy bien, desde el punto de vista de diseño, las propiedades mecánicas del material (esfuerzos de fluencia, dureza, % de deformación) están muy por encima de los estados de esfuerzo calculados para la condición crítica de trabajo, lo que según los médicos puede ayudar a generar sensación de seguridad, que es un factor importante de la terapia.
- Se estima que el prototipo EBI 3 ayudará a reducir de forma significativa el tiempo y esfuerzo que se requiere en las terapias de bipedestación, permitirá maximizar el aprovechamiento de espacios en las áreas de fisioterapia al incorporar al menos tres terapias que se realizaban de manera individual en un mismo dispositivo, y reducirá el número de terapeutas necesarios para la terapia (al menos cuatro), a máximo un operador y el terapeuta.

Otro artículo de XIV International Congress on Project Engineering, con el tema “Equipamiento para la discapacidad: Propuesto de un bipedestador eléctrico infantil” (Aros Oñate & Aros Beltran, 2.010), concluye dentro de su investigación:

- En relación con la propuesta de diseño del presentado en este trabajo, se concluye que es posible realizar cambios en el prototipo actual, que permitan obtener un modelo más competitivo en el mercado y con mayor proyección. Diseño final muy compacto. Ventaja a la hora de maniobrar en espacios reducidos, sin embargo, se puede mejorar.

2.2. Fundamentaciones

2.2.1. Filosófica

Para realizar este trabajo de grado, el investigador se ubica en el paradigma crítico – propositivo del problema; crítico porque hace un análisis crítico del problema y propositivo porque propone una solución a un problema de investigación.

Este enfoque privilegia la interpretación, comprensión y explicación de los fenómenos sociales en perspectiva de totalidad. Busca la esencia de los mismos al analizarlos inmersos en una red de interrelaciones e interacciones, en la dinámica de las contradicciones que generan cambios cualitativos profundos. (Herrera L., 2008)

2.2.2. Tecnológica

La investigación se sustenta en la tecnología, ya que la misma es el conjunto de conocimientos técnicos, ordenados científicamente, que permiten diseñar y crear bienes o servicios que facilitan la adaptación al medio y satisfacen las necesidades de seguridad de las personas.

2.2.3. Técnica

Se relaciona con la técnica ya que es un conjunto de saberes prácticos o procedimientos para obtener un resultado, requiere de destreza manual o intelectual

2.2.4. Legal

En El Plan del Buen Vivir (SENPLADES, 2013), entre sus políticas y lineamientos estratégicos contempla garantizar la atención especializada durante el ciclo de vida a personas y grupos de atención prioritaria, y menciona:

- Consolidar los mecanismos de protección e inclusión social, considerando la inclusión económica de las personas con discapacidad.

También, el Código de Trabajo en su artículo 42 numeral 33 (MRL, 2009) establece que: “El empleador público o privado, que cuente con un número mínimo de veinticinco trabajadores, está obligado a contratar al menos, una

persona con discapacidad en labores permanentes que se consideren apropiadas en relación con sus conocimientos, condición física y aptitudes individuales, observándose los principios de equidad de género y diversidad de discapacidad.”

2.3 Fundamento teórico

2.3.1. Diseño mecánico

El diseño es un proceso iterativo con muchas fases interactivas. Existen muchos recursos para apoyar al diseñador, entre los que se incluyen muchas fuentes de información y una gran abundancia de herramientas de diseño por computadora (Nisbett & Budynas, 2.008).

- **Morfología del diseño mecánico**

El proceso de diseño mecánico completo puede ser dividido en diferentes componentes fundamentales que constituyen su morfología. La figura No. 2.1 muestra gráficamente las relaciones entre estos componentes.

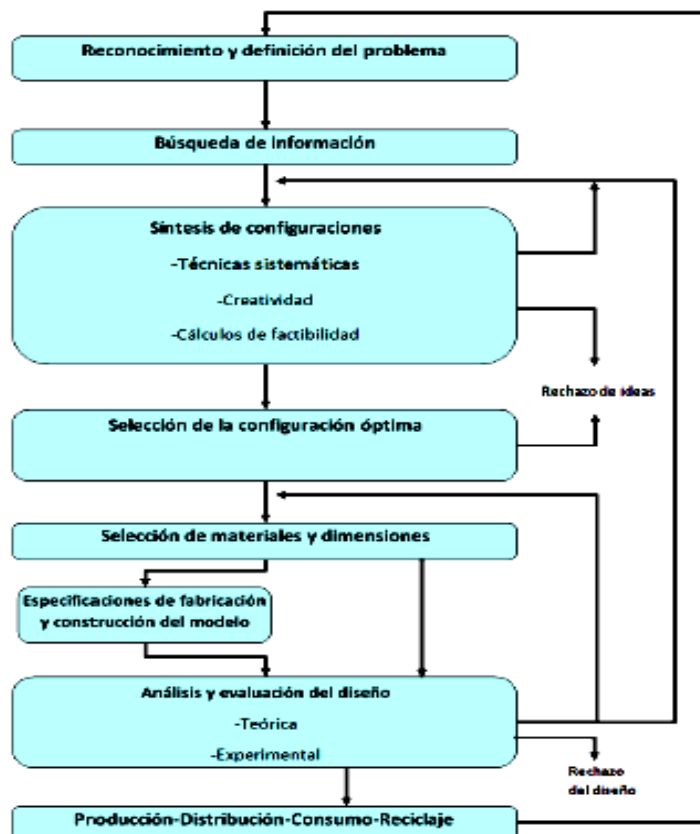


Figura No. 2. 1 Morfología del proceso de diseño

Fuente: (Tierno Alvite, 2.013)

El diseño mecánico es un proceso iterativo por lo que en la Figura No. 2.1, la que se refiere a los bucles de realimentación más comunes. Estos bucles indican que se debe obtener información de pasos anteriores o volver a realizar un paso previo. Incluso los productos terminados y en el ciclo de producción, distribución, consumo y reciclaje pueden requerir modificaciones al diseño, lo que redundaría en una evolución y mejora continua de los productos y una ampliación de la base de conocimientos acerca de los mismos. En estas modificaciones toma gran importancia las técnicas de optimización.

- **Diseño de mecanismos**

Para el proceso de diseño de mecanismos, debe tenerse una idea clara de los elementos que componen dichos mecanismos.

Los eslabones son los componentes básicos de todos los mecanismos. Un eslabón es un cuerpo que posee al menos dos nodos o puntos de unión con otros eslabones.

Los balancines son eslabones que también están anclados a un punto fijo, pero a diferencia de las manivelas, no tienen la capacidad de producir giros completos, son eslabones con movimientos oscilatorios.

2.3.2. Diseño y desarrollo de productos

El proceso genérico de desarrollo consta de seis fases (Figura No.2.2). El proceso se inicia con la fase de planeación, que es el vínculo con actividades avanzadas de desarrollo en investigación y tecnología. La salida de la fase de planeación es la declaración de la misión del proyecto, que es la entrada requerida para empezar la fase de investigación de concepto y que sirve de guía para el equipo de desarrollo. La conclusión del proceso de desarrollo del producto es el lanzamiento del producto en sí, en cuyo momento este queda disponible en el mercado para su adquisición.



Figura No. 2. 2 Selección de concepto
Fuente: (Ulrich T. & Eppinger D., 2.014)

- **Selección del concepto**

En las primeras etapas del proceso de desarrollo, el equipo de desarrollo del producto identifica un conjunto de necesidades del cliente. Con el uso de varios métodos el equipo genera entonces conceptos de solución alternativos en respuesta a estas necesidades. La selección del concepto es el proceso para evaluar alternativas con respecto a las necesidades del cliente y otros criterios, comparando los puntos relativamente fuertes y débiles de los mismos, y seleccionando uno o más de éstos para su posterior investigación prueba o desarrollo.

El método de selección del concepto se construye alrededor del uso de matrices de decisión para evaluar cada alternativa con respecto a un conjunto de criterios de selección.

- **Pruebas del concepto**

En una prueba del concepto, se solicita una respuesta a una descripción del concepto del producto, que provenga de clientes potenciales del mercado meta. Este tipo de prueba puede usarse para seleccionar cual de dos o más alternativas deben realizarse y estimar el potencial de ventas del producto. Nótese que a veces se pueden completar otros tipos de pruebas con clientes potenciales, además del que se realice durante el desarrollo del mismo.

- **Arquitectura del producto**

Es la asignación de elementos funcionales de un producto a los elementos de construcción físicos de éste. El propósito de la arquitectura es definir los elementos físicos de construcción del producto en términos de lo que hacen aquellos y de lo que son sus interfaces para el resto del dispositivo. Las decisiones de arquitectura permiten que el diseño y prueba detallados de estos elementos de construcción sean asignados a equipos, personas y/o proveedores, de manera que el desarrollo de diferentes partes del producto se pueda realizar simultáneamente.

- **Diseño industrial**

Se define el diseño industrial como el servicio profesional de crear y desarrollar conceptos y especificaciones que optimizan la función valor y aspecto de

productos y sistemas para el mutuo beneficio del usuario y el fabricante. De hecho los diseñadores industriales concentran su atención en la forma e interacción del usuario de productos.

- **Diseño para el ambiente**

Entre las secuelas ambientales de un producto pueden encontrarse consumo de energía, agotamiento de recursos naturales, descargas líquidas, emisiones de gases y generación de desechos sólidos. Estas derivaciones se clasifican en dos categorías amplias: energía y materiales, y ambas representan problemas ambientales neurálgicos que requieren solución. En la mayoría de los productos, abordar el problema de la energía significa elaborar productos que consuman menos energía y que se usen energía renovable.

- **Diseño para manufactura**

Un diseño económicamente exitoso es, en consecuencia, aquel que asegura una alta calidad del producto al mismo tiempo que minimiza el costo de manufactura.

- **Construcción de prototipos**

Se definen prototipo como una aproximación al producto en una o más dimensiones de interés. Con esta definición, cualquier entidad que exhiba al menos un aspecto del producto que es de interés para el equipo de desarrollo puede considerarse un prototipo. Construir prototipos es el proceso de desarrollar esa aproximación al producto.

- **Diseño robusto**

Es la actividad del desarrollo de un prototipo para mejorar el desempeño deseado del producto al mismo tiempo que se minimizan los efectos del ruido. Se usa el término ruido para describir las variaciones no controladas que pueden afectar al funcionamiento y decimos que un producto de calidad debe ser robusto ante factores de ruido.

En el diseño robusto se emplea experimentos y análisis de datos para identificar puntos de referencia robustos para los parámetros de diseño que podemos controlar.

2.3.3. Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización

En el diseño de una silla de ruedas se tiene en cuenta aspectos médicos, ergonómicos, antropométricos y biomecánicos. Los aspectos más importantes de la medicina son la discapacidad y la rehabilitación.

- **Discapacidad**

Para comprender mejor el concepto de discapacidad primero se debe entender que esta se puede obtener como resultado de una deficiencia, la que consiste en la pérdida, o la pérdida de uso, o el trastorno de cualquier parte del cuerpo, sistema o función. Esta deficiencia puede llegar o no a dar origen a una discapacidad, la que es la imposibilidad de un individuo para desarrollar actividades personales, sociales y ocupacionales. La deficiencia es una condición médica, mientras que la discapacidad depende de muchas circunstancias que trascienden un estado alterado de salud. La existencia de una deficiencia no garantiza la existencia de una discapacidad. Si una discapacidad no es bien manejada puede llevar a una minusvalía en la que el paciente se encuentra en desventaja con su entorno social, debido a que pierde su independencia funcional (Diaz & Rivera Gonzalez, 2.004).

- **Rehabilitación**

La rehabilitación es un proceso complejo resultado de la aplicación integrada de mucho procedimientos y técnicas restauradoras, que utilizan de manera apropiada todas las posibilidades residuales del individuo con el fin de recuperarlo hasta lograr su estado funcional óptimo, tanto en el hogar como dentro de la comunidad. Pero además de esto la rehabilitación es una filosofía de responsabilidad médica, que se debe asumir para evitar que las personas que sufren una discapacidad no tan grave puedan seguirse deteriorando hasta convertirse en discapacitados graves con una dependencia total (Diaz & Rivera Gonzalez, 2.004).

La necesidad de rehabilitar y volver a una vida normal a la persona con discapacidad ha hecho que la tecnología desarrolle implementos que ayuden a mejorar la independencia del paciente, entre los cuales se encuentran las sillas de ruedas manuales y automáticas.

- **Sillas de ruedas de bipedestación**

Según los especialistas, la bipedestación trae numerosos beneficios terapéuticos e incluso psicológicos (figura No.2.3). Algunas de sus ventajas son: mejorar la presión sanguínea, el tránsito intestinal y la digestión, reducción de la espasticidad, reducción de las contracturas de los músculos y además reduce el riesgo de la aparición de escaras y osteoporosis (Bioingeniería, 2.016).

Evidentemente todos estos beneficios son muy importantes, y es algo que se usa mucho en centros de rehabilitación.

Sin embargo, cada vez va en aumento el número de personas que busca una solución personal que les permita beneficiarse de todas estas ventajas.



Figura No. 2. 3 Silla de ruedas manual con sistema de bipedestación eléctrico
Fuente: (LCEV, 2.016)

2.3.4. Descripción de los componentes principales de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización.

En el diseño de las modernas sillas de ruedas manuales se ha aprovechado una variedad de adelantos en el conocimiento mecánico de sillas de ruedas y la disponibilidad de nuevos materiales.

A continuación, en la Figura No. 2.4 se muestra un esquema de una silla de ruedas manual de bipedestación con sus respectivas partes.

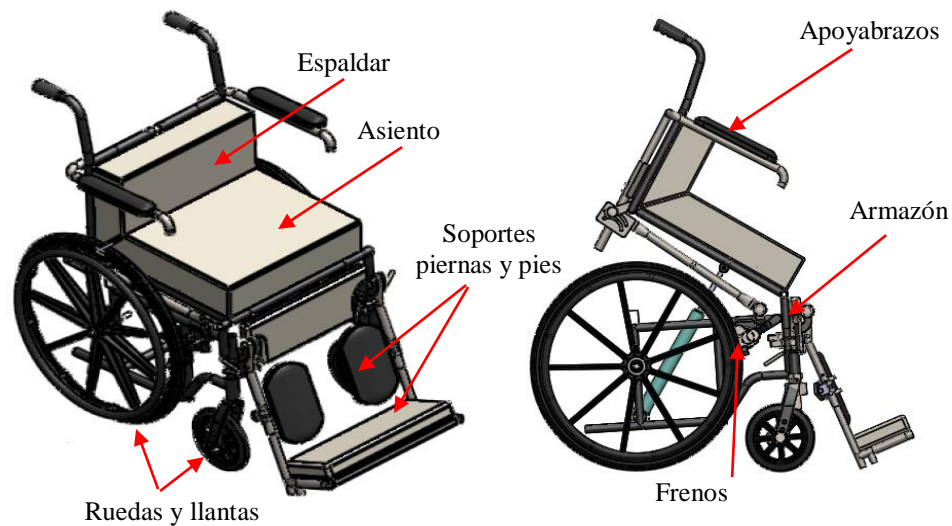


Figura No. 2. 4 Componentes principales de una silla de ruedas de bipedestación

Elaborado por: El Investigador

Armazón

Es la estructura básica de la silla de ruedas, las consideraciones más importantes en esta parte de la silla: el material que es el responsable de la durabilidad y peso de la silla, plegabilidad para facilitar el transporte, rigidez para dar mayor estabilidad a usuarios activos. Es importante logra flexibilidad en la colocación de las ruedas traseras por medio de una placa que permite ubicar el eje de la rueda en varias posiciones con el fin de mejorar la eficiencia de propulsión.

Ruedas y llantas

Una silla de ruedas consta de dos ruedas pequeñas y dos grandes por lo general. Lo más importante para analizar es el tamaño y la forma; en cuanto al tamaño este afecta la altura total, la facilidad de rodado, el traslado desde la silla de ruedas y hacia ella, la mecánica de empuje de la extremidad superior, con respecto a la forma, si son sólidas y lisas trabajan mejor sobre superficies lisas y rígidas (en espacios interiores) si son neumáticas con huella permiten el desplazamiento más suave, facilitan maniobras en terrenos irregulares, sobre superficies húmedas o congeladas.

El principal problema para el discapacitado con respecto a las ruedas y llantas es el neumático desinflado lo que se puede solucionar empleando cámaras resistentes

a las pinchadas o por el agregado de gel de látex que ocupa el lugar del aire (esto último aumenta el peso).

Las ruedas pequeñas son para el cambio de dirección, para su movilidad lateral, tienen eje giratorio montado sobre un rodamiento, para facilitar el movimiento sobre superficies húmedas.

- **Ruedas de mano:** pueden variar en tamaño desde un aro pequeño empleado para carreras hasta aros grandes que proporcionan máxima maniobrabilidad y potencia.

El diámetro varía entre 50 centímetros y 60 centímetros, con 28 radios. Las ruedas de mano se pueden modificar para mejorar el asimiento agregando una cubierta, aumentando el tamaño del tubo, cambiando la forma, agrando proyecciones al anillo.

En las ruedas de mano se adosan unos anillos de propulsión que se ubican en la parte exterior de la rueda, estos anillos son de menor diámetro, de un grueso variable para que puedan ser manipulados por el paciente y este impulse la silla. Estos anillos son separados de las ruedas para evitar que los pacientes se lastimen las manos, llevan pijas para cuando el paciente es incapaz de cerrar la mano.

- **Ruedas pequeñas:** están ubicadas en la parte frontal generalmente, son duras y de diámetro pequeño, permiten buen giro, se atascan en terreno desparejo o suelo blando para evitar esto se reemplazan por ruedas neumáticas que tienen mayor utilidad al aire libre.

Las ruedas pequeñas presentan problemas de vibración, son ruidosas y afectan la suavidad del desplazamiento y el mantenimiento de la dirección, estos problemas se reducen utilizando ruedas con muescas o aumentando la amortiguación de las ruedas.

Se usan trabas cuando se requiere una estabilidad absoluta durante los traslados del paciente sobre todo en los niveles cuadriplejía y algunos casos de paraplejía.

Trabas de las ruedas

Deben estar ubicadas en un lugar fácilmente accesible sin interferir en la propulsión. Para un golpe de impulso largo, es mejor ubicar las trabas sobre la parte inferior del armazón esto previene lesiones en los dedos

Frenos

Deben tener manijas de extensión para personas con disfunción en las extremidades superiores, su posición depende de la colocación de las ruedas mayores, en la silla para exteriores se encuentran ubicados en frente de la rueda mayor, en la silla para interiores están detrás de la rueda mayor.

Consideraciones importantes:

- Los frenos son de tipo mecánico de fricción, la fricción se aumenta según la pendiente del lugar, o para inmovilizar la silla.
- La manija para el freno debe estar al alcance del usuario.

Asiento y respaldo

Pueden ser contruidos en materiales flexibles o en materiales sólidos; los de material flexible para usuarios con escaso control muscular, espasticidad o tendencia hacia la deformidad, pero con estos materiales es difícil lograr una postura adecuada, por lo tanto, se utilizan o respaldos sólidos, articulables para poder ser plegados, lo que genera peso al equipo.

Características del asiento y espaldar:

- Un asiento sólido, o asiento para pelvis y muslo corrige la tendencia a la rotación interna y adaptación de las extremidades inferiores; un apoyo lumbar adecuado logra una buena distribución del peso.
- Cuando no hay un buen apoyo lumbar existe una tendencia a desarrollar una postura sentada sacra y úlceras sacras e isquiales de cubito, aumento de sifosis y sobre esfuerzo de los músculos de la espalda y el cuello.
- Cuando se tiene una superficie estable para sentarse o un apoyo lumbar adecuado, no solo se quita el peso de las prominencias óseas, sino que también mejora el equilibrio del tórax, la cabeza y el cuello lo que reduce el sobre

esfuerzo del cuello y de la porción superior de la espalda, mejorando la función respiratoria.

- El respaldo debe ser lo suficientemente alto para evitar el empuje de la espalda y de los hombros hacia adelante y proporcionar el apoyo adecuado a la espalda; cuando el respaldo es demasiado bajo se produce una presión excesiva en el borde superior y disminuye la eficiencia del transporte y de la bipedestación debido a la mala estabilidad de la cintura escapular.
- Las sillas de respaldo y asiento flexible son por lo general plegables y algunas de respaldo y asiento rígido también lo son, esto facilita el transporte.
- Los respaldos pueden ser regulables con el fin de adaptar la posición sentada a la estructura normal de la espalda, sin embargo, puede facilitar la posición para el momento de descanso del usuario.

Apoyabrazos

Ayudan de forma significativa en maniobra de trabajo, reducen la presión isquiática al llevar el peso de los brazos y mantener el equilibrio del tronco. Pueden ser móviles o fijos o también ajustables.

Los apoyabrazos móviles facilitan los traslados en usuarios con una disfunción significativa, en este momento no existe una selección estándar disponible para todas las sillas, es el especialista quién selecciona el mejor de acuerdo a las necesidades del usuario en los que respecta a tamaño, forma, estabilidad, capacidad de adaptación, aspecto y también el factor económico lo que determina cómo será la silla y sus accesorios

Soporte para la pierna y el pie

Proporcionan protección, una posición adecuada, y el máximo de equilibrio y sostén para el peso de las extremidades.

Características de los soportes:

- La altura de los estribos debe ser la adecuada para que el pie se encuentre bien apoyada para mantener la circulación de las extremidades inferiores.

- No deben ser muy altos por que llevarían todo el peso hacia atrás en posición sentada, pero sería favorable en la verticalización.
- Cuando existe espasticidad significativa se requiere una plataforma amplia con sistema de retención para los pies, estas plataformas pueden ser necesarias cuando los pies no están dentro del campo visual del usuario, o cuando el control de la silla es impreciso.
- El apoyo para las pantorrillas no se hace necesario para cuando los tobillos y las pantorrillas están bien apoyados. Se pueden adosar almohadillas para las pantorrillas.
- Deben tener estribos desplazables.
- Se debe tener en cuenta si un usuario cuenta con discapacidad funcional en la mano, esta capacitado para manejar mecanismos de liberación de que dispone cada modelo de silla.

Tapizado

Debe tener las siguientes características:

- Debe ser impermeable a las secreciones del cuerpo.
- Debe ser fácil de limpiar e inextensible.

El color y el aspecto por lo general de la silla de ruedas tienen mucha importancia para quién pasa mucho tiempo en ella. La silla se transforma en casi una prenda de vestir para el usuario.

Cinchas de fijación

Es una parte primordial para la seguridad de los usuarios. Al tratarse de personas con discapacidad o que han estado encamadas o sentadas durante mucho tiempo, las cinchas de sujeción son esenciales a la hora de asegurar la posición dentro del plano inclinable; evitando así caídas, malas posturas y, en definitiva, daños en el usuario.

Para seleccionar las cinchas de fijación se debe tener en cuenta los siguientes factores:

- Estabilidad de soporte para la función de la extremidad superior.
- Distribución de la presión
- Mantenimiento de la postura tanto sentado como verticalizado para prevenir la deformidad.

2.3.5. Sistema de verticalización para la bipedestación

Existen diferentes tipos: mecánicos, que son más rudimentarios y ya no se utilizan; y, eléctricos, utilizados en la actualidad. La mayoría de los planos inclinables cuentan con un pistón a gas o actuador lineal. Son más utilizados los actuadores lineales; sin embargo, se pueden encontrar planos inclinables que funcionen gracias a pistones a gas.

Los actuadores lineales eléctricos funcionan como si de un husillo se tratase, transmitiendo un movimiento lineal en otro circular. Se deben colocar de tal manera que puedan elevar la camilla, obteniendo así la inclinación deseada, de 0° a 90° como máximo. Además, son elementos que se pueden encontrar con pequeñas velocidades por lo que son ideales para este tipo de productos ya que se deben conseguir movimientos suaves, progresivos y, sobre todo, seguros.

Tipos de sistemas de verticalización

Las sillas de ruedas verticalizadoras son muy útiles para prevenir anomalías ortopédicas de los miembros inferiores (equino de tobillos, flossum de las caderas o de las rodillas), especialmente en niños con enfermedades neuromusculares. (Guillon & Laffont, 2.016). Existen tres grandes grupos:

- Sillas con propulsión manual y verticalización manual asistida.
- Sillas de ruedas con propulsión manual y verticalización eléctrica
- Sillas eléctricas con verticalización eléctrica.

2.3.6. Antropometría

Es el estudio de las dimensiones morfológicas del cuerpo humano para su clasificación y su comparación. Se encarga de la medición de las variaciones de las dimensiones físicas y la composición del cuerpo humano en sus diferentes

edades. Su objetivo principal es la determinación de la masa corporal expresada por el peso, las dimensiones lineales como estatura, composición corporal y reservas de tejido adiposo y muscular (Giraldo Gómez, 2.012).

Las variables antropométricas son principalmente medidas lineales, como la altura o la distancia con relación a un punto de referencia anatómico, con el sujeto sentado o de pie en una postura tipificada; anchuras, longitudes, medidas curvas, de distancia sobre la superficie del cuerpo entre puntos de referencia, y perímetros. Si bien las dimensiones del cuerpo humano son numerosas, para diseñar un puesto de trabajo o un equipo específico, sólo se deben tener en cuenta algunas de ellas que se consideran relevantes según el trabajo que se está realizando.

Selección de sujetos de estudio.

Los criterios para la selección de los usuarios de sillas de ruedas que participarán en el estudio son: tener la necesidad de silla de ruedas para desplazarse, poseer la capacidad de realizar actividades profesionales con sus miembros superiores, haber adquirido la discapacidad después de haber culminado la etapa de desarrollo físico y estar en edad laboral (18 a 65 años). Se trabajó con 22 personas, lo que permite identificar el 90% de las necesidades ya que se está trabajando con un segmento relativamente homogéneo

Selección de las medidas

Para la selección se utiliza un análisis visual del listado completo de las medidas antropométricas de mayor uso, además se toman en cuenta algunos aspectos que tienen que ver específicamente con los usuarios de sillas de ruedas y que se listan a continuación (Moreno, 2.004):

1. Tipos de movimientos que se realiza en la silla de ruedas
2. Tipos de trabajo o labor que pueden realizar los usuarios
3. Posturas a ejecutar
4. Frecuencia de labores y trabajos
5. Carga mental o exigencias psicológicas del uso de la silla de ruedas
6. Riesgos y peligros derivados del uso de la silla
7. Percepción de bienestar

8. Satisfacción de características y formas de la silla
9. Necesidades de realizar tareas en posición de pies
10. Riesgos y necesidades en dependencia del entorno del entorno y
11. Otras características específicas derivadas del uso de la silla.

Después de realizar el análisis se seleccionan como dimensiones antropométricas, las medidas que a continuación se describen consideradas relevantes para la toma de datos a personas en sillas de ruedas, para el diseño de puestos de trabajos o de equipos de terapia y asistencia planteados (Mondelo, 1.999); (Panero y Zelnik, 1.984):

- **Altura poplítea (AP):** lo constituye la medida de la distancia vertical tomada desde el suelo hasta llegar al punto más alto de la depresión poplítea que será utilizado como referencia. Es necesario que la persona a medir esté sentado, con los pies asentados horizontalmente sobre el suelo a la altura del extremo anterior del asiento sin ejercer presión en la cara posterior del muslo, también los muslos estarán en posición horizontal formando un ángulo de 90° en las rodillas.

Para obtener la medida se coloca el antropómetro desde la superficie horizontal del suelo hasta que el extremo de la rama móvil del equipo haga contacto con el punto más alto de la depresión poplítea. Debe tenerse presente que el instrumento siempre esté vertical y paralelo al plano medio sagital del cuerpo.

- **Distancia sacro-poplítea (SP):** es la medida de longitud horizontal medida desde el punto correspondiente a la depresión poplítea de la pierna, hasta el plano vertical situado en la espalda del individuo.

La posición del individuo a medir es tener los muslos totalmente horizontales y formando ángulos rectos 90° , al mismo tiempo con las piernas del un extremo y el tronco del otro extremo. La utilización del antropómetro para obtener la medida va desde el extremo fijo haciendo contacto con el plano vertical hasta colocar la rama móvil en la depresión poplítea.

- **Altura codo-asiento (CA):** es la medida de la distancia obtenida desde el plano del asiento donde se encuentran las nalgas hasta la depresión del codo.

La posición del usuario se obtiene al colocar su brazo paralelo a la línea media del tronco, que es lo mismo que perpendicular al tronco; el brazo y el antebrazo forman un ángulo de 90°.

El antropómetro se coloca de tal forma que su extremo fijo hace contacto con el plano de la superficie del asiento, se mide de manera vertical hasta que el extremo móvil haga contacto con la depresión del codo.

- **Altura hombros-asiento (HA):** es la medida de la distancia vertical desde la superficie del asiento hasta el punto medio equidistante entre el cuello y el acromion.

La posición idónea se logra cuando el individuo está sentado con el tórax o tronco perpendicular al plano del asiento.

La medición se obtiene colocando el extremo fijo sobre el plano del asiento y el extremo móvil sobre la superficie del hombro equidistante entre cuello y acromion. Es importante controlar que el usuario mantenga los hombros en contacto con el plano vertical del asiento.

- **Anchura de caderas, sentado (CdCd):** es la medida de la distancia transversal horizontal que existe entre las caderas y que coincide con el inicio de los muslos en su parte superior.

Se posiciona a la persona que se mide sentado con el tórax perpendicular al plano del asiento.

Para obtener la medida, previamente se ubica con los dedos de la persona que mide, los huecos de las caderas de la persona que va a ser medida, entonces acomodar las ramas del antropómetro sobre las crestas ilíacas. Es importante no ejercer presión en los extremos del antropómetro; manteniendo horizontal el aparato se sube y baja en varias oportunidades hasta obtener el valor correcto de la medida.

- **Ancho de rodillas, sentado (RRs):** es la medida de distancia transversal horizontal que existe entre los puntos exteriores de los muslos en su parte

inferior, medidos tomando como referencia desde las rodillas 15 cm hacia arriba.

Igual que en la medida anterior, se posiciona a la persona sentada con el tórax perpendicular al plano del asiento, este a su vez es paralelo al suelo.

Para obtener la medida se colocan los extremos del antropómetro sobre los puntos indicados sin presionar, hasta encontrar el valor máximo de la distancia. Debe tener cuidado de mantener el aparato en posición horizontal transversal.

- **Altura subescapular, sentado (AS):** es la medida de la distancia vertical al suelo medida desde el ángulo inferior de la escápula hasta el plano del asiento

La posición correcta se obtiene ubicando a la persona a medir en una modificación de la PAA, puesto que esta es de pies y aquella es sentado.

Para obtener la medición se ubica el extremo fijo del antropómetro verticalmente desde el plano del asiento y paralelo al plano medio sagital del cuerpo, hasta que la punta del extremo móvil toque el borde inferior de la escápula.

- **Altura iliocrestal, sentado (AI):** es la medida de la distancia vertical tomada desde la espina ilíaca anterior y superior hasta el plano del asiento.

Igual que en el caso anterior se logra modificando la PAA cuando la persona esté sentada; esta altura corresponde con la altura sacrolumbar estando el sujeto sentado.

Para obtener el valor de su medición colocar el extremo fijo del antropómetro en contacto con el plano del asiento y paralelo al plano medio sagital del cuerpo, conservando siempre una posición vertical en el instrumento, se lleva la punta del extremo móvil hasta que tope con la espina ilíaca anterior y superior.

- **Profundidad del pecho (PP):** es la medida de la distancia horizontal obtenida desde el plano vertical posterior que pasa por el occipital, las escápulas y los glúteos hasta el punto más alejado del pecho.

Se mide colocando el extremo fijo del antropómetro desde el plano vertical posterior hasta que el extremo móvil se ubique a la altura del pecho. Debe cuidarse que el antropómetro siempre esté horizontal.

- **Anchura de hombros (HH):** es la medida de la distancia horizontal máxima que separa a los extremos de los músculos deltoides. Para obtener la medida se posiciona al individuo sentado de manera normal y relajada.

El valor de la medida se obtiene al colocar el antropómetro por detrás del individuo de forma tal que sus extremos se ubican en la superficie exterior de los hombros; sin ejercer presión, y manteniendo el antropómetro horizontal en todo momento se sube y baja hasta conseguir el valor correcto-máximo.

- **Estatura (E):** es la medida de la altura máxima de la persona desde la cabeza hasta el plano horizontal del suelo.

Para el estudio la altura se obtuvo colocando a la persona en posición de atención antropométrica modificada acostada en una cama.

Se obtiene el valor de la medición a través del uso del flexómetro desde la base horizontal de los pies hasta la cresta superior de la cabeza.

- **Largo del pie (LP):** es la medida de la distancia longitudinal de la base del pie que se encuentra horizontal y paralelo al suelo.

Se coloca el extremo fijo en el talón del individuo, manteniendo el antropómetro horizontal se llega con el extremo móvil hasta la punta de los dedos.

- **Anchura de pantorrillas (APant):** es la medida de la distancia horizontal transversal que existe entre los puntos más exteriores de las pantorrillas obtenidas a una distancia referencial vertical desde el piso de 20 cm.

La posición de la persona a ser medida es sentada con el tórax perpendicular al plano del asiento.

Se obtiene la medida colocando los extremos del antropómetro sobre las pantorrillas hacia adelante, sin presionar, hasta encontrar el valor máximo de la distancia, manteniendo el instrumento en posición horizontal.

2.3.7. Cálculo de la estabilidad del dispositivo

Para calcular el centro de masa en diferentes posiciones durante la sedestación y bipedestación se tiene en cuenta los valores de los segmentos corporales, las masas y los momentos de inercia. Con lo anterior se obtiene el centro de masa teniendo en cuenta el grosor, la masa y la longitud del segmento corporal.

2.3.8. Cálculo de la potencia

Para el cálculo de la potencia necesaria para el accionamiento de la bipedestación se realizan diagramas de cuerpo libre donde se realiza con un ángulo θ , siendo este el caso más desfavorable. Sin embargo, hay que considerar que para el cálculo de la potencia de elevación, interviene una fuerza F que correspondería al peso total y la velocidad V .

2.3.8 Simulación del comportamiento mecánico

La silla de prototipo final es evaluada por medio de análisis de elementos finitos con la utilización de algún software, con el fin de verificar que los esfuerzos y desplazamientos generados por el peso propio y el peso del usuario no excedan los valores máximos permisibles del material de construcción.

La figura No. 2.5 muestra los resultados de la simulación de la estructura de una silla de ruedas con sistema de bipedestación por medio del método de elementos finitos, siendo una herramienta necesaria para establecer la validez de los diseños de productos desarrollados como prototipos.



Figura No. 2. 5 Simulación de esfuerzos de silla bipedestadora por elementos finitos

Fuente: (Giraldo Gómez , 2012)

2.3.9. Eficiencia energética

Los aspectos energéticos de un proyecto están asociados a la especificación de las potencias o capacidades de los equipos seleccionados y a la provisión de la potencia y energía que demandará el proyecto. La incorporación de eficiencia energética en etapa de diseño (EED) tiene como objetivo optimizar el consumo y uso de la energía requerida, así como el desempeño energético general del proyecto o proceso en etapa de operación por medio de incorporación y aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para el uso eficiente de la energía (AChEE, 2.014).

- **La huella de carbono como indicador de competitividad**

La huella de carbono cuantifica la cantidad de emisiones de gases de efecto invernadero (GEI) que son liberadas a la atmósfera como consecuencia del desarrollo de cualquier actividad. A través del ejercicio de cálculo de la huella de carbono se identifican todas las fuentes de emisiones de GEI y es posible definir mejores objetivos y establecer medidas de reducción de energía más efectivas, como consecuencia de un mejor conocimiento de los puntos críticos (Jimenez Herrero, 2.007).

El desarrollo de la actividad empresarial, ha de cimentarse sobre la toma de conciencia por parte de la empresa de que la nueva economía sostenible debe de ser, ante todo, una economía baja en materia, energía y en carbono. Por eso, es indispensable conocer la huella de carbono e implantar medidas para su reducción.

Actualmente se encuentra dos tipos de enfoques metodológicos básicos para el cálculo de la huella de carbono: el primero de ellos centrado en la empresa y el segundo en el producto.

No obstante, independientemente de la metodología que se utilice, la evolución debe llevar a la implantación de una etiqueta de carbono que incida en la necesaria reorientación del aparato productivo con productos, procesos y servicios más eficientes e inteligentes. Una producción ambientalmente racional que modifique los tradicionales esquemas de actuación reactiva.

Las huellas de carbono de las tablas se refieren más bien a nuestras actividades sin contabilizar la energía incorporada en la realización de un proyecto.

Energía incorporada

Una definición es: "La cantidad de energía requerida por todas las actividades asociadas con un proceso de producción, incluidas las proporciones relativas consumidas en todas las actividades anteriores a la adquisición de recursos naturales y la proporción de energía utilizada en la fabricación de equipos y otras funciones de apoyo. energía directa más indirecta "(Te Kura Waihanga, 2.018).

2.4. Hipótesis

El diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización incide en su eficiencia energética.

2.5. Señalamiento de variables

2.5.1. Variable independiente

Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización

2.5.2. Variable dependiente

Eficiencia energética

2.5.3. Palabra de enlace

Incide

CAPÍTULO III

METODOLOGÍA

3.1. Enfoque

El presente proyecto de investigación estuvo enmarcado en un enfoque cuali – cuantitativo porque se realizó una investigación del diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización y su relación con la eficiencia energética; la información proporcionada sirvió de referencia para interpretar el sustento científico y profesional, así como el tratamiento estadístico de los datos con los que se planteó soluciones al problema.

3.2. Modalidades de la investigación

3.2.1. Bibliográfica – documental

La investigación utilizó esta modalidad porque se acudió a fuentes bibliográficas con información secundaria obtenidos en libros, revistas, publicaciones, folletos, información que permitió hacer un diagnóstico y comparación de la situación en el ámbito nacional e internacional del diseño de sillas de ruedas de bipedestación; así como fuentes de información primaria obtenidas de documentos válidos y confiables de estudios realizados al grupo objetivo.

3.2.2. De campo

Porque el investigador acudió al lugar en donde se producen los hechos para recabar información sobre el problema de deficientes sistemas de bipedestación para personas con discapacidad, además para el desarrollo de mediciones referentes a parámetros de diseño, aplicando metodologías estandarizadas e

instrumentos certificados para incrementar la confiabilidad de los resultados obtenidos.

3.2.3. Experimental.

Se creó un modelo científico como instrumento de la investigación de carácter material o teórico, el que se utilizó para hacer una reproducción simplificada de la realidad; este cumplió una función heurística, ya que permitió descubrir y estudiar nuevas relaciones y cualidades del objeto de estudio. Se aplicó al modelar el proceso de diseño de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización, permitiendo predecir los axiomas y las reglas de diseño para generar la estructura de este tipo de máquinas, observando si será adecuado o no.

3.3. Nivel o tipo de investigación.

3.3.1. Exploratoria

En este proyecto se analizó técnicas que están revolucionando el diseño mecánico a nivel mundial, debido a las nuevas aplicaciones y procedimientos, pero que por su costo son poco utilizadas a nivel industrial en el Ecuador, por ende es significativo determinar la forma de reducir costos. El Método de Elementos Finitos se lo utilizó en el diseño experimental para verificar cuanta efectividad tuvo el elemento creado.

3.3.2. Descriptivo

Así mismo como el estudio fue en su mayor parte de laboratorio, se describió el procedimiento correcto para realizar los ensayos para la obtención de resultados confiables, los cálculos necesarios para interpretar la distribución de colores que indican los esfuerzos en la silla de ruedas de bipedestación, la relación que existe entre estos valores y los esfuerzos obtenidos por el método de elementos finitos.

3.3.3. Asociación de variables

En este proyecto fue de vital importancia el asociar las variables, ya que de esta manera se pudo determinar si en realidad la implementación del análisis del comportamiento mecánico de la silla de ruedas de bipedestación con sistema de

verticalización motivo de estudio en realidad contribuye en la determinación de la posibilidad de utilización de los mismos.

3.4. Población y muestra.

3.4.1. Población

La población para esta investigación fueron las 4.233 personas con discapacidad física, registrados en la provincia de Tungurahua (Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades, 2.016). La Organización Mundial de la Salud a través de una publicación afirma que aproximadamente el 10.1% de una población con discapacidad física, es usuario de silla de ruedas, por esta razón la población obtenida para el estudio a realizarse es de 428 personas.

3.4.2. Muestra.

Para la determinación del tamaño de la muestra se utilizó la ecuación 3.1

$$n = \frac{\sigma^2 * N * p * q}{e^2 * (N - 1) + \sigma^2 * p * q} \quad [3.1]$$

Donde:

n= tamaño de la muestra

σ = Coeficiente de confianza (Z), $\sigma = 1.96$ (para $Z = 95\%$)

N = Universo o población, $N = 428$ personas con discapacidad física

p = probabilidad a favor (prevalencia de personas con discapacidad en sus miembros inferiores), $p = 10.1\%$

q = probabilidad en contra ($1 - p$), $q = 89.9\%$

e = error estimado, $e = 12\%$

De la aplicación de la Ecuación No. 3.1, se ha determinado que el tamaño de la muestra n es de 22 personas con discapacidad física en sus extremidades inferiores, localizadas en la provincia de Tungurahua y específicamente en la ciudad de Ambato en su mayoría.

3.5. Operacionalización de variables

3.5.1. Variable independiente: Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización

Tabla No. 3. 1 Operacionalización de la variable independiente: Diseño estructural de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS/ INSTRUMENTOS
<p>El diseño estructural se explica el diseño y características de la estructura principal y todos los demás elementos que conforman la silla. Los bipedestadores con sistemas de verticalización son equipos mecánicos cuya función principal es ayudar a erguir a una persona que no puede hacerlo por sí misma, son útiles para prevenir anomalías ortopédicas de los miembros inferiores. La información que proporciona el estudio biomecánico, será de utilidad como parámetros de diseño que se usarán en la síntesis mecanismo principal del prototipo. (Saavedra yOt,2013)</p>	Diseño y características de la estructura principal	Cargas a ser sometido	F[N], σ [MPa], τ [MPa], x[m]	Observación / Investigación bibliográfica, ensayos de lab.
	Elementos que conforman la silla.	Materiales	¿Qué materiales existen en el entorno para la fabricación de sillas de ruedas?	Observación / Investigación bibliográfica
	Síntesis del mecanismo principal	Matriz morfológica	¿Cuáles son los elementos de una silla de ruedas para la correcta funcionabilidad?	Encuesta /Cuestionario
	Estudio biomecánico	Validación del prototipo	¿Existe algún método para la verificación de los esfuerzos y desplazamientos generados estén dentro de los parámetros admisibles de diseño?	Observación / Simulación por FEM
		Medidas antropométricas	¿Se ha desarrollado un estudio antropométrico que permita dimensionar cada uno de los elementos de la silla de ruedas?	Observación / Fichas dimensiones antropométricas

Elaborado por: El Investigador

3.5.2. Variable dependiente: Eficiencia energética

Tabla No. 3. 2 Operacionalización de la variable dependiente: Eficiencia energética

CONCEPTO	CATEGORÍA	INDICADORES	ÍTEMS	TÉCNICAS/ INSTRUMENTOS
<p>Los aspectos energéticos de un proyecto están asociados a la especificación de las potencias o capacidades de los equipos seleccionados y a la provisión de la potencia y energía que demandará el proyecto, sin un análisis de la eficiencia con que se utilizará la energía en la etapa de operación. La incorporación de eficiencia energética en etapa de diseño (EED) tiene como objetivo optimizar el consumo y uso de la energía requerida, así como el desempeño energético general del proyecto o proceso en etapa de operación por medio de incorporación y aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para el uso eficiente de la energía. (AChEE, 2014)</p>	Especificación de potencias o capacidades	<p>Potencia necesaria para la bipedestación</p> <p>Torque</p> <p>Tiempo de verticalización</p>	<p>Pot = Fm*Vx [W]</p> <p>T [Nm]</p> <p>t = 16 a 21 [s]</p>	Observación / Investigación bibliográfica, ensayos de lab.
	Optimizar el consumo y uso de la energía requerida	<p>Riesgos antropometricos</p> <p>Factores fisiológicos</p> <p>Energía a almacenar</p>	<p>Nivel de riesgos</p> <p>CO, RC, PD, PS</p> <p>V[V], I[A], Cap. Carga [Ah]</p>	Observación / Investigación bibliográfica
	Aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para el uso eficiente de la energía	Energía que demandará el proyecto	Coeficiente de energía requerida MJ/Kg	Observación / Investigación bibliográfica.
		Matriz morfológica	¿Cuáles alternativas eficientes existen para la verticalización de sillas de ruedas?	

Elaborado por: El Investigador

3.6. Técnicas de recolección de la información.

Para el desarrollo del presente trabajo investigativo se realizó estudios de tipo bibliográfico y experimental. Las técnicas de investigación fueron la observación directa utilizando un cuaderno de notas con una metodología estructurada, recolección de información de libros e internet.

3.6.1. Observación

Para lo que se tomó notas de todo lo que se considera necesario en documentos como fichas, para describir los hechos de significación especial, que ayudó a registrar incidentes hasta tener una base informativa suficiente; se utilizó documentos de notas para describir todo lo observado, además se anotó fechas, cantidades y expresiones que se observan y escuchan.

3.6.2. Encuesta

Dirigido a las personas con discapacidad física en sus miembros inferiores, cuestionario elaborado con preguntas abiertas y cerradas que permitan obtener información de los especialistas sobre funcionalidades de la silla de ruedas.

3.7. Procesamiento y análisis.

3.7.1. Plan de procesamiento.

En el procesamiento de la información se planificó lo siguiente:

Se inició a recolectar la información necesaria partiendo del apoyo bibliográfico en cuanto a todo lo relacionado con los tipos de sillas de ruedas de bipedestación empleadas en el área objeto de estudio siguiendo la siguiente secuencia:

- Revisión bibliográfica acerca de los equipos, materiales y sistemas para la bipedestación y verticalización.
- Determinación del factor y valoración de las configuraciones de sistemas de verticalización más significativas.
- Estudio cinemático y dinámico de la estructura. Determinación de los esfuerzos en la estructura.

- Modelación virtual de la estructura con el sistema de verticalización seleccionado. Análisis de los esfuerzos por el método de elementos finitos.
- Fabricación y pruebas de un prototipo.

3.6.2. Plan de análisis e interpretación de resultados.

En el análisis e interpretación de resultados se planificó lo siguiente:

- Establecer las diferencias entre las variaciones del material respecto a las formas de la estructura de la silla de ruedas por medio del análisis de Elementos Finitos.
- Determinar cuál es el material más idóneo por medio del método de elementos finitos, considerando los diferentes tipos de análisis.
- Relacionar los resultados con las diferentes partes de la investigación, especialmente con los objetivos y la hipótesis.
- Comprobación de hipótesis.
- Establecimiento de conclusiones y recomendaciones.

CAPÍTULO IV

ANÁLISIS E INTERPRETACIÓN DE RESULTADOS

4.1. Parámetros para el diseño de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización

En el diseño de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización se tuvo en cuenta aspectos médicos, ergonómicos antropométricos y biomecánicos. Este capítulo explica lo concerniente a la medicina para personas con discapacidad en términos muy generales y los datos estadísticos de la población de estudio, con el fin de dar a conocer la importancia del trabajo de investigación como una alternativa de solución a varios problemas, que la gran población con discapacidad, tienen en la actualidad.

4.1.1. Aspectos importantes de medicina para personas con discapacidad.

Dentro de los aspectos médicos importantes a ser analizados se tiene la discapacidad y la rehabilitación.

- **Discapacidad**

La discapacidad es el resultado de una deficiencia, la que consiste en la pérdida, o el trastorno de cualquier parte del cuerpo, sistema o función. Y de acuerdo al nivel de lesión de la médula espinal se pueden presentar los tipos de discapacidad: Cuadriplejía, hemiplejía, paraplejía y monoplejía.

Para el trabajo de investigación, se consideraron individuos con un nivel de discapacidad máxima de *paraplejía*, la misma que se considera como la parálisis de las extremidades inferiores y de todo el tronco o parte de él. Este tipo de síndrome altera la función motora y se presenta cuando se lesiona la sección

transversal de la médula espinal al nivel de los segmentos torácicos (D1, D6 y D12). En estas lesiones se interrumpen las fibras nerviosas de los miembros inferiores, lo que produce parálisis a ambos miembros inferiores. Los superiores no se afectan. Los reflejos profundos y el tono muscular en los miembros inferiores se aumentan y aparecen reflejos de defensa y reflejos patológicos. Los reflejos cutáneos desaparecen por debajo de la lesión y se aumenta el tono muscular (Diaz & Rivera Gonzalez, 2.004).

Tabla No. 4. 1 Datos de las personas seleccionadas para el estudio

Número de identificación	Edad	Nivel de educación	Oficio	Causa de la discapacidad
1	59	Primaria		Paraplegia
2	39		Constructor	Accidente tránsito
3	52	Básica	Preparador de suelas	Accidente tránsito
4	58	Primaria		Descarga de electricidad
5	50	Superior		Poliomielitis
6	50	Primaria		Accidente tránsito
7	48	Primaria		Accidente Laboral
8	46	Secundaria	Control de Calidad	Secuela de Poliomieltis
9	66	Primaria	mecánico (no ejerce)	Accidente tránsito
10	34	Superior	Asistente de Contador	Accidente tránsito
11	60	Superior	Profesor	Tumor en el cerebro
12	53	Primaria		Semiplejía inferior
13	30	Primaria	Venta de perros	Daño columna
14	40		Chofer	Disparo de bala
15	50	Superior	Comerciante	Disparo de bala
16	61	Primaria	Comerciante	Caída de un árbol
17	43	Superior	Artesano	Accidente tránsito
18	55	Superior	Promotora laboral	Accidente tránsito
19	31	Secundaria		Parálisis cerebral
20	39	Superior	Policía	Disparo de bala
21	36		Matriculación vehicular	
22	33	Secundaria		Distrofia Muscular

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Una persona puede llegar a sufrir una discapacidad como resultado de una lesión o de una enfermedad, debido a ello se muestra en la Tabla No. 4.1 un estudio donde se indica las causas de la discapacidad bajo dos aspectos como son lesiones y/o enfermedades discapacitantes teniendo en cuenta los factores que la produjeron.

- **Rehabilitación**

El objetivo de todo programa de rehabilitación debe ser que las personas con discapacidad se recuperen hasta un nivel de vida independiente, de tal manera que al concluir un programa de rehabilitación posean un entrenamiento y comprensión adecuados para usar los recursos disponibles (sillas de ruedas, prótesis, caminadoras, muletas, etc.) que les ayuden a mantener sus niveles funcionales durante toda la vida.

4.2. Descripción generalizada de la silla de ruedas

La necesidad de rehabilitar y devolver una vida normal a la persona con discapacidad ha hecho que la tecnología desarrolle implementos que ayuden a mejorar la independencia del usuario, entre los cuales se encuentra la silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización, la misma que le proporciona una independencia en la transportación pero la característica principal es que puede alcanzar objetos altos, para lo que cuenta con un sistema que le permite elevarse y permanecer en dos apoyos (bípeda como el hombre).

La metodología para el análisis de los componentes que conforman la silla de ruedas con sistema de verticalización, parte de la descripción generalizada que se muestra en la Figura 4.1, el mismo que muestra los requerimientos (entradas) y los productos (salidas), sin embargo, en este análisis generalizado se considera además salidas no deseadas en los sistemas dinámicos y también ciertos requerimientos necesarios para su operación.

El sistema, es un conjunto de varios materiales entre ellos acero y polímeros que combinados ofrecen la interfaz adecuada entre una silla de ruedas y el usuario, asimismo cada elemento se conjuga con el ambiente de tal forma que requiere tanto de mantenimiento como de soporte espacial.

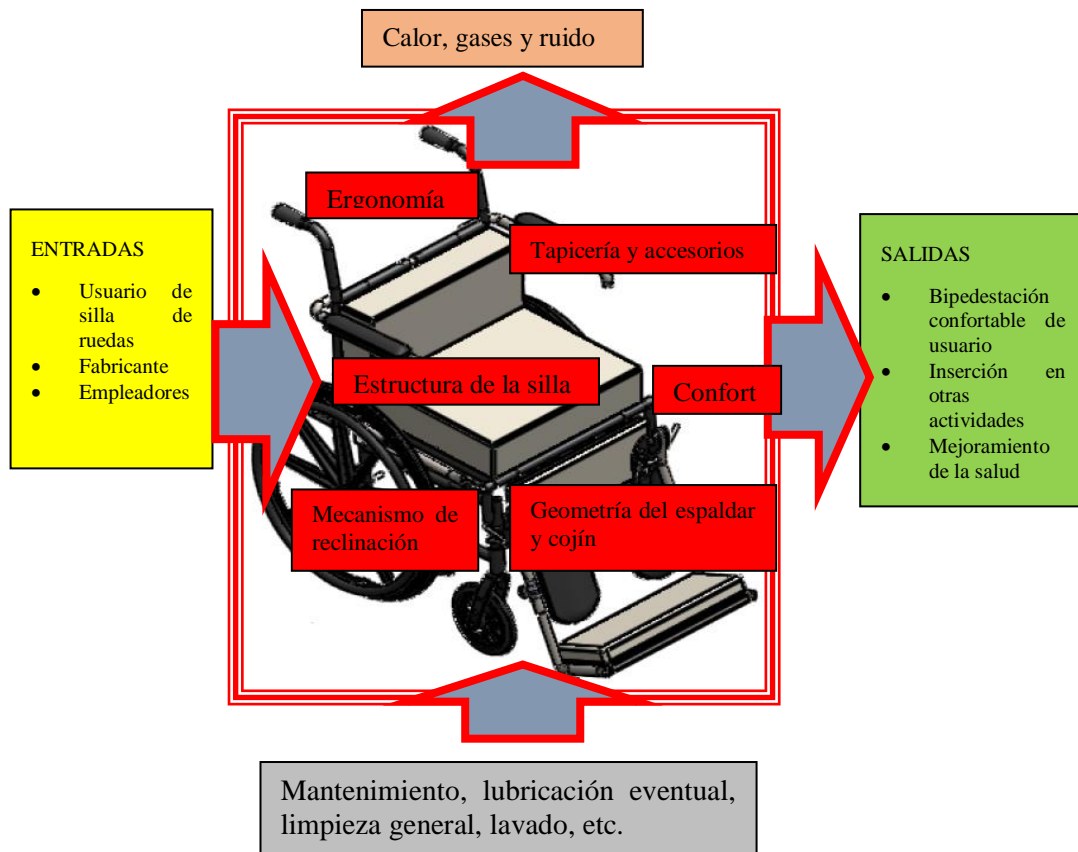


Figura No. 4. 1 Descripción generalizada del sistema
Elaborado por: El Investigador

La finalidad del equipo consiste en transportar y verticalizar a la persona con discapacidad física de miembros inferiores cómodamente, sin embargo, en el proceso se ven envueltos situaciones que deterioran al sistema lo que demandará un adecuado régimen de mantenimiento, limpieza como lavado o aspirado.

4.3. Diseño conceptual de la silla de ruedas de bipedestación

En esta sección se presentan los requerimientos a considerar por parte de los usuarios directos, así como las tecnologías disponibles a nivel nacional e internacional para lo que se enfoca el estudio en:

- Plantear condiciones de confort y comodidad a los usuarios según diseños actuales de mercado.
- Optimizar materiales utilizados en la fabricación de asientos para la disminución del peso del mismo.

- Mejorar la calidad de las sillas de ruedas respecto a los existentes en el mercado

4.3.1. Estudio del objeto

Las sillas de ruedas con sistema de verticalización permiten ponerse de pie a personas con poca estabilidad, mejora la circulación del flujo sanguíneo y previene de los posibles daños generados por sedestaciones prolongadas. Las tendencias actuales de diseño de sillas de ruedas se enfocan en brindar confort, además debe tener como objetivo primordial permitir al usuario la máxima funcionalidad, comodidad y movilidad; ya sea de manera independiente o asistida.

4.3.2. Tipología de varios fabricantes


Las tablas No. 4.2, 4.3 y 4.4, muestran la descripción técnica y características de sillas de ruedas de diferentes fabricantes, información que se utilizó para un posterior análisis de alternativas en este estudio.

Tabla No. 4. 2 Tipología sillas de ruedas MOVILITEC

Tipología 1: LS - LIFESTAND	
	<p>Descripción técnica: Silla de ruedas manual con verticalización a través de un sistema de palancas. Estructura rígida en aluminio y acero. Ideal para usuarios que no pueden verticalizarse de manera independiente.</p> <p>Características: Estructura rígida en aluminio y acero. Profundidad del asiento ajustable. Respaldo reclinable, plegable para mayor portabilidad y ajustable en altura. Eje trasero ajustable. Soportes para rodillas seguros y plegables. Reposabrazos robustos y plegables que ofrecen estabilidad y facilidad en las transferencias.</p>
Tipología 2: LSR - LIFESTAND	
	<p>Descripción técnica: Silla de ruedas manual con sistema de verticalización eléctrico. Combinando diseño con una funcionalidad perfecta, LSR es una silla que permite la autopropulsión pero también la verticalización y la relajación.</p> <p>Características: Estructura rígida en aluminio y acero. Asiento ajustable en profundidad. Respaldo reclinable, plegable para portabilidad y ajustable en altura. Reposapiés regulables en altura. Ruedas traseras de extracción rápida. Dos baterías de 2AH.</p>

Fuente: (MOBILITEC, 2.017)

Tabla No. 4. 3 Tipología sillas de ruedas ACTION VERTIC

Tipología 3: Invacare Action Vertic	
	<p>Descripción técnica: La silla Invacare Action Vertic es una silla de propulsión manual con verticalización del asiento eléctrica. Va dirigida a usuarios activos que desean ponerse de pie guardando su energía para autopropulsarse. Esta silla le permitirá disfrutar plenamente de los numerosos beneficios de la verticalización : independencia, bienestar, estimulación fisiológica, contactos sociales.</p> <p>Características: El movimiento de verticalización de la silla Invacare Action Vertic ha sido estudiado detenidamente: las dos rotaciones (a nivel de las rodillas y de la pelvis) y la traslación a nivel de las piernas respetan perfectamente el movimiento natural del cuerpo. En posición sentada, el asiento y el respaldo ajustables en tensión garantizan el correcto posicionamiento del usuario quien está perfectamente sujetado a lo largo de la fase de verticalización gracias a los soportes de rodillas y a los cinturones abdominales y pectorales.</p>

Fuente: (VERTIC, 2.017)

Tabla No. 4. 4. Tipología sillas de ruedas TECNUM

Tipología 4: Aulki A 80 - TMB1002	
	<p>Descripción técnica: Silla de bipedestación electrónica en acero inoxidable, capacidad de elevación sin límite de peso, ocupa muy poco espacio. Baterías de gel sin mantenimiento. Velocidad de 6 km/hora.</p> <p>Características: Programable en todas sus funciones.</p>
Tipología 5: Easy Standy - TMB1001	
	<p>Descripción técnica: Silla que utiliza para su verticalización un actuador lineal eléctrico con mando electrónico. Para personas de un peso de hasta 100 Kg.</p> <p>Características: Su chasis es de acero cromado, está provisto de cinturón pectoral y rodillera. Tapizado ignífugo en tejido lavable. Apoyabrazos elevables con posibilidad de reglaje en 3 diferentes alturas. Ruedas neumáticas. Centralita electrónica acoplada al apoya brazo con pulsador para la subida y la bajada, indicador visual de reserva de batería. Alimentación: 24 V. Dos baterías sin mantenimiento. Cargador de batería incluido.</p>

Fuente: (TECNUM, 2.017)

4.3.3 Empleo del método Kano para determinar las preferencias de los usuarios de la silla.

Con el propósito de cuantificar las preferencias de los usuarios de la silla de ruedas a diseñar se utilizó el método de Kano, que es una herramienta de la gestión de la calidad que facilita las decisiones de diseño de productos.

Método de Kano.

El método de Kano, se aplicó en tres etapas que permiten determinar parámetros relacionados con las características de diseño que se describen a continuación:

a. Identificación de los requerimientos para el producto.

En el cuestionario para aplicar el Método de Kano se incluyeron 22 requerimientos determinados a partir del estudio de las tipologías y la descripción de sus componentes principales, que en su contenido y análisis implican características de la silla de ruedas; en la Tabla No. 4.5. se agrupan los requerimientos en 5 subconjuntos:

Tabla No. 4. 5. Características y requerimientos de la silla de ruedas

Características	Requerimientos
(1) capacidades	<ol style="list-style-type: none">1. Capacidad de bipedestación.2. Sistema eléctrico de bipedestación.3. Sistema manual de bipedestación.
(2) materiales de construcción	<ol style="list-style-type: none">4. Estructura de la silla de hierro.5. Estructura de la silla de aluminio.6. Ruedas con radios de aluminio.7. Ruedas con radios de plástico
(3) tipos de ruedas y frenos	<ol style="list-style-type: none">8. Ruedas macizas.9. Ruedas neumáticas.10. Silla con 4 ruedas.11. Silla con 6 ruedas12. Sistema de freno en 1 rueda.13. Sistema de freno en 2 ruedas
(4) soportes de seguridad	<ol style="list-style-type: none">14. Capacidad de regulación del respaldar.15. Soporte de seguridad en abdomen y pelvis.16. Soporte de seguridad en las canillas.17. Soporte de seguridad en las rodillas.18. Soporte de seguridad en el empeine.19. Soporte de seguridad en los talones.
(5) adaptabilidad	<ol style="list-style-type: none">20. Adaptabilidad a estatura y contextura.21. Selección del color de la tapicería22. Disponibilidad local de la silla de ruedas

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

b. Construcción del cuestionario de Kano.

El modelo de la pregunta que corresponde al primer requerimiento sobre la capacidad de bipedestación, se muestra en la donde se observan las preguntas relacionada con la ponderación e importancia que el usuario de la silla de ruedas atribuye a la capacidad de bipedestación: una funcional, una disfuncional y una que evalúa la importancia otorgada al requerimiento a fin de complementar el análisis de los resultados (Urrutia Urrutia, 2.016). Los otros 21 requerimientos de la entrevista se presentan como los ejemplos del anexo A.

1. REQUERIMIENTO: Capacidad de bipedestación.

¿Cómo se sentiría usted **SI** utiliza una silla de ruedas con capacidad de bipedestación?
 ¿Cómo se sentiría usted si **NO** utiliza una silla de ruedas con capacidad de bipedestación?

Para esta pregunta, seleccione una de las respuestas entre las siguientes:

¿Cómo se sentiría usted SI utiliza una silla de ruedas con capacidad de bipedestación?	1. Me agrada
	2. Es lo esperado
	3. Me da lo mismo
	4. Puedo aceptarlo
	5. Me desagrada
¿Cómo se sentiría usted si NO utiliza una silla de ruedas con capacidad de bipedestación?	1. Me agrada
	2. Es lo esperado
	3. Me da lo mismo
	4. Puedo aceptarlo
	5. Me desagrada

Por favor, haga una evaluación de la **importancia** que tiene para usted este requerimiento:

	Para nada importante	Algo importante	Importante	Muy importante	Extremo importante				
Capacidad de Bipedestación	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Figura No. 4. 2. Preguntas relacionadas al requerimiento 1: Capacidad de bipedestación.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

c. Aplicación de la entrevista al usuario.

Dentro del proceso de adquisición de datos se realizaron las entrevistas a los potenciales usuarios de una silla de ruedas de bipedestación, se utilizaron las preguntas incluidas en el cuestionario, éstas son tratadas en un software de procesamiento estadístico de datos.

En las imágenes de la Figura No. 4.3., se observan algunas de las visitas a las personas que formaron parte del estudio y que han dado su consentimiento para el uso de las imágenes en esta investigación.



Figura No. 4. 3 Imágenes de las entrevistas y mediciones realizadas.

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

d. Procesamiento de la información

En el sistema informático se ingresaron los datos personales y de la encuesta, se realizaron los cálculos y se presentan en tablas y gráficos en los que se presentan los resultados: por ejemplo, permite filtrar por rango de edad, sexo, origen de la discapacidad y nivel de ingresos. Las respuestas correspondientes a cada usuario se recolectan utilizando el formato de dos páginas que se muestra en la figura No.4.4.

La primera página recopila información relacionada con los datos personales, de contacto y de disponibilidad para la realización de las mediciones antropométricas, en la segunda hoja se encuentran las respuestas a la pregunta funcional, disfuncional y de valoración de importancia para cada requerimiento.

Nombres y Apellidos: _____

Sexo: Masculino Femenino Fecha de nacimiento: ___/___/___ (dd/mm/aa)

Edad: _____ Nivel de estudios: _____

Estado civil: _____

Dirección domiciliaria: _____

Números de teléfono: _____

Trabaja: Si No

Ocupación: _____

Lugar de trabajo: _____

Dirección de trabajo: _____

Número de teléfono trabajo: _____

Causa por la que usa silla de ruedas: _____

Disponibilidad para realizar sesión de medidas antropométricas

Lunes	Martes	Miércoles	Jueves	Viernes	Sábado	Domingo
Mañana 6-8	Mañana 8-10	Mañana 10-12	Medio día 12-2	Tarde 2-5	Tarde 5-7	Noche 7-9

Donde se podría realizar esta sesión:

Casa UTA Otro: _____

TABLA DE RESPUESTAS

1	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
2	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
3	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
4	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
5	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
6	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
7	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
8	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
9	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
10	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
11	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
12	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
13	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
14	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
15	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
16	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
17	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
18	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
19	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
20	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
21	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9
22	SI	1	2	3	4	5	NO	1	2	3	4	5	IMPORTANCIA	1	2	3	4	5	6	7	8	9

Figura No. 4. 4. Formato Datos informativos y Página de repuestas de la entrevista.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

e. Resultados obtenidos del cuestionario Kano

Los resultados más importantes una vez aplicado el método, y después del procesamiento estadístico de datos se sintetizan en la Tabla No. 4.6., esta recopilación presenta ordenadamente solo los 11 datos primeros, según el promedio de la importancia que los usuarios consultados le asignaron a los requerimientos.

Tabla No. 4. 6. Síntesis de resultados.

Req	A	O	U	Inv	D	I	Total	Atr	%	Imp
1	12	2	7	0	0	2	23	A	52	8,0
14	7	1	13	0	0	2	23	U	57	7,9
20	11	2	9	0	0	1	23	A	48	7,9
13	7	2	14	0	0	0	23	U	61	7,7
15	5	0	17	1	0	0	23	U	74	7,7
17	2	1	10	2	1	7	23	U	43	7,6
2	6	1	13	2	0	1	23	U	57	7,5
18	7	4	8	1	0	3	23	U	35	7,5
16	6	1	10	2	1	3	23	U	43	7,3
10	6	0	5	2	0	10	23	I	43	7,2
19	9	2	10	1	0	1	23	U	43	7,1

Nota: Req = Requerimiento, A = Atractivo, O = Obligatorio, U = Unidimensional, Inv = Inversos, D = Directos, I = Indiferentes, Atr = Atributo, Imp = Promedio importancia
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Según los datos que se observan en la Tabla No. 4.6., se obtienen que los requerimientos de los usuarios están dados de acuerdo al siguiente análisis:

- Ningún requerimiento fue valorado como obligatorio, esto confirma que el producto sobre el que se realizó la consulta (silla de ruedas de bipedestación) no es un producto básico.
- Los tres requerimientos que fueron valorados con mayor importancia: la capacidad de bipedestación, la posibilidad de reclinar el respaldo de la silla y la adaptabilidad a la estatura y el peso (1, 14, 20 respectivamente).
- Que el sistema de bipedestación sea eléctrico (requerimiento 2) fue clasificado como atributo atractivo e importante.
- Los requerimientos relacionados con los materiales de construcción, y tipos y cantidad de ruedas no fueron valorados como importantes (valores menores a 7) y obtuvieron en su mayoría clasificaciones como atributos indiferentes e inversos.
- El atributo (Atr) asignado a cada requerimiento fue seleccionado en general por más de un 43% de los entrevistados lo que indica que la variabilidad de las respuestas fue baja, por lo que no generan dudas sobre su interpretación.
- Adicionalmente, en los atributos donde el porcentaje de selección estuvo alrededor del 40% las segundas opciones más seleccionadas varían entre unidimensionales y atractivos. Debido a que estos dos tipos de atributos fueron incluidos en el diseño esta variabilidad lo que no afectó la selección final de parámetros a ser incluidos en el diseño.

De forma que se tomó en cuenta los resultados de la encuesta se propone diseñar una silla de ruedas con capacidad de bipedestación a fin de obtener un producto esperado. Éste adicionalmente incluyó: (1) capacidad de regulación de ancho y alto para ajustarse a la estatura y contextura del usuario, (2) un mecanismo que permita variar la inclinación del respaldo, (3) un sistema de freno en al menos dos ruedas, (4) un sistema eléctrico para extender la silla de la posición sentado a la de pie y viceversa, (5) un sistema de sujeción en pies, piernas y cintura.

4.4. Despliegue de la función calidad

El enfoque central del Despliegue Función Calidad (QFD) es involucrar las características técnicas de las sillas de ruedas y las necesidades del cliente desde el proceso de desarrollo de las mismas lo antes posible. El proceso es diseñado en respuesta a ello, priorizando las alternativas, encontrando respuestas innovadoras y mejorando la efectividad del producto. El QFD es una práctica que conduce a mejoras del proceso y que permite a una organización sobrepasar las expectativas propias y del cliente.

La analogía más usada para explicar cómo está estructurado el QFD es una casa, denominada la Casa de la Calidad (House of quality), ver anexo B, compuesta por nueve matrices relacionadas entre sí. Su metodología de elaboración sigue un orden lógico, y resulta de gran utilidad el uso de herramientas adicionales para detectar y obtener con más eficacia los datos necesarios.

4.4.1. Características técnicas de las sillas de ruedas

Para cumplir con las necesidades detectadas con el método Kano se han propuesto para el proyecto de investigación, los objetivos mostrados en la tabla No. 4.7, siguientes:

Tabla No. 4. 7 Cuantificación de los objetivos de las Características de Calidad.

Características Técnicas	Objetivos
Estética	Estudios de Ingeniería Kansei y D&S
Materiales de calidad	Cumplimiento normativa
Reducir volumen del asiento	Medidas antropométricas
Ubicación de los elementos	Normativa Ergonómica
Formas ergonómicas	Normativa Ergonómica
Dimensiones antropométricas	Medidas antropométricas
Ciclo de vida	Cumplimiento normativo
Número componentes	-5%
Coste Materiales	-15%
Complejidad de las formas	Disminuir coste moldes
Ligereza Materiales	-5%
Resistentes Materiales	Cumplimiento normativa
Limpieza	Cumplimiento normativa
Extracción de elementos sencilla y segura	Cumplimiento normativa
Colores	Estudios de Ingeniería Kansei

Elaborado por: El Investigador

Matriz 1: Fijación del objetivo

La primera matriz es la redacción del objetivo a cumplir. Normalmente la parte más difícil de un problema no es resolverlo sino plantearlo. Si el problema no está bien planteado no es posible resolverlo. Por tanto, es necesario fijar claramente “a qué se va a aplicar la metodología QFD” mediante una definición clara y concreta, y que ésta sea entendida y compartida por los participantes.

Son diferentes los aspectos que a partir de la información de los usuarios se deben mejorar como se indican en la Tabla No. 4.8, sin embargo en esta primera parte se definen características a trabajar en un nuevo modelo de tal forma que permitan alcanzar la premisa de actual proyecto que es clara: “El desarrollo de una silla de ruedas con sistema de bipedestación”, es decir se establecen los “requerimientos funcionales” o el “como” se va a mejorar, y dentro de sus características se plantean las siguientes:

Tabla No. 4. 8 Matriz 1 QFD Requerimientos funcionales o el como

Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Estética	Material de calidad	Reducir volumen del asiento	Ubicación de los elementos	Formas ergonómicas	Dimensiones antropométricas	Ciclo de vida	Número componentes	Coste Materiales	Complejidad de las formas	Ligereza Materiales	Resistentes Materiales	Limpieza	Extracción de elementos sencilla y segura	Colores

Elaborado por: El Investigador

Matriz 2: Calidad solicitada

La segunda matriz consiste en definir la lista de expectativas, es decir de los “Qué” que ha de satisfacer el producto o servicio.

La información del usuario se puede obtener por dos vías, la retroalimentación e input. La retroalimentación se da después del hecho. En un escenario de manufactura, esto significa después de que un producto se ha desarrollado, producido y puesto en el mercado. En ocasiones esta información llega demasiado tarde debido a que no existen lotes posteriores, aunque en el caso que nos atañe no es así, ya que la nueva silla de ruedas parte del rediseño de un modelo anterior existente, y, por tanto, si se puede obtener información previa.

El input se obtiene antes del hecho. En un escenario de manufactura, esto significa durante el desarrollo del producto. Recoger el input del usuario durante el desarrollo del producto permite que se hagan cambios antes de la producción, comercialización y distribución de grandes cantidades de un producto.

Recoger el input es más valioso que coleccionar retroalimentación. Sin embargo, ambos input y retroalimentación tienen valor. Idealmente, la retroalimentación sobre una base amplia debe utilizarse para comprobar el input que es necesariamente más estrecho. Ambos tipos de información pueden ser categorizados aún más de acuerdo a varias características, ver Figura 4.5.



Figura No. 4.5 Características de la información del cliente.
Elaborado por: El Investigador

En el caso de sillas de ruedas se puede obtener información de dos procedencias, del cliente usuario final y del fabricante. En la mayoría de ocasiones la obtención de información por parte del primero es muy difícil debido a que no existe contacto directo y las informaciones no solicitadas, que normalmente son muy valiosas, no llegan directamente al fabricante. El procedimiento más común es que el mismo fabricante realice un listado de especificaciones de sus necesidades técnicas, funcionales y económicas, las cuales pueden incluir puntos basados en los usuarios finales.

No obstante, y debido a la importancia de la opinión del usuario final, para este proyecto se tiene información solicitada tanto de inputs como retroalimentación. Para solicitar la retroalimentación se han realizado una encuesta anteriormente desarrollada con el método Kano, donde el cliente valora una serie de aspectos relacionados con la silla de ruedas. El input se ha obtenido tras la realización de un panel de expertos donde un grupo de usuarios potenciales opinan sobre

dibujos, modelos virtuales o prototipos de un producto aún sin desarrollar, obteniendo de esta manera información cuantitativa estructurada.

En este caso con la encuesta desarrollada con el método Kano se evaluaron 22 características relacionados con aspectos de capacidades, materiales de construcción, tipos de ruedas y frenos, soportes de seguridad y adaptabilidad, de los cuales únicamente se ha priorizado y se han seleccionado 10, para lo que se ha valorado la importancia de los mismos y la necesidad o no de ese requerimiento.

Los resultados obtenidos de las diferentes fuentes han sido unificados en una lista la que recoge los diez principales requerimientos solicitados por el cliente, tanto a nivel usuario como industria (operador y empresa fabricante). Ver Tabla No. 4.9.

Tabla No. 4. 9 Requerimientos priorizados por el usuario

No.	Requerimientos	Importancia/Peso
1	Capacidad de bipedestación.	8,0
14	Capacidad de regulación del respaldar	7,9
20	Adaptabilidad a estatura y contextura	7,9
13	Sistema de freno en 2 ruedas	7,7
15	Soporte de seguridad en abdomen y pelvis	7,7
17	Soporte de seguridad en las rodillas	7,6
2	Sistema eléctrico de bipedestación	7,5
16	Soporte de seguridad en las canillas	7,3
10	Silla con 4 ruedas	7,2
19	Soporte de seguridad en los talones	7,1

Elaborado por: El Investigador

Matriz 3: Asignación de coeficientes de peso a las expectativas del cliente

Todas las expectativas del cliente son importantes, pero no todas con el mismo valor. Para jerarquizar los distintos requerimientos se debe asignar unos valores a cada uno de ellos teniendo en cuenta la voz del cliente, así como de los expertos.

Para la asignación de pesos a cada uno de las características priorizadas en la encuesta realizada, en este caso se utiliza el mismo criterio y resultados obtenido de la importancia que valoraron cada uno de los usuarios lo que permite establecer también una jerarquización de dichas características de unas sobre otras.

Los resultados finales se presentan en la Tabla No. 4.9, siendo el aspecto de capacidades y/o funciones el de mayor importancia con su característica de la

necesidad de bipedestación que tienen los usuarios de sillas de ruedas lo que se presenta y en esta tabla el aspecto de seguridad con la característica de seguridad en los talones como décimo requerimiento priorizado de los 22 encuestados.

Plasmados estos valores o pesos y juntamente con los requerimientos priorizados se presentan en la Matriz QFD de este proyecto en la Tabla No. 4.10

Tabla No. 4. 10 Pesos y Requerimientos dentro de la matriz QFD

Row #	Max Relationship Value in Row	Relative Weight	Weight / Importance	Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (x)	
				Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")	Demanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")
1	9	10,5	8,0		1. Capacidad de bipedestación
2	9	10,4	7,9		14. Capacidad de regulación del respaldo.
3	9	10,4	7,9		20. Adaptabilidad a estatura y contextura.
4	3	10,1	7,7		13. Sistema de freno en 2 ruedas
5	9	10,1	7,7		15. Soporte de seguridad en abdomen y pelvis.
6	9	10,0	7,6		17. Soporte de seguridad en las rodillas.
7	9	9,9	7,5		2. Sistema eléctrico de bipedestación.
8	3	9,6	7,3		16. Soporte de seguridad en las canillas
9	9	9,5	7,2		10. Silla con 4 ruedas
10	3	9,4	7,1		19. Soporte de seguridad en los talones

Elaborado por: El Investigador

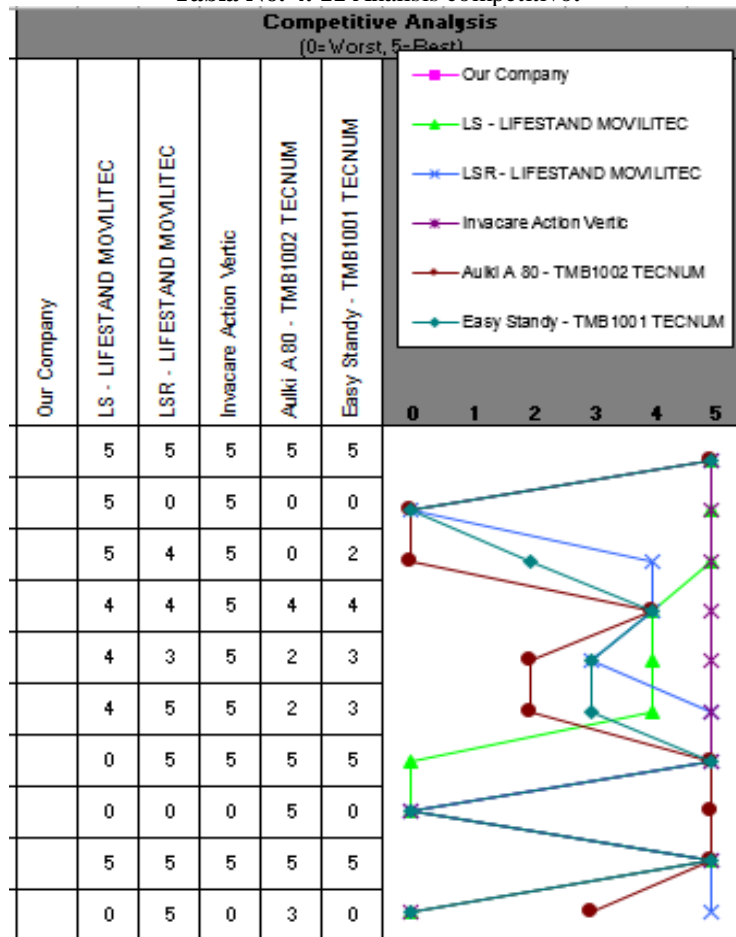
Se observa como el requerimiento principal corresponde a capacidad de bipedestación del producto, debido a que es el objetivo principal del proyecto. El resto de requerimientos en ocasiones no son una solución directamente aplicable al propósito principal del proyecto, pero, sin embargo, sí que son muy útiles a la hora de priorizar las posibles soluciones.

Matriz 4: análisis competitivo

El futuro de un producto o servicio que nazca con unas características inferiores a las de sus competidores actuales es bastante oscuro. Por esta razón es evidente que conviene ver si los productos o servicios ofertados por la competencia incorporan las expectativas del cliente, y qué grado de excelencia tienen en los mismos.

Para ello se han valorado en ámbito global las distintas disciplinas analizadas en el estudio de mercado, incluido el propio sector de la salud, obteniendo así una evaluación de las expectativas requeridas para el nuevo producto que permite fijar con criterio unos objetivos de excelencia a cumplir, tomando para ello normalmente la referencia del mejor competidor en cada expectativa.

Tabla No. 4. 11 Análisis competitivo.



Elaborado por: El Investigador

Partiendo de la Tabla. No. 4.11, se observa como la marca Invacare Action Vertic es el sector que reúne mayor número de requerimientos con puntuación elevada. Esto es debido al gran interés de personalizar y adaptar los elementos al usuario, promovido por el gran volumen de competencia y presupuesto destinado a ello.

Por tanto, para el desarrollo de nuestro modelo será útil aprovechar los conocimientos adquiridos por las distintas disciplinas, adaptándolos a las presentes circunstancias y hallando las soluciones más apropiadas a los requerimientos solicitados en el presente proyecto.

Matriz 5: características de calidad

La quinta matriz (Tabla No.4.12) se usa para comparar las características técnicas de la segunda matriz con sus tecnologías aplicadas asociadas.

Existen diferentes herramientas que ayudan a correlacionar estos aspectos encontrando la naturaleza de un problema, sus causas adjuntas y generando soluciones innovadoras, por ejemplo, el diagrama de afinidad, obteniendo así un listado con soluciones o tecnologías aplicadas que responden el cómo mejorar los requerimientos definidos en la matriz primera.

Tabla No. 4. 12 Características de Calidad.

Características Técnicas	Tecnología aplicada
Capacidad de bipedestación.	Estética
	Ubicación elementos
	Dimensiones antropométricas
Capacidad de regulación del respaldar	Estética
	Ubicación elementos
	Dimensiones antropométricas
	Costes de materiales
	Complejidad de formas
Adaptabilidad a estatura y contextura	Estética
	Dimensiones antropométricas
	Número de componentes
	Complejidad de formas
Sistema de freno en 2 ruedas	Número de componentes
Soporte de seguridad en abdomen y pelvis	Ubicación elementos
Soporte de seguridad en las rodillas	Ubicación elementos
Sistema eléctrico de bipedestación	Costes de materiales
	Extracción de elementos
Soporte de seguridad en las canillas	Ubicación elementos
Silla con 4 ruedas	Estética
	Ubicación elementos
	Número de componentes
	Costes de materiales
	Extracción de elementos
Soporte de seguridad en los talones	Ubicación elementos

Elaborado por: El Investigador

Matriz 6: Análisis de las características de calidad

La sexta matriz estudia si existe alguna correlación entre las características de calidad, pudiendo ser muy negativa, negativa, positiva o muy positiva.

Además, se estudia si para la satisfacción de las expectativas es bueno que la cantidad asignada a las características técnicas crezca, decrezca o se sitúe en un valor objetivo (ver figura No. 4.6).

- ++ Correlación fuerte positiva
- + Correlación Positiva
- Correlación Negativa
- ▼ Correlación fuerte negativa
- ▼ Objetivo a ser minimizado
- ▲ Objetivo a ser maximizado
- x Objetivo a ser alcanzado

Figura No. 4. 6 Análisis de las Características de Calidad.
Elaborado por: El Investigador

La matriz de la Figura No. 4.7 muestra las relaciones entre las diferentes características de calidad necesarias para el desarrollo de la silla de ruedas con sistema de bipedestación.

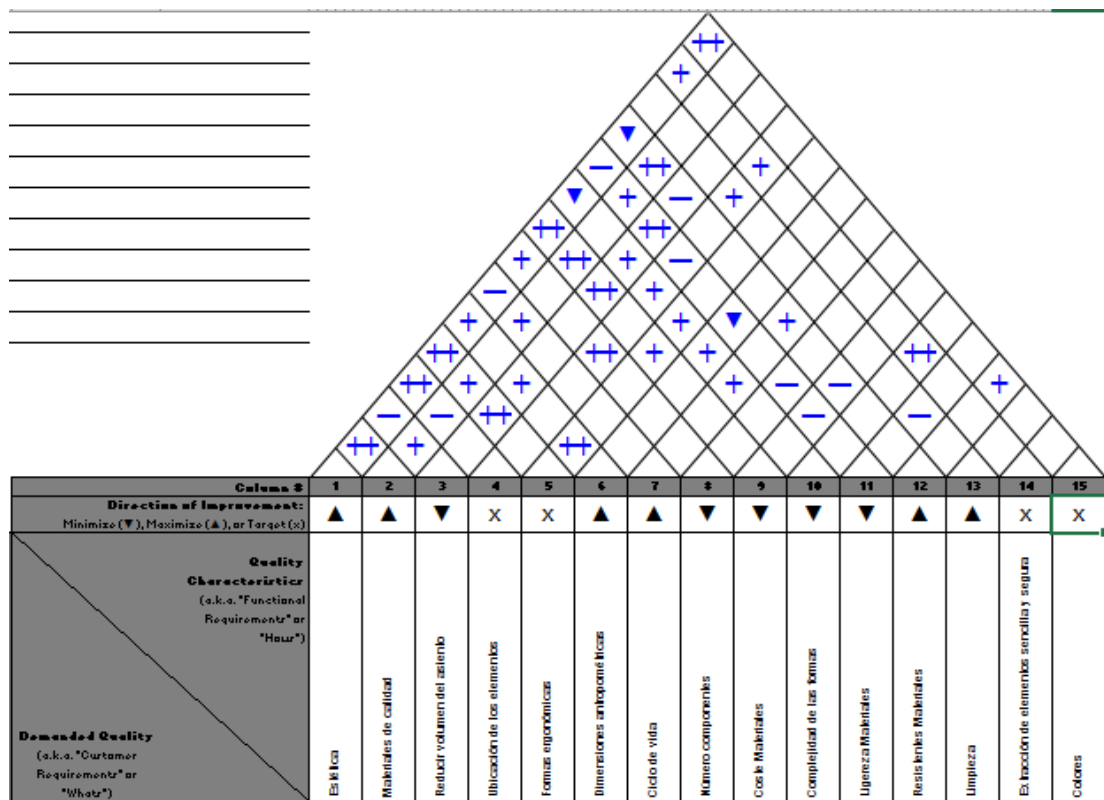


Figura No. 4. 7 Relaciones de las Características de Calidad para el proyecto.
Elaborado por: El Investigador

Matriz 7: Matriz de relaciones

La séptima matriz trata de valorar la influencia que tienen las distintas expectativas en la obtención de las distintas características técnicas. Para ello se adopta la escala de correlación clásica japonesa 1-3-9 como se muestra en la figura No. 4.8.

⊖	influencia fuerte	9
○	influencia moderada	3
▲	influencia débil	1

Figura No. 4. 8 Simbología de la Matriz de relaciones
Elaborado por: El Investigador

De acuerdo a la simbología establecida, la valoración de la influencia fuerte, moderada o débil de las demandas del usuario con las características de calidad del proyecto de investigación se muestra en la Figura No. 4.9 donde se han establecido las siguientes:

Demedanded Quality (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Quality Characteristics (a.k.a. "Functional Requirements" or "Hows")														
	Estética	Materiales de calidad	Reducir volumen del asiento	Ubicación de los elementos	Formas ergonómicas	Dimensiones antropométricas	Ciclo de vida	Número componentes	Coste Materiales	Complejidad de las formas	Ligereza Materiales	Resistentes Materiales	Limpieza	Extracción de elementos sencilla y segura	Colores
1. Capacidad de bipedestación	⊖	○	○	⊖	⊖	⊖		○	⊖	⊖	○	○	○	○	
14. Capacidad de regulación del respaldar.	⊖	○	▲	⊖	○	⊖		⊖	⊖	⊖	○	○		○	
20. Adaptabilidad a estatura y contextura.	⊖	▲	○	○		⊖	▲	⊖	○	⊖	○			○	
13. Sistema de freno en 2 ruedas	▲	○		○	▲	○	▲	○	○	▲	▲			○	
15. Soporte de seguridad en abdomen y pelvis.	○	○	○	⊖	○	○		○	▲	○	▲			▲	○
17. Soporte de seguridad en las rodillas.	○	○		⊖	○	○		○	▲	▲	▲			▲	▲
2. Sistema eléctrico de bipedestación.	▲	○	▲	○		▲		○	⊖	○	○			⊖	
16. Soporte de seguridad en las canillas	▲	▲		○	○	○		▲	▲	▲	▲				▲
10. Silla con 4 ruedas	⊖	○		⊖			○	⊖	⊖	○	○		○	⊖	
19. Soporte de seguridad en los talones	▲	▲		▲	○	○		▲	▲	▲					▲

Figura No. 4. 9 Matriz de relaciones
Elaborado por: El Investigador

Matriz 8: Puntuación final

Se ha visto anteriormente que no todas las expectativas tienen la misma importancia y que cada característica técnica contribuye en la consecución de una

expectativa a través del coeficiente de la matriz de relaciones, por tanto, se puede valorar el resultado de cada característica técnica. Además, hay que tener en cuenta que tampoco todas las soluciones son iguales en el sentido que no todas tienen la misma probabilidad de éxito, unas consumen más recursos que otras, etc.

Tabla No. 4. 13 Puntuación Final

Estética	Materiales de calidad	Reducir volumen del asiento	Ubicación de los elementos	Formas ergonómicas	Dimensiones antropométricas	Ciclo de vida	Número componentes	Coste Materiales	Complejidad de las formas	Ligereza Materiales	Resistentes Materiales	Limpieza	Extracción de elementos sencilla y segura	Colores
467,1	241,2	113,6	584,8	253,6	439,9	49,0	443,9	463,6	409,9	192,1	62,8	60,1	319,0	59,4
11,2	5,8	2,7	14,1	6,1	10,6	1,2	10,7	11,1	9,9	4,6	1,5	1,4	7,7	1,4

Elaborado por: El Investigador

Matriz 9: Ordenación y Priorización

Las tecnologías se reordenan según la puntuación relativa obtenida. Esta ordenación indica el grado de prioridad en caso de que sea preciso optar entre ellos.

Tabla No. 4. 14 Ordenación y Priorización.

Prioridad	Peso relativo	Tecnología aplicada
1	14.1	Ubicación de los elementos
2	11.2	Estética
3	11.1	Coste Materiales
4	10.7	Número de componentes
5	10.6	Dimensiones antropométricas
6	9.9	Complejidad de las formas
7	7.7	Extracción de elementos simple y sencilla
8	6.1	Formas ergonómicas
9	5,8	Materiales de calidad
10	4.6	Ligereza Materiales
11	2.7	Reducir volumen del asiento
12	1.5	Materiales resistentes
13	1,4	Limpieza
14	1,4	Colores
15	1,2	Ciclo de vida

Elaborado por: El Investigador

Cabe destacar que aún obtener una posición no prioritaria, la resistencia y ligereza de los materiales serán considerados primordiales, ya que la relación existente con el objetivo de desarrollar una silla de ruedas con capacidad de bipedestación es muy fuerte porque será construido con materiales locales. Las otras tecnologías con relación directa con el objetivo también serán valorizadas por encima de sus pesos relativos, tales como la reducción del volumen del asiento, coste de materiales y número de componentes.

Finalmente, y tras relacionar las tecnologías con similitudes entre sí, se obtendrán las principales soluciones a aplicar (Tabla No. 4.15), con la finalidad de cumplir con el objetivo principal y las expectativas del cliente.

Tabla No. 4. 15 Soluciones a aplicar

Prioridad	Soluciones a aplicar
1	Selección de Materiales: ligereza, dureza, resistencia, precio.
2	Reducción volumen: número de componentes, accesorios, etc.
3	Estética: formas sencillas (reducción coste de moldes) e imagen.
4	Formas y dimensiones ergonómicas (antropometría).
5	Ciclo de vida (limpieza, mantenimiento...).

Elaborado por: El Investigador

4.5. Estudio ergonómico.

La columna vertebral, suele estar expuesta a ciertas limitaciones en su funcionamiento que tendrían consecuencias negativas sobre el sistema nervioso, que a su vez afectará al conjunto del organismo.

La columna vertebral de los seres humanos presenta una doble curvatura en “S”, y es fundamental para mantener la posición bípeda que es lo que se espera obtener. Así existen dentro de ellos tres segmentos bien diferenciados según se muestra en la figura No. 4.10.

- La Columna cervical que ocupa de los movimientos y sostén del cuello
- La Columna dorsal que con las costillas forman el torax
- La columna lumbar que es el segmento final y por tanto el que soporta mayor peso; de ahí que las lesiones en esta zona son muy frecuentes

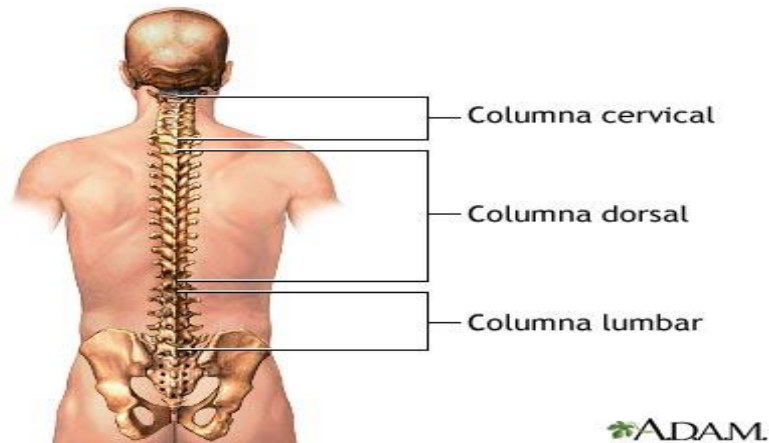


Figura No. 4. 10 Segmentos de la columna vertebral

Fuente: (A.D.A.M., 2.017)

La columna vertebral es una maravilla de ingeniería, es un sistema a la vez muy flexible y resistente, y a la vez muy sofisticado.

Diversos estudios realizados entre usuarios sillas de ruedas, han recogido un mayor número de quejas referidas a dolores, rigidez, cansancio, calambres y entumecimiento.

La localización de los dolores también diverge en unos y otros, se manifiestan principalmente en la nuca, espalda y hombros, menos frecuentes en brazos y manos.

Un diseño una silla de ruedas ergonómica tiene como fin ajustar con precisión los segmentos de la columna vertebral para devolver a la misma un estado de normalidad funcional y eliminar las interferencias producidas sobre el sistema nervioso. Puede decirse que un producto ergonómico es aquel que se ajusta a las necesidades del hombre, usuario u operario dentro de un ambiente de trabajo determinado y que la acción para la que está destinado podrá ser desempeñada por el usuario eficientemente.

Podría definirse que cuanto mayores principios o criterios ergonómicos se haya tomado en cuenta en la concepción de un producto y más simplificados sean sus accionamientos, serán de una mejor calidad ergonómica.

Calidad ergonómica = conjunto de cualidades ergonómicas

4.6. Investigación antropométrica

El Ecuador no cuenta con una base de datos antropométricos de la población con discapacidad en miembros inferiores, lo que ha conducido a un conjunto de prácticas que no tienen en cuenta los percentiles de las personas cuando se busca diseñar una silla de ruedas, deben consultar tablas de otros países, sin hacer ajustes o en el mejor de los casos haciendo ajustes de manera empírica.

Por todas estas razones es necesario disponer de una base de datos antropométricos de la población que más se asemeje a la nuestra. Con el fin de conseguir otras facilidades y comodidades que antes no tenían.

Para el diseño del prototipo de la silla de ruedas con sistema de bipedestación, se considera una muestra de la población ambateña de 22 personas aptas de las 42 de estudio, adultos entre 30 y 92 años de edad, de los cuales se ha obtenido sus percentiles y poder proyectar hacia toda la población.

El proceso de medición debe ser realizado en un laboratorio o en su defecto con instrumentos apropiados de antropometría debidamente establecidos como se muestra en la Figura No. 4.11, y con espacios delimitados por el Consejo de la Asociación Internacional de Ergonomía.



Figura No. 4. 11 Mediciones antropométricas desarrollada por el equipo de medición conformado por profesores de las carreras de Terapia Física e Ingeniería Industrial de la UTA.

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Debido a estas características y referencias resulta imposible realizar un estudio antropométrico acertado, motivo por que existe la necesidad de homologar un estudio cuya población sea similar a la ecuatoriana.

4.6.1. Dimensiones antropométricas fundamentales para el diseño de una silla

Las magnitudes antropométricas, al ser consideradas en un grupo de personas se las trata como variables; las generalidades de medidas son longitudinales o lineales como: la altura, distancias entre puntos de referencia comunes a todos los sujetos medidos, anchuras, espesores, curvas alrededor de ciertas partes del cuerpo, arcos de ciertas partes del cuerpo, perímetros, etc. Para encontrar varias de las medidas antropométricas normalizadas, deben ubicarse ciertas posiciones comunes, entre las más representativas están: el sujeto sentado y el sujeto de pies en una postura tipificada.

Si bien las dimensiones del cuerpo humano son numerosas, para diseñar un puesto de trabajo o un equipo específico, sólo deben tener en cuenta alguna de ellas. A continuación, en la Figura No.4.12, se presenta un listado de las medidas antropométricas de mayor uso para el diseño de una silla de ruedas.

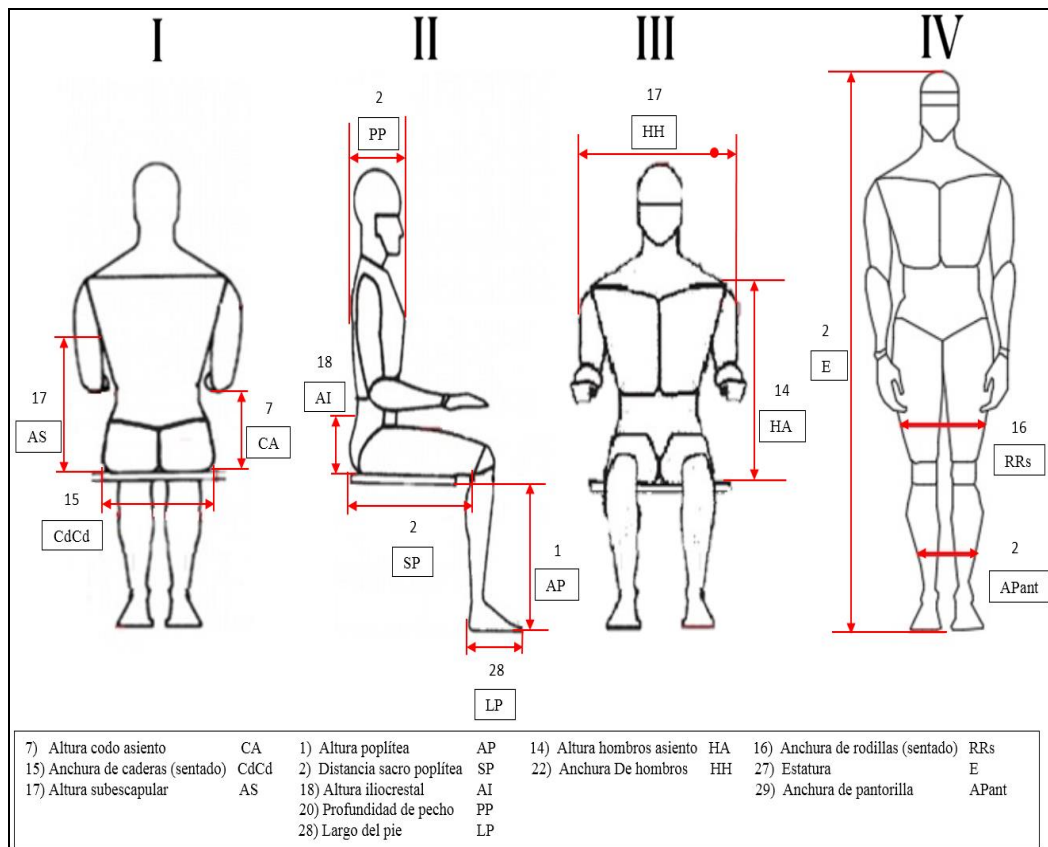


Figura No. 4. 12 Medidas antropométricas relevantes y su nomenclatura para el diseño de la silla.

Fuente: (Mondelo, Gregori, & Barrau, 1.999).

4.6.2. Resultados de las mediciones. Carta antropométrica.

Una vez realizadas las mediciones a las 42 personas, a través de un proceso que involucra una calendarización de la disponibilidad de tiempo de los usuarios y miembros del equipo de medición, los cuales en gran medida se llevaron a cabo los fines de semana, se obtuvieron los resultados consistentes de las distancias en centímetros de las medidas contempladas en la ficha de la Figura No. 4.12. En la Tabla 4.16., que se conoce como carta de medidas antropométricas, se presentan los resultados obtenidos solo para las 22 personas que cumplen con los criterios fijados para participar en el estudio los cuales están descritos anteriormente en la selección de los sujetos de estudio.

Tabla No. 4. 16 Carta de medidas antropométricas de los 22 usuarios de sillas de ruedas que conforman la muestra.

No.	I. VISTA POSTERIOR				II. VISTA LATERAL				III. VISTA FRONTAL			IV. VISTA FRONTAL		PESO
	CA	CdCd	AS	AP	SP	AI	PP	LP	HA	HH	RR	E	APant	
1	19	40	37	37	47	17	31	24	52	47	47	153	39	77
2	16	37	38	55	51	13	23	27	47	42	33	170	28	65
3	21	34	42	37	41	19	23	27	59	43	47	165	43	61
4	24	37	41	52	56	15	24	28	57	42	34	164	27	72
5	16	46	37	35	40	14	41	19	47	46	41	148	28	51
6	18	44	39	46	50	13	37	25	57	42	33	160	29	64
7	25	46	42	37	46	19	24	27	58	46	36	162	30	51
8	28	37	40	35	40	17	31	26	63	61	47	156	40	71
9	24	45	49	42	49	21	34	26	65	47	43	172	42	73
10	21	44	40	42	51	18	20	28	56	53	54	171	42	81
11	26	50	39	43	46	24	26	29	64	50	57	176	36	87
12	20	31	39	42	49	17	21	28	60	44	39	166	29	57
13	22	46	46	40	52	17	21	28	62	53	37	166	44	74
14	20	38	44	55	55	16	28	29	49	45	32	167	30	85
15	18	39	40	40	48	12	22	24	53	47	46	158	36	50
16	30	54	42	37	52	19	34	25	68	52	46	160	35	64
17	22	34	50	39	46	19	26	31	68	34	46	178	34	70
18	18	36	41	48	53	12	28	27	47	40	29	158	23	52
19	17	39	35	39	45	15	27	25	51	46	41	153	30	43
20	20	34	44	42	51	17	27	29	63	52	43	168	35	60
21	25	42	40	37	46	20	25	26	56	49	42	153	30	67
22	18	45	36	34	44	14	28	20	47	41	41	139	29	49

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2016)

Los valores presentados en la Tabla No. 4.16., son utilizados para justificar cada uno de los elementos y formas que poseerá el prototipo de una silla de ruedas bipedestadora ergonómica, cada uno de los mismos serán tomados en base a parámetros ergonómicos que garanticen la disponibilidad de la gran mayoría de percentiles.

4.6.3. Análisis de las variables consideradas como medidas antropométricas.

Se utilizará el principio del diseño para un intervalo ajustable: puesto que, para el grupo de usuarios de sillas de ruedas seleccionado, cada uno ajusta el objeto a diseñar a su medida dentro de un rango de máximos y mínimos. El objetivo en este caso, es determinar rangos de medidas antropométricas que permitan obtener parámetros de diseño con los cuales dimensionar apropiadamente la silla.

Puesto que la ergonomía asiente el uso de la estadística entre sus herramientas convencionales, el estudio antropométrico contempla que las dimensiones del cuerpo tendrán una distribución normal si el tamaño de la muestra es apropiado (Mondelo, Gregori, & Barrau, 1.999).

Con el fin de realizar un análisis estadístico descriptivo, a continuación, se presenta una metodología resumida en cinco pasos de cómo llegar a determinar los percentiles adecuados para el diseño de la silla:

Paso 1. Se buscan los valores máximos y mínimos del listado de 22 medidas. Y se define que se trata de datos no agrupados, pues corresponden a una cantidad pequeña los cuales pueden ser analizados tal y como fueron recolectados, sin necesidad de contarlos o clasificarlos.

Paso 2. Se calcula de la media aritmética \bar{X} , denominada promedio, y que es también el valor de percentil 50; muestra el valor central de los datos constituyendo ser la medida de ubicación que más se utiliza.

Paso 3. Se calcula la desviación estándar (S), esta es una medida de dispersión, considerada también como medida cuadrática que da a conocer el promedio hallado entre las desviaciones de cada uno de los datos correspondientes a cada muestra en relación con su media aritmética.

Paso 4. Se calcula la distribución normal. La distribución estadística normal se fundamenta en dos criterios: (a) matemáticamente es pertinente suponer que la distribución de datos en una población, representada por su muestra, sigue una distribución normal teniendo como consecuencia que los datos se pueden representar como funciones matemáticas que tienen una forma sencilla, (b) teniendo en cuenta el valor científico, la distribución estadística logra aproximar en muchas ocasiones los valores obtenidos a valores exacto sin mayores errores y que entregan una confiabilidad en sus posteriores usos.

Paso 5. Se calcula los **percentiles 5 y 95**. Los datos reales obtenidos de las variables antropométricas se transforman en valores estandarizados en la distribución normal, esta distribución normal se divide en una escala de 100 partes porcentualmente-equivalentes iguales. En los valores de los percentiles se coloca un subíndice indicando al valor que representan, así:

Definición matemática de **Percentil 5**: $Pr_5 = \bar{X} - z * \sigma$

Definición matemática de **Percentil 95**: $Pr_{95} = \bar{X} + z * \sigma$

Donde: \bar{X} = Media aritmética; σ = Desviación estándar; z = Constante de percentil.

De acuerdo a este análisis anterior, los resultados de los cálculos de los percentiles para cada uno de los parámetros medidos, se obtienen los resultados presentados en la tabla No 4.17

Tabla No. 4. 17 Resultados obtenidos de media, P₅ y P₉₅

No.	Medida Antrop.	Media	Desviación Estándar	Xmáx	Xmín	P ₅	P ₉₅
1	CA	21.273	3.869	30	16	14.889	27.657
2	CdCd	40.818	5.828	54	31	31.202	50.434
3	AS	40.95	3.836	50	35	34.63	47.28
4	AP	41.545	6.170	55	34	31.365	51.726
5	SP	48.091	4.482	56	40	40.70	55.49
6	AI	16.73	3.073	24	12	11.66	21.8
7	PP	27.318	5.472	41	20	18.29	36.35
8	LP	26.273	2.815	31	19	21.629	30.917
9	HA	56.773	6.298	68	47	45.34	68.20
10	HH	46.455	5.713	61	34	37.027	55.881
11	RR	41.55	7.096	57	29	29.84	53.25
12	E	161.955	9.378	178	139	146.48	177.43
13	APant	33.591	6.005	44	23	23682	43.5
14	Peso	64.727	12.295	87	43	44.44	85.01

Fuente: El Investigador

4.6.4. Características del diseño de la silla en función de la antropometría.

Se analizan los resultados que presentan las curvas de distribución normal se observa que valores como máximos, mínimos, medios, se relacionan con los parámetros estadísticos: mediana, percentiles 5, 50 y 95; resultados que determinan los valores de los parámetros de diseño que deben ser incluidos en la silla de rueda. Adicionalmente en la Figura No. 4.13 se colocan sobre la figura humana los parámetros de diseño incluidos en la Tabla No. 4.17.

Algunos de los parámetros serán diseñados de posición variable para que abarquen un rango de posibilidades de los usuarios, como ejemplo y de mayor evidencia se observa el parámetro antropométrico que se relaciona con la altura del apoyabrazos: su diseño será de altura variable de tal manera que si se puede proyectar 3 posiciones regulables estas contengan el rango desde el valor correspondiente al percentil 5 hasta el 95; dando cabida a la adaptación del equipo a un alto porcentaje de usuarios.

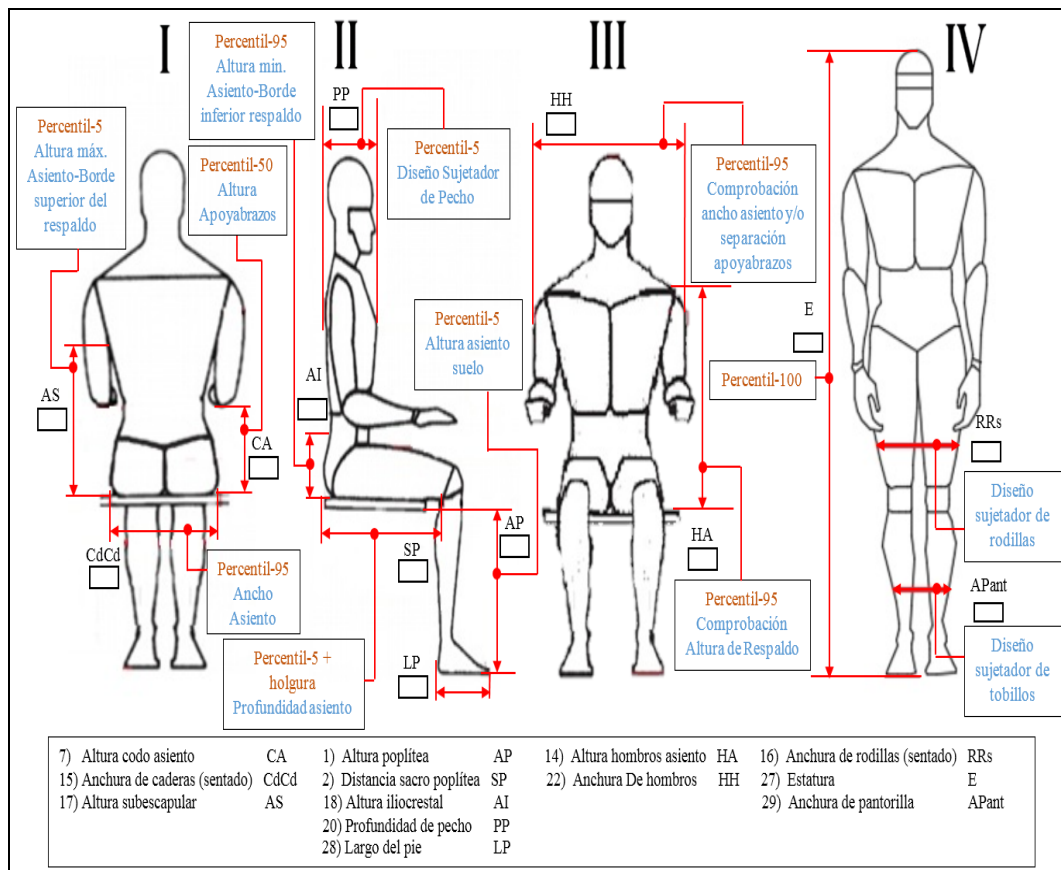


Figura No. 4. 13 Parámetros de diseño seleccionados.

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Tabla No. 4. 18 Valores de los parámetros de diseño acorde al estudio antropométrico realizado.

Medida	Símbolo	Valor recomendado [Mondelo et al. 1999]	Valor recomendado [Panero y Zelnik, 1984]	Parámetro de diseño	Valor [cm]
Altura codo asiento	CA	Promedio ó mínimo	50 percentil	Altura apoyabrazos asiento	22
Anchura de caderas	CdCd	Máximo	95 percentil	Ancho asiento	51
Altura subescapular	AS	Mínimo	5 percentil	Altura máxima asiento borde superior del respaldo	35
Altura poplíteo	AP	Mínimo o ajuste con apoyapiés	5 percentil	Altura asiento suelo	32
Distancia sacro poplíteo	SP	Mínimo + holgura	5 percentil + holgura	Profundidad del asiento	41
Altura iliocrestal	AI	Máximo	95 percentil	Altura mínima asiento borde inferior del respaldo	22
Distancia codo codo	CdCd	Máximo	95 percentil	Separación entre apoya brazos	51
Altura de hombros	HA		95 percentil	Comprobación de la altura del asiento	69
Anchura de hombros	HH		95 percentil	Comprobación del ancho de asiento	56
Profundidad de pecho	PP		5 percentil	Diseño de seguridad del pecho	19
Estatura	E		100 percentil	Comprobación de extensión de la silla	178
Anchura de rodillas	RRs		95 percentil	Diseño de seguridad de rodillas	54
Anchura de pantorrillas	APant		95 percentil	Diseño de seguridad de pantorrillas	44

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Con base en los resultados de la encuesta se obtienen los requerimientos indicados por los usuarios; y utilizando los valores presentados en la Tabla No. 4.18, se diseñará una silla de ruedas de bipedestación a fin de obtener un producto esperado que satisfaga sus necesidades: (1) capacidad de regulación de ancho y alto para ajustarse a la estatura y contextura del usuario, (2) un mecanismo que permita variar la inclinación del respaldar, (3) un sistema de freno en al menos dos ruedas, (4) un sistema eléctrico para extender la silla de la posición sentado a la de pie y viceversa, (5) un sistemas de sujeción en pies, piernas y cintura.

4.7. Eficiencia energética

Los aspectos energéticos de un proyecto están asociados a la especificación de las potencias o capacidades de los equipos seleccionados y a la provisión de la potencia y energía que demandará el proyecto, sin un análisis de la eficiencia con que se utilizará la energía en la etapa de operación. La incorporación de eficiencia energética en etapa de diseño (EED) tiene como objetivo optimizar el consumo y uso de la energía requerida, así como el desempeño energético general del proyecto o proceso en etapa de operación por medio de incorporación y aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para el uso eficiente de la energía (AChEE, 2.014).

4.7.1. Especificación de las capacidades de los equipos seleccionados.

Para el requerimiento de potencia, el análisis parte de la determinación de la carga a levantar, de acuerdo al esquema de la figura No. 4.14 se muestran los elementos que son considerados para el cálculo del peso máximo a levantar como un parámetro importante en el diseño y selección de sus componentes que parte básicamente con los valores estimados en la Tabla No.4.19.

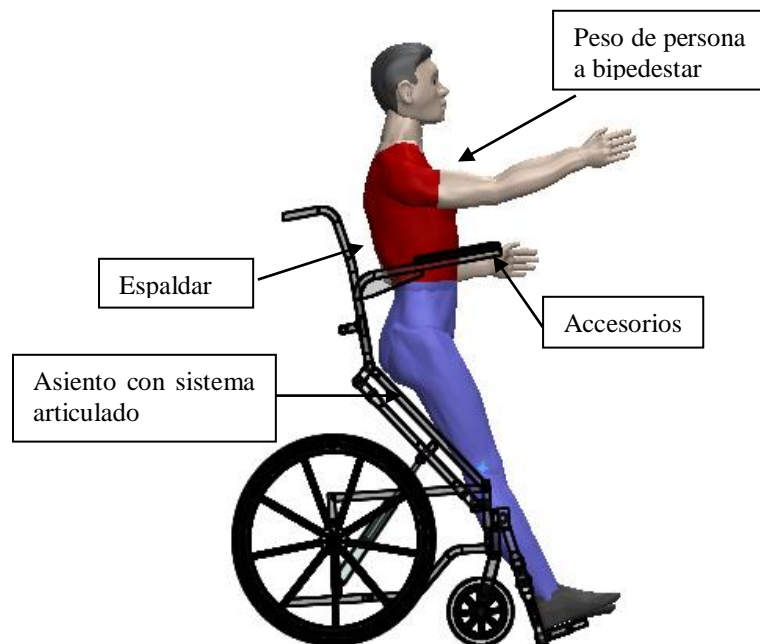


Figura No. 4. 14 Elementos considerados en el peso máximo
Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 19 Determinación del peso máximo como parámetro principal de diseño

Elemento considerado	Peso [Kgf]	Peso [N]
Peso de persona a bipedestar	85,00	833,8
Asiento con sistema articulado	35,50	348,8
Espaldar	25,48	249,9
Accesorios	23,00	284,7
Peso Total (Peso Máximo)	168,98	1.657,2

Elaborado por: El Investigador

La potencia requerida para levantar el peso total, se calcula con la ecuación 4.1.

$$\text{Pot} = F \cdot d / \Delta t \quad [4.1]$$

De donde:

F Peso a levantar

d Distancia de desplazamiento

Δt Variación de tiempo.

En este caso para la determinación de la potencia consumida para el peso se tiene como parámetros, los valores de la fuerza de 1.657,2 [N], un desplazamiento aproximado de 20cm, en un tiempo de 21 segundos, con lo que se tiene que al remplazar dichos valores en la Ec. [4.1] se tiene:

$$\text{Pot} = 15,8 \text{ W}$$

4.7.2. Estudio energético de los movimientos de para los puestos de trabajo en posición sedente y de pie.

Básicamente el consumo energético relacionado con las actividades de una persona se basa en los trabajos en posición sentada y los nuevos en posición de pie que estará centrada a los movimientos de las extremidades superiores, de la cabeza y del tronco.

En la figura No. 4.15 muestra los movimientos correspondientes a la posición sedente y de pie desarrollándose movimientos de estiramiento y recogimiento de las extremidades superiores.

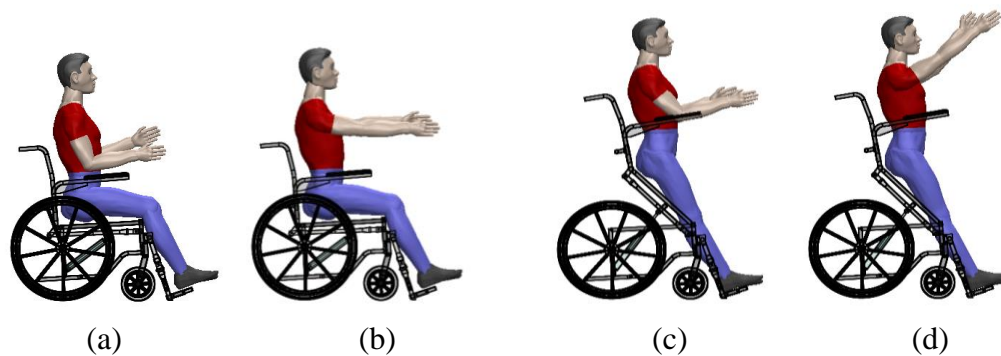


Figura No. 4. 15 Posición sedente y de pie, (a) y (c) brazos recogidos, (b) y (d) brazos estirados respectivamente

Elaborado por: El Investigador

Para el desarrollo del estudio energético, este apartado se basa en lo establecido en la Norma Técnica de Prevención de “Determinación del metabolismo energético” (NTP 323) del Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el trabajo de España, la misma que establece que el consumo energético metabólico sirve para evaluar la carga física, pero en este caso se utilizará para determinar la potencia necesaria de los dispositivos de verticalización y relacionarlos con dicho consumo.

De acuerdo a lo anterior se evaluará el consumo metabólico de una persona en posición sedente y luego una persona en posición de pie, para que mediante una posterior diferencia se pueda establecer la potencia consumida y esta trasladarla a un mecanismo que podría ser mecánico, eléctrico o una combinación de los dos.

El metabolismo que transforma la energía química de los alimentos en energía mecánica y en calor, mide el gasto energético muscular. Este gasto energético se expresa normalmente en unidades de energía y potencia: Kilocalorías (Kcal), Joules (J), y watios (W). (INSHT, 1.999)

De acuerdo al trabajo desarrollado por la Ing. Fernando Urrutia en el año 2.016 en el mismo proyecto de investigación de personas con discapacidad de miembros inferiores, en donde evalúa el riesgo ergonómico a través del método MAPFRE se establecen los resultados de dicha evaluación.

MAPFRE es un método mixto que evalúa ergonómicamente los riesgos que se presentan en la silla de ruedas considerándola como la estación de trabajo de las personas que sufren de discapacidad móvil inferior. La tabla No.4.20 resume la

evaluación de riesgo de las 22 aplicadas, una para cada usuario. Se le denomina matriz de procesamiento y le corresponde de acuerdo a los resultados a la persona observada No.3, que trabaja como preparador de suelas de calzado, un ejemplo con puesto de trabajo de mayor riesgo. En esta matriz además de consignarse los datos personales del usuario, se anotan las valoraciones cuantitativas del investigador, las valoraciones cualitativas del investigado y los comentarios de ser el caso, para cada uno de los 11 factores de riesgo.

Los factores que se consideran en el método MAPFRE son los siguientes: 1. Puesto de trabajo, 2. Carga física estática postural, 3. Levantamiento de cargas, 4. Posturas y movimientos, 5. Riesgo de accidente, 6. Turnos y horarios. Pausas en el tiempo de trabajo, 7. Contenido de trabajo. Carga mental, 8. Carga sensorial, 9. Comunicación y relaciones sociales, 10. Autonomía y Toma de decisiones, 11. Monotonía y Repetitividad del trabajo.

En el anexo C, se plantea un ejemplo de la matriz aplicada con el método MAPFRE al puesto de trabajo de preparador de suelas.

Tabla No. 4. 20 Matriz de sistematización de resultados obtenidos con MAPFRE.

PERSONAS EVALUADAS	Edad	Genero	1. Puesto de trabajo	2. Carga física estática postural.	3. Levantamiento de cargas	4. Posturas y movimientos	5. Riesgo de accidente	6. Turnos y horarios. Pausas en el	7. Contenido de trabajo. Carga mental.	8. Carga sensorial	9. Comunicación y relaciones sociales	10. Autonomía y Toma de decisiones	11. Monotonía y repetitividad del trabajo	PROMEDIO
1	59	F	5	4	4	5	4	5	3	4	4	3	4	4,09
2	39	M	4	5	5	5	4	3	5	4	3	3	4	4,09
3	52	M	3	4	4	5	4	5	5	5	2	3	5	4,09
4	58	M	5	4	5	5	4	5	3	4	2	4	4	4,09
5	50	F	5	4	4	5	4	5	3	4	4	3	4	4,09
6	50	F	5	4	4	5	4	3	3	3	5	4	5	4,09
7	48	M	5	4	5	5	4	5	4	5	1	3	4	4,09
8	46	M	5	4	4	5	4	5	3	3	1	2	4	3,64
9	66	M	5	4	4	5	4	5	3	5	3	1	4	3,91
10	34	M	5	4	3	5	4	3	3	4	1	3	4	3,55
11	60	M	2	4	5	5	4	2	3	3	1	2	4	3,18
12	53	M	5	4	4	5	4	5	4	4	3	4	4	4,18
13	30	M	4	4	5	5	4	5	4	4	3	4	5	4,27
14	40	M	5	4	4	5	4	5	4	4	3	4	4	4,18
15	50	F	5	5	3	5	4	5	4	4	3	4	4	4,18
16	61	F	5	5	5	5	4	5	4	5	3	5	4	4,55
17	43	M	3	4	5	5	4	5	4	4	3	5	3	4,09
18	55	F	3	4	4	5	4	5	4	5	2	5	5	4,18
19	29	F	3	4	5	4	2	5	4	4	3	5	3	3,82
20	39	M	3	4	4	5	4	5	4	3	3	4	4	3,91
21	48	M	3	4	5	4	2	4	4	4	3	5	3	3,73
22	24	M	3	3	4	3	2	4	4	4	1	3	3	3,09
Promedio			4,14	4,09	4,32	4,82	3,73	4,5	3,73	4,05	2,59	3,59	4,00	3,96

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

La tabla No. 4.20, llamada matriz de sistematización, es un resumen de datos donde se anotan los promedios de las valoraciones cuantitativas y cualitativas para cada factor de riesgo en la primera fila superior y para cada uno de los usuarios valorados en la primera columna izquierda. Además, se determinan los valores promedios por persona y promedio por factor de riesgo dentro de la muestra de 22 usuarios de sillas de ruedas.

Las valoraciones cualitativas se describen en este documento en el título Método MAPFRE para evaluar el riesgo por ergonomía. También las valoraciones cuantitativas están descritas en el mismo título, sin embargo, la tabla No. 4.21 representa la escala numérica que le corresponde a los niveles o grados de riesgo en dependencia de las condiciones en las que se realiza el trabajo: a criterio del investigador que selecciona un determinado grado de riesgo, inscribe dicho valor en la matriz de procesamiento.

Tabla No. 4. 21 Evaluación general de niveles de riesgo MAPFRE.

GRADOS	DESCRIPCIÓN	f	%
1	Condiciones muy favorables. (Riesgo muy bajo)	0	0
2	Condiciones favorables. (Riesgo bajo)	0	0
3	Situación aceptable legal o técnicamente, a partir de la cual se deben introducir correcciones o mejoras. (Riesgo moderado)	8	36.4
4	Condiciones desfavorables. (Riesgo alto)	14	63.6
5	Condiciones malas y desfavorables. (Riesgo ergonómico no tolerable - muy alto)	0	0
TOTAL		22	100

Elaborado por: El Investigador

El 63.6% de las personas evaluadas, de acuerdo al método MAPFRE se encuentran en un nivel 4 que constituye condiciones desfavorables y a la vez un nivel de riesgo ergonómico alto. Dentro de los puestos de trabajo declarados que se encuentran dentro de este nivel son: Constructor, preparador de suelas, venta de perros, chofer, comerciante, artesano, promotora laboral.

El estudio energético de los movimientos para los puestos de trabajo tanto en posición sedente como de pie, se tomarán varias consideraciones:

- El método a utilizarse será de consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad en el que mediante este tipo de tablas se dispone, por separado, de información sobre posturas, desplazamientos, etc., de forma que la suma del gasto energético que suponen esos componentes, que en

conjunto integran la actividad, es el consumo metabólico de esa actividad. Es posiblemente el sistema más utilizado para determinar el consumo metabólico.

- Los desplazamientos serán considerados como energía consumida por las manos en el lugar de los pies.
- Para la evaluación serán considerados los puestos de trabajo con resultados de nivel de riesgo alto.
- En el cálculo de la potencia se considera para una superficie corporal estándar de 1,8 m² (INSHT, 1.999).

Consumo energético: análisis para posición sedente (CS)

El método a utilizarse de “Consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad” que plantea la NTP 323 del Anexo D, en el que mediante las tablas No. 5, 6, 7 y 8 se dispone, por separado, de información sobre edad y género, posturas, tipo de trabajo y desplazamientos; con lo que para la posición sedente los resultados obtenidos se muestran en la tabla No. 4.22.

Tabla No. 4. 22 Análisis del consumo energético para posición sedente

PERSONAS EVALUADAS	Edad	Genero	Puesto de trabajo	Metabolismo basal en función de la edad y sexo	Metabolismo para la postura corporal.	Metabolismo para distintos tipos de actividades	Suma total en [W/m2]
1	59	F	Comerciante	38.49	10	65	113,49
2	39	M	Constructor	44.86	10	330	384,86
3	52	M	Preparador de suelas	42.61	10	390	442,61
4	58	M	Comerciante	41.87	10	65	116,87
5	50	F	Comerciante	39.39	10	65	114,39
6	50	F	Comerciante	39.39	10	65	114,39
7	48	M	Comerciante	43.35	10	65	118,35
12	53	M	Comerciante	42.61	10	65	117,61
13	30	M	Venta de perros	45.63	10	85	140,63
14	40	M	Chofer	44.08	10	105	159,08
15	50	F	Comerciante	39.39	10	65	114,39
16	61	F	Comerciante	37.93	10	85	132,93
17	43	M	Artesano	44.08	10	105	159,08
18	55	F	Promotora laboral	38.49	10	35	83,49
PROMEDIO							165

Elaborado por: El Investigador

Adicionalmente se considera que mientras se encuentra sentado, existen pequeños desplazamientos alrededor del puesto de trabajo.

En promedio para los distintos puestos de trabajo se necesitan 165 W/m², valor con el que se compara con el consumo energético con los valores que se evaluarán en posición de pie.

Consumo energético: Análisis para posición de pie (CP)

De la misma manera que la posición sedente, el método a utilizarse para esta posición es el “Consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad”; con lo que para la posición de pie los resultados obtenidos se muestran en la tabla No. 4.23. También se considera que mientras se encuentra de pie, no existen desplazamientos alrededor del puesto de trabajo.

Tabla No. 4. 23 Análisis del consumo energético para posición de pie

PERSONAS EVALUADAS	Edad	Genero	Puesto de trabajo	Metabolismo basal en función de la edad y sexo	Metabolismo para la postura corporal.	Metabolismo para distintos tipos de actividades	Suma total en [W/m ²]
1	59	F	Comerciante	38.49	25	105	168,49
2	39	M	Constructor	44.86	30	330	404,86
3	52	M	Preparador de suelas	42.61	30	390	462,61
4	58	M	Comerciante	41.87	25	105	171,87
5	50	F	Comerciante	39.39	25	105	169,39
6	50	F	Comerciante	39.39	25	105	169,39
7	48	M	Comerciante	43.35	25	105	173,35
12	53	M	Comerciante	42.61	25	105	172,61
13	30	M	Venta de perros	45.63	30	105	180,63
14	40	M	Chofer	44.08	25	105	174,08
15	50	F	Comerciante	39.39	25	105	169,39
16	61	F	Comerciante	37.93	25	105	167,93
17	43	M	Artesano	44.08	30	105	179,08
18	55	F	Promotora laboral	38.49	30	105	173,49
PROMEDIO							210

Elaborado por: El Investigador

En este caso en promedio para los distintos puestos de trabajo en posición de pie se necesitan 210 W/m², mayor al valor con el que se determinó para los 165 W/m² de la posición sedente.

Por otra parte, en la evaluación funcional del equipo se puede valorar el gasto de energía que una persona con discapacidad mantiene durante varios períodos. La rehabilitación cardíaca emplea como rutina los requerimientos metabólicos de potencia para evaluar el progreso y proporcionar una guía sobre las actividades seguras.

La tabla No. 4.24 muestra la saturación de oxígeno (SO), el ritmo cardiaco (RC), la tensión arterial o presión arterial tanto presión sistólica (PS) y presión diastólica (PD), información que se obtuvo sometiendo a los usuarios en dos posiciones, sedente con la silla convencional y de pie con un sistema de izaje.

Tabla No. 4. 24 Valores de la saturación de oxígeno (SO), el ritmo cardiaco (RC), la presión sistólica (PS) y presión diastólica (PD), tomados en posición sentada y de pie

No. Identificación	POSICIÓN SEDENTE				POSICIÓN DE PIE			
	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg
1	85	106	119	82	88	104	115	78
2	89	80	133	84	91	85	129	82
3	85	64	125	75	86	65	123	78
4	89	101	125	74	90	108	130	85
9	95	73	163	96	92	76	161	79
10	93	83	122	83	93	88	121	78
11	87	99	144	84	91	96	126	73
14	90	56	145	91	88	67	136	88
15	93	64	143	84	95	65	126	87
17	94	69	159	85	94	75	131	61
18	94	84	124	78	91	91	140	99
20	94	67	123	83	95	66	125	85
21	92	73	132	79	92	80	104	69
22	91	94	119	83	95	95	129	84
Suma	1.271	1.113	1.876	1.161	1.281	1.161	1.796	1.126
Promedio	90,8	79,5	134,0	82,9	91,5	82,9	128,3	80,4

Elaborado por: El Investigador

4.7.3. Análisis de la energía que demandará el proyecto y la aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para su uso eficiente

Al no contar aún con un concepto o conceptos para el funcionamiento, se identifica en primera instancia las probables etapas del sistema:

- Posicionamiento del usuario sobre la silla de ruedas
- Traslado del usuario
- Accionamiento de subsistemas (reclinación, amortiguación, etc.)
- Desembarque del usuario

Teniendo estas probables etapas en el diseño a realizar, es menester que se cuente con mecanismos encargados de realizar cada una de las etapas, es decir que el diseño incluya un:

- Mecanismo de reclinación.
- Mecanismos de amortiguación.
- Sistemas auxiliares (cinturón de seguridad, mesa plegable, etc.)

Para la generación de un producto innovador es necesario establecer primero los requerimientos básicos que debe satisfacer el producto. Para esto es necesario fundamentar todas las necesidades a cubrir, sin dejar fuera ningún tipo de detalle.

Una vez descritas todas las necesidades se procede a describir a mayor detalle el funcionamiento del producto. Aquí se puede ayudar de los diagramas de flujo donde se muestren los principales pasos del funcionamiento. El diagrama puede ser tan sencillo o complejo como uno desee.

Además, los procesos industriales para su fabricación pueden ser grandes consumidores de energía y pueden también emitir carbono como parte de los procesos de fabricación.

La energía incorporada

La energía incorporada es la energía utilizada para fabricar los materiales de construcción, más la energía consumida en los procesos de construcción y de transporte. La estimación de esta energía es a menudo compleja, pero se pueden hacer aproximaciones utilizando tablas (Anexo E).

Los factores que influyen considerablemente en el coeficiente de energía final son, en primer lugar, si se necesita calor, y cuánto, en el proceso de fabricación, seguido de la cantidad de fuerza física necesaria en el proceso de fabricación. El transporte, especialmente si es por medios eficientes, como el transporte marítimo, tiende a tener solo una pequeña influencia en el resultado final. El tipo de combustible, el desperdicio interno y la eficiencia de la planta de fabricación tienen una influencia notable, pero generalmente menos significativa, en el resultado final. (Te Kura Waihanga, 2.018)

Para poder utilizar la información de energía incorporada de manera efectiva, normalmente se representa como una tabla de coeficientes para que los diferentes materiales se puedan comparar fácilmente, y en la presente investigación se toma como referencia los valores de los coeficientes de energía incorporada como una forma de relacionar además la huella de carbono de las diferentes alternativas de cada subsistema, simplemente como una referencia numérica que permita establecer un criterio de ponderación importante al momento de tomar la decisión adecuada.

Matriz morfológica

Cuando el funcionamiento y las necesidades del producto estén claras, se realiza una matriz morfológica. Para el desarrollo de la matriz morfológica, se deben desarrollar los siguientes pasos:

- a) Inicia con la búsqueda de los principios de solución que cumplan con las subfunciones, es decir se debe identificar para cada subfunción, tantas soluciones y funciones auxiliares como sea posible. Aquí se analizan las ventajas y desventajas de las opciones para seleccionar la mejor de estas.
- b) Se hace una matriz de evaluación en donde se encuentran todas las opciones de diseño descritas en las matrices morfológicas. Aquí es donde se evalúa cada una de las opciones asignándole un valor a ciertos criterios de evaluación como pueden ser: seguridad, mantenimientos, costos, calidad, tamaño, peso, durabilidad, etc. La pieza que tenga un mayor puntaje será la mejor de las alternativas para un aspecto en específico.

- c) Combinar las soluciones de los conceptos físicos para lo que en la matriz morfológica se debe identificar las combinaciones de las soluciones. Cada combinación de soluciones cumplirá con la función global.
- d) Utilizar la expertez y la heurística para eliminar las combinaciones no factibles.
- e) Para terminar, la matriz morfológica consiste en cuadros comparativos de las opciones de diseño para cada una de las partes principales del producto final.

A continuación, se desarrollan los pasos para cada una de las subfunciones establecidas para el diseño de la silla de ruedas.

a. Búsqueda de principios de solución

En las figuras desde la No. 4.25, hasta la No. 4.34, se presentan tres alternativas a cada subfunción, donde se analizan principalmente materiales para la estructura, materiales para tapicería, sistema de bipedestación, sistema de reclinación, apoya brazos, material del cojín, material del espaldar, mecanismo de frenos, ruedas y apoya pies.

Tabla No. 4. 25 Análisis del subsistema material de la estructura

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
1	Material para Estructura			
		Acero	Aluminio	Plástico
		VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad en el medio • Bajo costo • Alta resistencia DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Mayor peso 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Bajo peso • Facilita la propulsión • Media resistencia DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Bajo peso • Facilidad de mantenimiento DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> • Baja resistencia • Alto costo
	Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg	steel, imported, structural = 35	Aluminium extruded, factory painted= 34,3	Plastics ABS= 111

Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 26 Análisis del subsistema material para la tapicería

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
2	Material para la tapicería	 <p style="text-align: center;">Cuero</p>	 <p style="text-align: center;">Tela</p>	 <p style="text-align: center;">Sintéticos</p>
		<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Mayor reistencia • Alta durabilidad <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mantenimiento y limpieza reducido • Baja capacidad transpirable 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alta capacidad transpirable • Bajo costo • Facilidad de mantenimiento y limpieza <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja reistencia 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Reistencia media • Durabilidad media <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Alto costo • Mantenimiento y limpieza reducido • Baja capacidad transpirable
Coeficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		Rubber natural latex= 67,5	cotton fabric = 143	Rubber synthetic= 110




Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 27 Análisis del subsistema sistema de bipedestación

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
3	Sistema de bipedestación	 <p style="text-align: center;">Electromecánico</p>	 <p style="text-align: center;">Mecánico</p>	 <p style="text-align: center;">Neumático</p>
		<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo peso • Bajo consumo energético • Bajo costo <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja disponibilidad local 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de mayor capacidad • Disponibilidad local <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altos costos • Alto peso 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Disponibilidad de mayor capacidad • Disponibilidad local <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altos costos • Alto peso
Coeficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		aluminium, virgin, extruded, anodised= 227	steel, imported, structural= 35	aluminium, virgin, extruded, anodised= 227



Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 28 Análisis del subsistema sistema de reclinación

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
4	Sistema de reclinación	 <p>Trinquete</p>	 <p>Neumático</p>	 <p>Resorte de gas</p>
		<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • Mecanismo sencillo • Disponibilidad en el mercado <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Sistema manual 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad en el accionamiento • Sistemas automatizados <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altos costos • Consumo de energía por ser motorizado 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilidad en el accionamiento • Sistemas automatizados <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Altos costos • Consumo de energía por ser motorizado
Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		steel, imported, structural= 35	aluminium, virgin, extruded, anodised= 227	steel, virgin, galvanised= 34,8

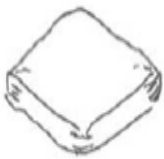

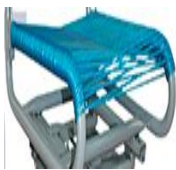
Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 29 Análisis del subsistema apoya brazos

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
5	Apoya brazos	 <p>Ajustable unicamente en altura</p>	 <p>Fijo</p>	 <p>Ajustable en altura y abatible</p>
		<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La almohadilla puede colocarse en varias altura <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Dificulta la transferencia de las personas 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • La almohadilla no puede colocarse en varias altura • Dificulta la transferencia de las personas 	<p>VENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Facilita la transferencia de las personas por ser abatible. • Regulable a varias altura <p>DESVENTAJAS</p> <ul style="list-style-type: none"> • Baja resistencia
Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		Aluminium extruded, factory painted= 34,3	steel, imported, structural= 35	Plastics ABS= 111




Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 30 Análisis del subsistema cojín

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
6	Cojín	 Relleno de Gel	 Espuma recubierta perfilada	 Tejido
		VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Actualmente se diseñan para amoldarse al cuerpo DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Costos 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> La tela o superficie de contacto permite que haya una mayor aireación e impide que aumente la temperatura en los puntos de presión DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Costos 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Permite que el cuerpo se acomode anatómicamente Facilidad de limpieza Mayor aireación DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Ante largos períodos dificulta la circulación
Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		high density polyethelene=103	Polyurethane= 74	PVC= 70

Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 31 Análisis del subsistema espaldar

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
7	Espaldar	 Relleno de Gel	 Espuma recubierta perfilada	 Tejido
		VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Actualmente se diseñan para amoldarse al cuerpo DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Costos 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> La tela o superficie de contacto permite que haya una mayor aireación e impide que aumente la temperatura en los puntos de presión DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Costos 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Permite que el cuerpo se acomode anatómicamente Facilidad de limpieza Mayor aireación DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Ante largos períodos dificulta la circulación
Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		high density polyethelene=103	Polyurethane= 74	PVC= 70




Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 32 Análisis del subsistema frenos

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
8	Frenos	 Freno con zapata	 Freno de tijeras	 Freno con alargador
		VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Se utilizan para sillas manuales o motorizadas DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Desgaste continuo de zapatas 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Quedan recogidos por debajo del asiento cuando no se utilizan DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Se utilizan para sillas ligeras 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Se puede frenar con uno solo de las dos ruedas DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Se limita a personas hemiplégicas
Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		Rubber natural latex= 67,5	steel, imported, structural= 35	Rubber natural latex= 67,5

Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 33 Análisis del subsistema ruedas posteriores

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
9	Ruedas	 Aros plásticos	 Radios de Aluminio	 Aros de acero
		VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Requieren de poco mantenimiento Dependiendo del polímero pueden ser de menor peso que los de radios DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Baja resistencia 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Absorben mejor las rugosidades del terreno Cruzados los entramados presentan mayor resistencia DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Mayor peso que los de plástico Mayor mantenimiento 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Absorben mejor las rugosidades del terreno Cruzados los entramados presentan mayor resistencia DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Mayor peso que los otros mat.
Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		Plastics ABS= 111	aluminium,extruded, anodised= 227	steel, imported, structural= 35

Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 4. 34 Análisis del subsistema reposa pies

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
10	Reposa Pies	 Individual abatible	 Único fijo	 Único abatible
		VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Facilita la transferencia de las personas Puede ser desmontable DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Baja resistencia 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Mayor sensación de seguridad para el usuario Mayor resistencia DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Dificulta la transferencia 	VENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Transferencia de personas fácil Mayor sensación de seguridad para el usuario DESVENTAJAS <ul style="list-style-type: none"> Baja resistencia
Coefficiente de Energía incorporada en MJ/Kg		Plastics ABS= 111	steel, imported, structural= 35	Plastics ABS= 111

Elaborado por: El Investigador

Una vez analizadas las alternativas de cada subfunción, se procede a la valoración de las mismas bajo los criterios de disponibilidad, factibilidad de mantenimiento, menor volumen, mayor seguridad, menores costos y menor peso, además de los coeficientes de energía incorporada a cada producto, cuyos resultados se presentan en la Tabla No. 4.35

Tabla No. 4. 35 Valoración de alternativas

CRITERIO			DISPONIBILIDAD	FACILIDAD DE MTTO	MENOR VOLUMEN	MAYOR SEGURIDAD	MENORES COSTOS	MENOR PESO	COEFICIENTE DE ENERGÍA INCORPORADA	TOTAL
No.	SUBSISTEMA	PONDER.	1	1,5	2	1,5	2	2	5	15
1	Estructura	ALT 1	1	1	2	1,5	2	1	5	13,5
		ALT 2	0,5	1,5	1	1	1	1,5	4,5	11
		ALT 3	0,7	1,5	0,5	0,5	1,5	2	1	7,7
2	Tapicería	ALT 1	0,8	1	1,5	1,5	0,5	1	5	11,3
		ALT 2	1	1,5	2	1	2	2	2,5	12
		ALT 3	0,7	1	1,5	1	1	1	3	9,2
3	Sistema de bipedestación	ALT 1	0,5	1	2	1,5	2	2	2	11
		ALT 2	0,8	1,5	0,5	1,5	1	0,5	5	10,8
		ALT 3	1	1,5	0,5	1	1	1	2	8
4	Sistema de reclinación	ALT 1	1	1,5	2	1,5	2	2	5	15
		ALT 2	0,8	0,5	1	1	1	1	2	7,3
		ALT 3	0,6	0,5	1	0,5	0,5	1	2	6,1
5	Apoya brazos	ALT 1	0,5	1	0,5	1,5	1,5	0,5	5	10,5
		ALT 2	1	1,5	2	0,5	0,5	1	4,5	11
		ALT 3	1	1,5	1,5	1	2	2	3	12
6	Cojín	ALT 1	0,5	0,5	1	0,5	1	1	2	6,5
		ALT 2	0,8	1	1	1,5	1,5	1,5	4	11,3
		ALT 3	1	1,5	2	1	2	2	5	14,5
7	Espaldar	ALT 1	0,5	0,5	1	0,5	1	1,5	2	7
		ALT 2	0,8	1	1	1,5	1,5	2	4	12,8
		ALT 3	1	0,5	2	1	2	1	5	12,5
8	Frenos	ALT 1	0,5	0,5	1	0,5	1	1	3	7,5
		ALT 2	1	1	2	1,5	2	1,5	5	14
		ALT 3	0,5	0,5	1	1	1,5	1,5	3	9
9	Ruedas	ALT 1	1	1,5	2	0,5	2	2	3,5	12,5
		ALT 2	0,7	0,5	1	1	1	2	1	7,2
		ALT 3	1	1	1	1,5	1,5	1	5	12
10	Apoya Pies	ALT 1	1	1	2	0,5	2	2	3	11,5
		ALT 2	0,4	0,5	1	1,5	1,5	0,5	5	11,4
		ALT 3	0,5	1	1,5	1,5	1,5	1	3	10

Elaborado por: El Investigador

En la Figura No. 4.16, se presenta la matriz morfológica aplicada al diseño y desarrollo de una silla de ruedas con sistema de bipedestación y de acuerdo a los pasos plateados se obtienen los siguientes resultados:

























No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA 1	ALTERNATIVA 2	ALTERNATIVA 3
1	Estructura	 Acero	 Aluminio	 Plástico
2	Tapicería	 Cuero	 Tela	 Sintéticos
3	Sistema de bipedestación	 Electromecánico	 Mecánico	 Neumático
4	Sistema de inclinación	 Trinquete	 Neumático	 Resorte de gas
5	Apoya brazos	 Ajustable unicamente en altura	 Fijo	 Ajustable en altura y abatible
6	Cojín	 Relleno de Gel	 Espuma recubierta perfilada	 Tejido
7	Espaldar	 Relleno de Gel	 Espuma recubierta perfilada	 Tejido
8	Frenos	 Freno con zapata	 Freno de tijeras	 Freno con alargador
9	Ruedas	 Aros plásticos	 Radios de Aluminio	 Aros de acero
10	Reposapiés	 Individual abatible	 Único fijo	 Único abatible

Figura No. 4. 16 Matriz morfológica
Elaborado por: El Investigador

4.7.4. Verificación de la hipótesis

HIPÓTESIS Ho: El diseño y construcción de una silla de ruedas manual con sistema de bipedestación no incide en su eficiencia energética.

HIPÓTESIS Ha: El diseño y construcción de una silla de ruedas manual con sistema de bipedestación incide en su eficiencia energética

Verificación

La prueba t de Student, en su uso más común, es la prueba de hipótesis acerca de la media de una sola población y también valoración de si las medias de dos grupos son estadísticamente diferentes entre sí, lo que tiene los siguientes supuestos: 1) las observaciones en cada grupo siguen una distribución normal; 2) la desviación estándar en ambas muestras es igual, y 3) independencia. El valor de las observaciones en un grupo no proporciona información alguna sobre el otro grupo. Es probablemente la prueba estadística más ampliamente usada y conocida. Es simple, sencilla, fácil de usar y adaptable a una amplia gama de situaciones.

La prueba t de Student pareada. Ésta se usa para comparar las diferencias con relación a los promedios respecto de sí mismos, o variaciones, relacionados con el tiempo o circunstancias diferentes. La hipótesis para la investigación se verificará realizando la Prueba “t” de Student para observaciones pareadas en los grupos de datos de: consumo metabólico sentado (CS), consumo metabólico de pie (CP), muestra la saturación de oxígeno (SO), el ritmo cardiaco (RC), la presión sistólica (PS) y presión diastólica (PD), antes y después de la bipedestación.

Para la comprobación de la hipótesis se realizará un ensayo bilateral, hacia las dos colas, con un nivel de significación $\alpha = 5\%$ se obtiene con la Ec. [4.2], el siguiente “t” tabulado:

$$\textit{Probabilidad (P)} = \frac{\alpha}{100} \quad [4.2]$$

$$\textit{Probabilidad (P)} = \frac{5}{100} = 0.05$$

Como se analiza para las dos colas la probabilidad se divide para 2 lo que se tiene que $P = 0,025$

Los grados de libertad (gl) se determina con la ecuación [4.3]:

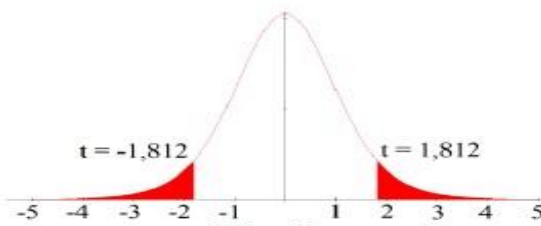
$$gl = n - 1 \quad [4.3]$$

$$gl = 14 - 1 = 13$$

Con P y gl se va a la tabla No. 4.36. de “t” y se tiene:

Tabla No. 4. 36 Distribución t Student

**TABLA
DISTRIBUCIÓN t DE STUDENT**



$t = -1,812$ $t = 1,812$

Ejemplos:
Para $n-1 = 10$ grados de libertad
 $P(t > 1,812) = 0,05$
 $P(t < -1,812) = 0,05$

α n-1	0,25	0,2	0,15	0,1	0,05	0,025	0,01	0,005	0,0005
1	1,0000	1,3764	1,9626	3,0777	6,3138	12,7062	31,8205	63,6567	636,6192
2	0,8165	1,0607	1,3862	1,8856	2,9200	4,3027	6,9646	9,9248	31,5991
3	0,7649	0,9785	1,2498	1,6377	2,3534	3,1824	4,5407	5,8409	12,9240
4	0,7407	0,9410	1,1896	1,5332	2,1318	2,7764	3,7469	4,6041	8,6103
5	0,7267	0,9195	1,1558	1,4759	2,0150	2,5706	3,3649	4,0321	6,8688
6	0,7176	0,9057	1,1342	1,4398	1,9432	2,4469	3,1427	3,7074	5,9588
7	0,7111	0,8960	1,1192	1,4149	1,8946	2,3646	2,9980	3,4995	5,4079
8	0,7064	0,8889	1,1081	1,3968	1,8595	2,3060	2,8965	3,3554	5,0413
9	0,7027	0,8834	1,0997	1,3830	1,8331	2,2622	2,8214	3,2498	4,7809
10	0,6998	0,8791	1,0931	1,3722	1,8125	2,2281	2,7638	3,1693	4,5869
11	0,6974	0,8755	1,0877	1,3634	1,7959	2,2010	2,7181	3,1058	4,4370
12	0,6955	0,8726	1,0832	1,3562	1,7823	2,1788	2,6810	3,0545	4,3178
13	0,6938	0,8702	1,0795	1,3502	1,7709	2,1604	2,6503	3,0123	4,2208

De acuerdo a lo anterior y como se analiza a una distribución a dos colas se tiene:

$$t_{tab} = \pm 1,7709$$

Regla de decisión

Se acepta la H_a , es decir que el diseño y construcción de una silla de ruedas manual con sistema de bipedestación incide en su eficiencia energética, si el valor de t a calcularse se encuentra fuera del intervalo de $- 1,7709$ a $1,7709$, caso contrario si el valor se encuentra dentro del intervalo se acepta la H_0 , es decir que el diseño y construcción de una silla de ruedas manual con sistema de bipedestación no incide en su eficiencia energética.

Verificación de la hipótesis de la incidencia del diseño mecánico en el consumo metabólico como un indicador de eficiencia energética.

El primer parámetro que permita evaluar la hipótesis será el consumo metabólico, valores que se toman de las tablas No. 4.22 y No. 4.23, y de acuerdo al proceso presentado en la tabla No. 37 se establece el cálculo del indicador t Student.

Tabla No. 4. 37 Tabulación del t Student a partir del consumo metabólico como un indicador de eficiencia energética.

	ANTES		DESPUES	
No. de Identificación	CM1	CM2	D=CM2-CM1	D²
1	113,49	168,49	55	3.025
2	384,86	404,86	20	400
3	442,61	462,61	20	400
4	116,87	171,87	55	3.025
9	114,39	169,39	55	3.025
10	114,39	169,39	55	3.025
11	118,35	173,35	55	3.025
14	117,61	172,61	55	3.025
15	140,63	180,63	40	1.600
17	159,08	174,08	15	225
18	114,39	169,39	55	3.025
20	132,93	167,93	35	1.225
21	159,08	179,08	20	400
22	83,49	173,49	90	8.100
SUMA	2.312,17	2.937,17	625	33.525
PROMEDIO	165,2	209,8	44,6	

Elaborado por: El Investigador

Con los valores de D² y de n se determinan con la Ec. [4.4] y la Ec. [4.5] la varianza (S²d) de las de las diferencias.

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} \quad [4.4]$$

Con lo que:

$$S^2d = \frac{(\sum D^2) - \frac{(\sum D)^2}{n}}{n(n-1)} = \frac{(33.525) - \frac{(625)^2}{14}}{14(14-1)} = 171,04$$

Luego se tiene que:

$$Sd = \sqrt{S^2 d} \quad [4.5]$$

Y al obtener la raíz, la varianza será:

$$Sd = 13,08$$

Este valor es reemplazado en la Ec. [4.6], para calcular el valor del parámetro t Student calculado t_c

$$t_c = \frac{\bar{D}}{Sd} \quad [4.6]$$

Donde:

t_c t Student calculado

Sd Varianza

\bar{D} Diferencia promedio

Finalmente se obtiene:

$$t_c = \frac{\bar{D}}{Sd} = \frac{44,6}{13,08} = 3,41$$

$$3,41 > 1,7709 \quad t_c > t_{tab}$$

Como t_c se encuentra fuera del intervalo, por lo tanto, se acepta la H_a , es decir del diseño mecánico incide en el consumo metabólico como un indicador de eficiencia energética.

Verificación de la hipótesis de la incidencia del diseño mecánico considerando la saturación de oxígeno (SO), el ritmo cardiaco (RC), la presión sistólica (PS) y presión diastólica (PD), antes y después de la bipedestación como otros indicadores de eficiencia energética.

Para la verificación de la hipótesis considerando la SO, RC, PS y PD, el proceso es semejante a la verificación con el CM, para lo que se consideran los valores de la tabla No. 4.24, y en resumen se muestran los cálculos en la tabla No. 4.38.

Tabla No. 4. 38 Resumen de cálculos para verificación de la hipótesis considerando SO, RC, PS y PD

No. de Identificación	SO1-SO2	(SO1-SO2) ²	RC1-RC2	(RC1-RC2) ²	PS1-PS2	(PS1-PS2) ²	PD1-PD2	(PD1-PD2) ²
1	-3	9	2	4	4	16	4	16
2	-2	4	-5	25	4	16	2	4
3	-1	1	-1	1	2	4	-3	9
4	-1	1	-7	49	-5	25	-11	121
9	3	9	-3	9	2	4	17	289
10	0	0	-5	25	1	1	5	25
11	-4	16	3	9	18	324	11	121
14	2	4	-11	121	9	81	3	9
15	-2	4	-1	1	17	289	-3	9
17	0	0	-6	36	28	784	24	576
18	3	9	-7	49	-16	256	-21	441
20	-1	1	1	1	6	36	-2	4
21	0	0	-7	49	-2	4	10	100
22	-4	16	-1	1	28	784	-1	1
SUMA	-10	74	-48	380	96	2.624	35	1.725
PROMEDIO	-0,71		-3,43		6,9		2,5	

Elaborado por: El Investigador

Para determinar el t Student para con cada uno de los parámetros, se utilizan los resultados de suma y promedios correspondientes de la Tabla No. 4.38, que al aplicar las Ec. [4.4], Ec [4.5] y Ec. [4.6] se tiene los resultados presentados en la Tabla No. 4.39.

Tabla No. 4. 39 Tabulación y resultados para t Student, aplicación de la regla de decisión

	SUMA D ²	Dprom	Sd	t _c =Sd/Dprom	t _t	Comparación	Hipótesis que se Acepta
SO	74	-0,71	2,3	-3,2	±1,77	t _c > t _t	Ha
RC	380	-3,43	5,2	-1,5	±1,77	t _c > t _t	Ha
PS	2.624	6,9	13,6	2,0	±1,77	t _c > t _t	Ha
PD	1.725	2,5	11,1	4,4	±1,77	t _c > t _t	Ha

Elaborado por: El Investigador

Para la verificación de la hipótesis, los parámetros CM, SO, PS y PD establecen como válida la Ha : “El diseño y construcción de una silla de ruedas manual con sistema de bipedestación incide en su eficiencia energética”

CAPÍTULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

5.1. Conclusiones

Para la determinación de los parámetros de diseño de la silla de ruedas, se emplearon varias metodologías lógicamente relacionadas

- Inicia con una metodología aplicada, denominada de descripción generalizada que muestra los requerimientos consideradas como entradas que vienen de los usuarios, empleadores de personan con discapacidad y del propio fabricante; los cuales ingresan a lo que se llama caja negra en el que se definen los sistemas y mecanismos que conforman la silla de ruedas y se tiene los productos o salidas que corresponden a las características de la silla.
- El diseño conceptual, con la definición de las características generales del producto siendo la principal la verticalización de la persona permitieron plantear condiciones de confort y comodidad a través de un análisis de las tendencias actuales de sillas de ruedas de varios fabricantes, información técnica que constituye la base para el diseño del nuevo prototipo, sin dejar de lado las preferencias que tiene los usuarios, determinadas a través del método Kano que luego de su tabulación incluye: (1) capacidad de regulación de ancho y alto para ajustarse a la estatura y contextura del usuario, (2) un mecanismo que permita variar la inclinación del respaldo, (3) un sistema de freno en al menos dos ruedas, (4) un sistema eléctrico para extender la silla de la posición sentado a la de pie y viceversa, (5) un sistema de sujeción en pies, piernas y cintura.
- Es necesario entonces involucrar las características técnicas de las sillas de ruedas y las necesidades del cliente, esto se logra con la metodología de

despliegue de la función de calidad (QFD) con el propósito de mejorar la efectividad del producto, cuyo proceso permite encontrar respuestas innovadoras al priorizar diferentes alternativas presentándose en un orden descendente: 1) Selección de Materiales: ligereza, dureza, resistencia, precio; 2) Reducción volumen: número de componentes, accesorios, 3) estética, formas sencillas (reducción coste de moldes) e imagen, 4) formas y dimensiones ergonómicas (antropometría) y, 5) ciclo de vida (limpieza, mantenimiento).

- Las medidas antropométricas seleccionadas para el diseño de la silla de ruedas producto del estudio antropométrico que son seleccionados con un percentil de 95: anchura de caderas igual a 51cm, altura iliocrestal igual a 22 cm, distancia codo – codo de 51cm, altura hombros con 69 cm, anchura hombros con 56 cm, anchura rodillas de 54 cm, y anchura pantorrillas de 44cm; además las medidas utilizables con un percentil de 5 son: altura subescapular de 35cm, altura poplíteo de 32cm, la sacro poplíteo con 41cm y profundidad de pecho de 19 cm; la altura codo asiento tiene un percentil 50 y finalmente la estatura se considera el percentil 100 con un valor de 178.

Los aspectos energéticos de un proyecto están asociados a la especificación de las potencias o capacidades de los equipos seleccionados y a la provisión de la potencia y energía que demandará el proyecto y de acuerdo a lo mencionado para evaluar la eficiencia energética de técnicas y tendencias tecnológicas disponibles se determinó que:

- El actuador lineal que permite la bipedestación de la persona con discapacidad, constituye el único equipo a seleccionarse ya que los demás mecanismos son manuales, cuya potencia consumida por el peso se calcula con los parámetros de: valores de la fuerza de 1.657,2 [N], un desplazamiento aproximado de 20 cm, y el tiempo de 21 segundos, con lo que la potencia necesaria es de 15,8 W.
- En cuanto a la energía que demandará el proyecto se centra al principal objetivo del trabajo de investigación que es la selección de materiales que conforman los diferentes sistemas y elementos con un bajo coeficiente de

energía incorporada el que se relaciona directamente a la huella de carbono por producto, mencionándose principalmente al acero estructural importado en la mayor parte de su estructura y al aluminio para ciertos dispositivos. Además como energía que demandará el proyecto se ha considerado a la energía necesaria para bipedestar desde la posición de sentado a la posición de pie a una persona con discapacidad de miembros inferiores, con la correspondiente demanda de potencia consumida metabólicamente por la persona, seleccionándose los puestos de trabajo con el tipo de riesgo alto, que de acuerdo a la aplicación del método MAPFRE se tienen un 63,6 % de los mismo se encuentran a ese nivel y son: constructor, preparador de suelas, venta de perros, chofer, comerciante, artesano, promotora laboral. Por tanto, en promedio para los distintos puestos de trabajo en posición de pie se necesitan 210 W/m^2 , mayor al valor con el que se determinó para los 165 W/m^2 de la posición sedente de consumo metabólico para el desarrollo de las distintas actividades, lo que determina la importancia de que este tipo de personas frecuentemente necesitarían de un sistema mecánico para bipedestar.

- También, en la evaluación funcional del equipo se puede valorar el gasto de energía que una persona con discapacidad mantiene durante varios períodos. La rehabilitación cardiaca determinada a través de: la saturación de oxígeno (SO), el ritmo cardiaco (RC), fueron los que incrementaron desde la posición sedente hasta la posición de pie, sin embargo, la presión sistólica (PS) y presión diastólica (PD) muestran una disminución en este cambio de posición por el relajamiento de los músculos y la mejora en el aparato circulatorio de la persona.
- Para la aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para el uso eficiente de la energía, se aplican las etapas contempladas en la matriz morfológica para determinar las demás subfunciones que tendría la silla de ruedas como son: Estructura de material de acero, la tapicería es de tela, el sistema de bipedestación mecánico, el sistema de reclinación de trinquete, apoyabrazos ajustable y abatible, el tipo de cojín de tejido, el espaldar de espuma recubierta, freno de tijeras, aros de las ruedas posteriores de plástico y reposapiés individual abatible.

Para la inclusión de personas con discapacidad de miembros inferiores se debe dotar de una silla de ruedas con sistema de verticalización que permita romper barreras de diferentes índoles como de transporte, vivienda, trabajo, inclusión social, accesibilidad, entre otras, que cumpla requerimientos funcionales y que permita a la mismas por ser independientes en la realización de sus actividades diarias laborales o domésticas.

5.2. Recomendaciones

- Aplicar las metodologías establecidas, para facilitar la determinación de los parámetros de diseño de la silla de ruedas, partiendo de la descripción generalizada, consecuentemente a la definición de características generales del producto con el diseño conceptual, siendo necesario entonces involucrar las necesidades del cliente, esto se logra con la metodología de despliegue de la función de calidad, con el propósito de mejorar la efectividad del producto.
- Hacer un seguimiento de aquellos aspectos energéticos del proyecto que están asociados a la especificación de las potencias o capacidades de los equipos seleccionados y a la provisión de la potencia y energía que demandará el mismo, como la periodicidad de bipedestación lo que permitirá evaluar el consumo tanto de la batería como fuente de alimentación del actuador como de la persona desde la posición de sentado a la posición de pie y viceversa, con la correspondiente demanda de potencia consumida metabólicamente.
- Los parámetros fisiológicos como la saturación de oxígeno (SO), el ritmo cardíaco (RC), la presión sistólica (PS) y presión diastólica (PD) son un referente necesario para establecer el comportamiento del cuerpo humano en la bipedestación, lo que se recomienda continuar con el monitoreo también durante las nuevas actividades complementarias.
- Proponer el diseño, la construcción y pruebas de un prototipo de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización eficiente energéticamente, que cumpla requerimientos funcionales, y con la aplicación de las mejores prácticas y tecnologías para el uso eficiente de la energía.

CAPÍTULO VI

LA PROPUESTA DE LA INVESTIGACIÓN

6.1. Tema:

“Diseño y construcción un prototipo de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización eficiente energéticamente”

6.2. Datos informativos.

- **Institución Ejecutora:** Universidad Técnica de Ambato.
- **Beneficiarios:** Personas con discapacidad móvil inferior de Tungurahua.
- **Ubicación:** Tungurahua
- **Responsable:** DIDE, FICM, UTA.
- **Equipo técnico responsable:** Ing. Víctor Espín, PhD. Thalía San Antonio.
- **Financiamiento:** Recursos asignados por DIDE UTA.

6.3. Introducción.

En el desarrollo del proyecto de investigación, se pretende obtener un acercamiento a una filosofía de trabajo, mediante su implementación para la producción de una silla de ruedas con sistema de bipedestación ergonómica, que cumpla con las exigencias y especificaciones de uso común, así como que se ajuste a las normas nacionales establecidas, con miras a demostrar la factibilidad y la rentabilidad económica que genera la creación de este proyecto.

Una silla de ruedas debe tener como objetivo permitir al usuario la máxima funcionalidad comodidad y movilidad. Para cumplir con esto, la silla debe estar pensada para ajustarse a la persona, no es la persona la que debe amoldarse a su silla. Si se escoge una silla de ruedas no apropiada, puede resultar incomoda. El

resultado será que la energía del usuario se malgastará de manera innecesaria debido al esfuerzo continuo por modificar su postura, especialmente en posición de pie. Una silla de ruedas inapropiada puede provocar una discapacidad adicional, tal como deformaciones en la columna, escaras y dolores musculares, entre otras.

6.4. Justificación.

En las últimas décadas, la calidad de vida de muchas personas con discapacidad ha mejorado, existiendo en el mercado más dispositivos que favorecen la accesibilidad e independencia a ciertas personas con discapacidades motoras.

En la ciudad de Ambato habita un gran número de personas con capacidades especiales las cuales utilizan sillas de ruedas como dispositivos de ayuda para desenvolverse en su diario vivir, en general el diseño de las sillas no se adapta a sus características antropométricas ya que las que existen en el mercado son elaboradas en un contexto diferente al de la población local.

Para la inclusión de dichas personas se han ido rompiendo barreras de diferentes índoles como de transporte, vivienda, trabajo, inclusión social, accesibilidad, entre otras. Por dicha razón en este trabajo se plantea el diseño de una silla bipedestadora que permite a las personas con discapacidad de miembro inferior, en la realización de sus actividades diarias laborales o domésticas principalmente.

El trabajo inicia con una recopilación bibliográfica que permitió conocer la situación de la discapacidad y la importancia del diseño de este dispositivo, teniendo en cuenta especificaciones tanto arquitectónicas como antropométricas y ergonómicas para así seleccionar correctamente el concepto más adecuado a partir de varias posibles soluciones adquiridas durante el proceso de diseño conceptual.

6.5. Objetivos de la propuesta.

6.5.1. Objetivo General.

Diseñar y construir un prototipo de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización eficiente energéticamente.

6.5.2. Objetivos específicos.

- Diseñar un prototipo de silla de ruedas con sistema de bipedestación, que se ajuste a las medidas antropométricas y con la utilización de materiales locales.
- Validar los resultados generados, para determinar que se encuentren dentro de los parámetros admisibles de diseño, por medio de la simulación por el método de elementos Finitos (FEM)
- Construir el prototipo adaptado antropométricamente a la población local.
- Establecer un protocolo y realizar pruebas para establecer el correcto funcionamiento del prototipo.

6.6. Fundamentación legal.

La Ley 180 de Discapacidades fue reformada en el año 2.001 (IRO, 2.001) incorporando disposiciones que versan sobre beneficios y derechos de las personas con discapacidad (CONADIS, 2.013). Actualmente está vigente la Ley Orgánica de Discapacidades que ampara a las personas con discapacidad; establece un sistema de prevención de discapacidades, atención e integración de personas con discapacidad que garantice su desarrollo y evite que sufran toda clase de discriminación, incluida la de género.

Más recientemente Ecuador aprobó, en el año 2.008, una nueva Constitución, que menciona en 21 artículos y en una disposición transitoria la defensa de los derechos de las personas con discapacidad y la responsabilidad del Estado en su implementación. Específicamente en su artículo 47 menciona que el Estado ecuatoriano garantizará la implementación de políticas que ayudarán a reducir y prevenir las discapacidades, apoyándose en la toma de conciencia de la sociedad, provocando la igualdad de oportunidades de las personas con discapacidad para su oportuna incorporación e integración familiar, social y laboral.

Como parte del mencionado artículo se reconoce a las personas con discapacidad, el derecho de acceder y obtener un trabajo digno, en condiciones de igualdad de oportunidades, considerando sus talentos y capacidades como una oportunidad y no como una restricción.

El código del trabajo, acorde a lo que establece el CONADIS, a partir del año 2.010 exige la contratación de personas con discapacidad en un 4 % del total de trabajadores de cada empresa o patrono persona natural, es decir que por cada veinticinco trabajadores tiene como obligación emplear al menos a una persona con discapacidad en horario fijo o determinado considerando sus condiciones físicas y sus habilidades en el puesto asignado respetando todos sus derechos establecidos por la ley.

6.7. Fundamentación teórica.

6.7.1. Diseño de equipos de asistencia a personas con movilidad limitada

Diseño centrado en el usuario

El proceso de diseño incluye todas las actividades que se realizan para llegar a un conjunto final de especificaciones de producto que satisfagan una necesidad de mercado. En este procedimiento se deben considerar características a nivel social, tecnológico, económico, psicológico, físico y antropológico, sin dejar de lado los factores artísticos y estéticos involucrados en la satisfacción de una demanda humana.

En la actualidad es común que los fabricantes indiquen que sus productos son fruto de escuchar al usuario. El diseño industrial no es ajeno a este proceso cuyos principales retos son: la naturaleza lingüística asociada al mismo y la dificultad para interpretar, categorizar y traducir las necesidades del usuario en especificaciones del producto.

El éxito del diseño en ingeniería, depende significativamente de la identificación y selección del método más apropiado para reducir la incertidumbre, identificada en este dominio particular como la disminución de las diferencias entre la necesidad planteada en términos subjetivos por el usuario y la respuesta del diseñador mediante su trabajo creativo.

La técnica de búsqueda de la opinión del usuario para orientar el diseño de productos tiene su base en la consulta a través de encuestas que en el caso del método Kano consiste en varias preguntas para que el usuario valore cada requerimiento.

Criterios de ergonomía aplicados al diseño

El desarrollo de la ergonomía aplicada a personas con discapacidad en distintos niveles no tiene un enfoque diferente al de otras aplicaciones de esta disciplina, ya que la finalidad de la misma es adaptar el entorno a las características de las personas.

Sin embargo, en el caso de personas con discapacidades funcionales, la adaptación es especialmente necesaria, ya que, al ser más dependientes del entorno, su confort, seguridad y salud, requieren de una mayor aplicación de parámetros ergonómicos.

Equipos de asistencia y de reinserción laboral.

Cuando existe una discapacidad física, la persona afectada presenta una desventaja que le imposibilita o limita su desempeño motor, lo que implica que las partes afectadas son los brazos, y/o las piernas; en consecuencia, el individuo generalmente requiere de la ayuda de otras personas para realizar sus actividades diarias y en muchos casos quedan excluidos del ámbito laboral.

A partir del año 2.009, el porcentaje obligatorio de contratación de personas con discapacidad, es del 4 % del total de trabajadores, sin embargo, que han transcurrido 8 años desde la creación del marco legal, los usuarios de sillas de ruedas que pueden encontrar trabajo son escasos, se cree que esto se debe principalmente a los costos en los que tiene que incurrir la empresa para efectuar las modificaciones necesarias al ambiente laboral que requieren este tipo de personas.

6.7.2. Fundamentos del Diseño

Dinámica

Es la rama de la mecánica que estudia el movimiento de los cuerpos bajo la acción de la fuerza. El estudio de la Dinámica está constituido por dos partes La Cinemática, que es el estudio del movimiento sin hacer referencia las fuerza que lo originan y la Cinética que relaciona la acción de las fuerzas que se ejercen sobre los cuerpos con los movimientos resultantes.

Cinemática

Es el estudio del movimiento sin tener en cuenta las fuerzas que lo producen. Detallando más, la cinemática es el estudio de las posiciones, geometría, desplazamiento, rotaciones velocidades y aceleraciones.

Esfuerzos uniformes distribuidos

Las fuerzas internas que actúan sobre áreas infinitesimales en una sección transversal son de magnitud y dirección variables. Estas fuerzas son de naturaleza vectorial y mantienen un equilibrio a las fuerzas exteriormente aplicadas, la determinación de la intensidad de estas fuerzas sobre las diversas porciones de una sección transversal, pues la resistencia a la deformación y a las fuerzas depende de dichas intensidades.

En general varían de un punto a otro y están inclinadas con respecto al plano de sección. Se acostumbra a descomponer las intensidades en direcciones perpendiculares y paralelas a la sección que se estudia.

La intensidad de la fuerza perpendicular o normal de la sección se llama esfuerzo normal en un punto. Los esfuerzos normales que producen tensión otra acción en la superficie de una sección transversal se denomina esfuerzos de tensión. Por otra parte, los que actúan o presionan contra la sección transversal reciben el nombre de esfuerzo de compresión. Las otras componentes de intensidad de fuerza actúan tangencial o paralelamente al plano del elemento del área se llama esfuerzos cortantes.

Un ligero aumento en el esfuerzo más allá del límite elástico provocara un colapso del material y causará que se deformen permanentemente.

Teorías de falla de Materiales dúctiles bajo cargas estáticas

La fluencia microscópica de los equipos mecánicos, se debe al deslizamiento relativo de los átomos del material dentro de su estructura de red. Este deslizamiento es causado por esfuerzos cortantes acompañados por distorsión, ya que la energía almacenada en la pieza es la causante de la distorsión, la que es un indicador de la magnitud del esfuerzo cortante.

Esfuerzos efectivos de Von Misses

En situaciones que implican esfuerzos combinados a tensión y cortantes sobre un mismo punto suele ser práctico definir un esfuerzo efectivo que pueda aplicarse para presentar dicha combinación de esfuerzos. El procedimiento de energía de distorsión proporciona una manera adecuada de hacerlo. El esfuerzo efectivo de Von Mises (σ') se define como aquel esfuerzo a tensión uniaxial que generaría la misma energía de distorsión que la produciría por la combinación real de los esfuerzos aplicados. Este procedimiento permite tratar esfuerzos combinados multiaxiales de tensión como si se tratara de cargas a tensión como si se tratara de cargas a tensión para el esfuerzo efectivo de Von Misses (σ') para el caso tridimensional:

$$\sigma' = \frac{1}{\sqrt{2}} [(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)]^{1/2} \quad [6.1]$$

Cuando en un estado de esfuerzo en dos dimensiones las cuales antes descritas se reducen a la siguiente expresión:

$$\sigma' = (\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2)^{1/2} \quad [6.2]$$

6.7.3. Análisis biomecánico. Obtención de centros de gravedad.

Se aproxima la distancia de cada uno de los centros de gravedad de los segmentos corporales respecto a un sistema de referencia de acuerdo a la figura No.6.1. Empleándose estos datos en conjunto con las tablas proporcionadas por Dempster, Drillis y Cortini. El procedimiento utilizado (método de segmentos), se especifica en la Tabla No.6.1.

Coordenadas del centro de gravedad del cuerpo respecto del sistema de referencia.

Las ecuaciones No. 6.3 y 6.4 se utilizaron para determinar la coordenada X e Y.

Coordenada

$$X = x_1 (1,5\%) + x_2 (4,3\%) + x_3 (10,3\%) + x_4 (50,7\%) + x_5 (2,6\%) + x_6 (1,6\%) \quad [6.3]$$

Coordenada

$$Y = y_1 (1,5\%) + y_2 (4,3\%) + y_3 (10,3\%) + y_4 (50,7\%) + y_5 (2,6\%) + y_6 (1,6\%) \quad [6.4]$$

Tabla No. 6. 1 Obtención del centro de gravedad por el método de segmentos

Segmento del cuerpo	Porcentaje peso Segmental %	Valor de la coordenada x	Producto (x)(%m)	Valor de la coordenada Y	Producto (y)(%m)
Pie	1,5%	x1	x1(1,5%)	y1	y1(1,5%)
Pantorrilla	4,3%	x2	x2(4,3%)	y2	y2(4,3%)
Muslo	10,3%	x3	x3(10,3%)	y3	y3(10,3%)
Tronco	50,7%	x4	x4(50,7%)	y4	y4(50,7%)
Brazo	2,6%	x5	x5(2,6%)	y5	y5(2,6%)
Antebrazo	1,6%	x6	x6(1,6%)	y6	y6(1,6%)

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

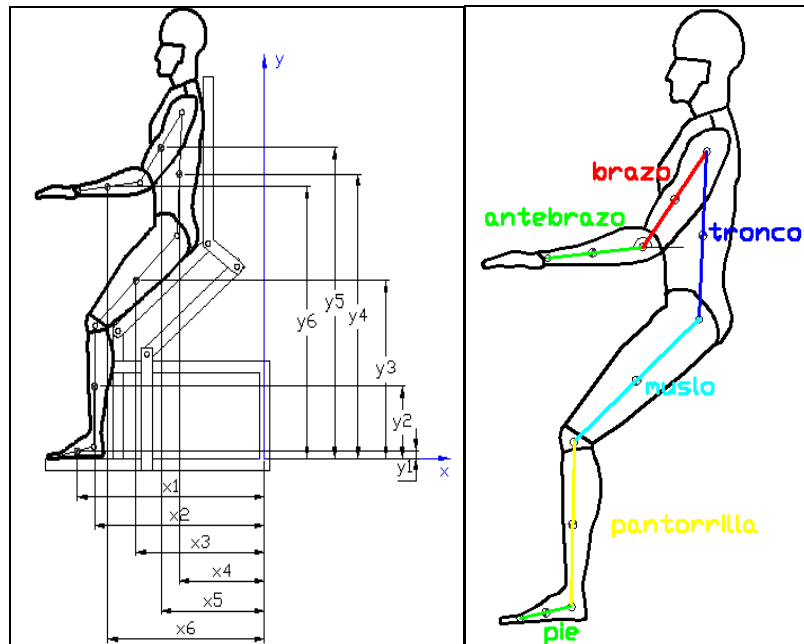


Figura No. 6. 1 Segmentación del cuerpo para centros de gravedad.

Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Evaluación de centros de gravedad en el mecanismo bipedestador.

La estructura del mecanismo de bipedestación, al poseer un desplazamiento de sus elementos, el centro de gravedad del conjunto sufre un desplazamiento, encontrar la trayectoria de dicho desplazamiento es un parámetro importante, ya que mediante este dato en conjunto con el centro de gravedad del cuerpo humano se puede determinar la estabilidad del bipedestador.

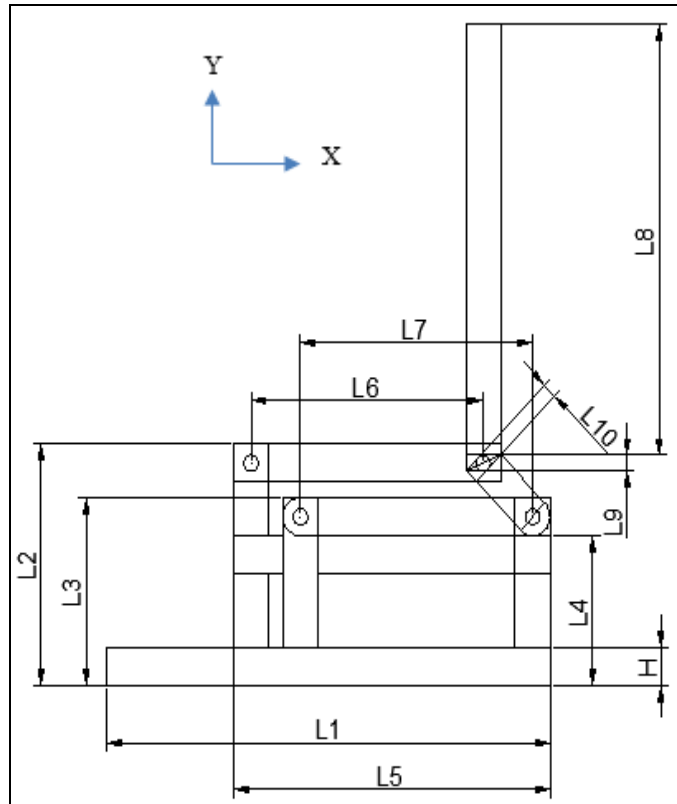


Figura No. 6. 2 Estructura del mecanismo de bipedestación.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2016)

El procedimiento para encontrar el centro de gravedad va desde el cálculo de las áreas de cada una de las formas geométricas que conforman el conjunto, seguido de la localización de las coordenadas en x e y de cada una de estas áreas respecto al sistema de referencia tomado, encontrándose por último el centro de gravedad en sus componentes rectangulares.

$$CG_x = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot x_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad [6.5]$$

$$CG_y = \frac{\sum_{i=1}^n A_i \cdot y_i}{\sum_{i=1}^n A_i} \quad [6.6]$$

6.7.4. Fundamentos teóricos de simulación

La complejidad y aleatoriedad de muchos fenómenos estudiados por el hombre conducen a modelos en los que la obtención de soluciones óptimas puede llegar a ser una tarea difícil y costosa. La Simulación es una técnica que permite el análisis de sistemas bajo condiciones alternativas a través de modelos, reduciendo costos y riesgos. Esto es principalmente importante cuando el sistema a estudiar es esencialmente dinámico.

Modelado del sólido

Los sistemas de diseño paramétrico 3D actuales son potentes y eficientes, ya que permiten crear modelos y modificarlos o actualizarlos rápidamente.

Análisis por el método de elementos finitos (MEF)

Hoy en día la aplicación industrial mayoritaria del MEF es el cálculo de tensiones en sólidos y estructuras. En este campo prácticamente no se usa otro procedimiento numérico.

El cálculo lineal de tensiones, tanto estático como dinámico, se utiliza sobre todo en la fase de diseño o de proyecto, donde se busca hacer un uso eficiente del material y, en ocasiones, justificar el cumplimiento de una normativa o código de buena práctica. Su uso está muy difundido en el proyecto de elementos mecánicos y estructuras complejas. Por otro lado, los cálculos lineales por elementos finitos juegan un papel destacado en los procesos de licenciamiento o certificación de componentes en la industria nuclear y aeronáutica.

El cálculo y la visualización de los resultados permite al ingeniero entender mejor el funcionamiento de sus diseños y, en consecuencia, optimizarlos. En este sentido, el cálculo lineal ha sustituido casi completamente a los ensayos y pruebas de prototipos en que se basaba buena parte del diseño mecánico hace sólo unas décadas. No porque el cálculo sea más barato, que muchas veces no lo es, sino porque es mucho más rápido e interactivo.

Permite realizar muchas pruebas del tipo “¿qué pasaría si...?” en poco tiempo, lo que facilita enormemente la compenetración entre el proyectista y su diseño.

Parametrización

La parametrización es una técnica de programación que permite tratar datos en diversas condiciones de funcionalidad.

Un parámetro es un valor que asume una variable por una aplicación específica o un nombre en un procedimiento que se utiliza para referirse a un argumento que se ha pasado a dicho procedimiento. Para explotar toda la potencia de estos modelos, los diseñadores se ven obligados a crear y gestionar numerosas, y a menudo frustrantes, ecuaciones y relaciones paramétricas entre piezas.

Simulación Dinámica

La simulación dinámica es una herramienta de modelado, que permite representar sistemas y simular sus comportamientos pasados y futuros. Un sistema es una percepción de la realidad que el simulador quiere representar, y ésta puede ser diferente dependiendo de los fines que desee satisfacer. Una vez definido el sistema se construye un modelo que reproduzca su comportamiento global mediante el funcionamiento interrelacionado de la multiplicidad de mecanismos parciales que lo componen, para así disponer de una herramienta que permita simular el impacto de distintas estrategias sobre las variables de interés.

Fotorealismo y animación

La realización de imágenes generadas por computadora es, en la actualidad, una poderosa herramienta destinada a mejorar la interpretación de un diseño, describiendo con absoluta precisión los detalles y el espíritu de la propuesta. Para visualizar en forma exacta lo diseñado, antes de su construcción, ya sea como maqueta o insertándolo en su futuro entorno real de implantación. Esta herramienta sirve para obtener una optimización total de las ideas antes de realizarla, bajando los posibles costos adicionales.

6.7.5. Diseño y Manufactura

El proceso de manufactura ha sido desarrollado conjuntamente con los procesos del diseño, base principal de la ingeniería, filosofía de trabajo aplicada comúnmente en la actualidad.

Quizás la optimización del proceso de manufactura es el punto sobresaliente y las mejoras posibles que merecen una consideración especial incluyen:

- La mecanización de las operaciones manuales.
- La utilización de medios más eficientes en las operaciones mecánicas.
- Operación de los medios mecánicos de manera más eficiente.
- Al cambiar una operación, considerar los efectos posibles en las operaciones subsiguientes.

Casi siempre hay muchas maneras de producir un diseño dado y continuamente se están ideando mejores métodos de producción. Al investigar y cuestionar de manera sistemática el proceso de manufactura, se desarrollarán métodos más eficaces.

Una vez establecido el diseño que se va a producir y haciendo una estimación del volumen de producción, se puede pensar en los pasos de trabajo que se debe seguir para el proceso de manufactura, los cuales se esquematizan de la siguiente manera:

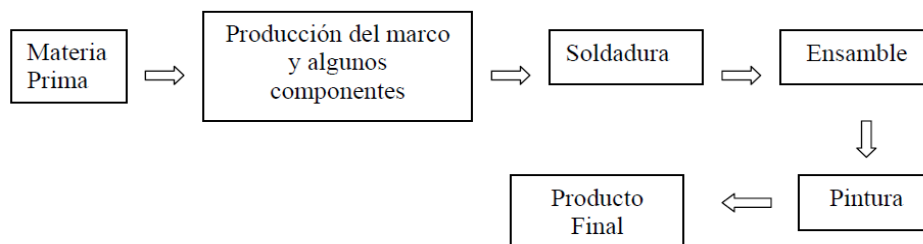


Figura No. 6. 3 Proceso de manufactura para la silla bipedestadora
Elaborado por: El Investigador

Deben tenerse presentes cinco consideraciones en relación tanto con el material directo como el indirecto que se utilice en el proceso:

1. Hallar un material menos costoso.
2. Hallar materiales que se procesen con mayor facilidad.
3. Utilizar los materiales en forma más económica.
4. Utilizar materiales sobrantes.
5. Utilizar económicamente los abastecimientos y las herramientas.

Proceso de Manufactura

Siguiendo el principio de diseño, para poder establecer el proceso de manufactura se debe:

- Identificar los diferentes componentes de la silla de ruedas: Esta etapa fue cubierta mediante la aplicación de una encuesta, en la que los usuarios plantearon cada una de las necesidades básicas que debe satisfacer una silla de ruedas estándar, las cuales se mencionaron anteriormente, tales como: Asiento ergonómico y cómodo, reposapiés ajustable a la altura, regulación del ángulo del espaldar, etc.
- Definir las operaciones de manufactura: Con la finalidad de poder predecir posibles complicaciones y simplificar los ciclos productivos, aplicando los principios de la Ingeniería concurrente, para crear una armonía entre el proceso de diseño y la manufactura, de manera de obtener un producto óptimo, adaptado a los estándares de calidad, a un bajo costo.
- Seleccionar las diferentes maquinarias y equipos requeridos: Una de las primeras decisiones en la selección del equipo se refiere al grado de flexibilidad o adaptabilidad deseada, ya que depende de la inestable aceptación por parte del consumidor o de las innovaciones tecnológicas. Mientras más probable sea que se produzcan cambios frecuentes de diseño, más necesario será incorporar flexibilidad en el equipo de producción. Recordemos que una máquina es un activo de capital. Su pérdida de valor de capital con el transcurso del tiempo se recupera teóricamente gracias al valor que aporta a la producción.

6.8. Parámetros para el diseño de una silla de ruedas de bipedestación con sistema de verticalización

6.8.1. Medidas antropométricas

Del estudio desarrollado en el capítulo anterior, se establecen en la Figura No.6.4 , las medidas principales antropométricas con las cuales se inicia el diseño de la silla de ruedas con sistema de bipedestación, ajustadas a los diferentes percentiles con el fin de que sea utilizable para la mayor parte de la población principalmente

en posición sentada y que se ajustan también a las medidas en posición vertical las cuales son un referente para dimensionar dicha silla.

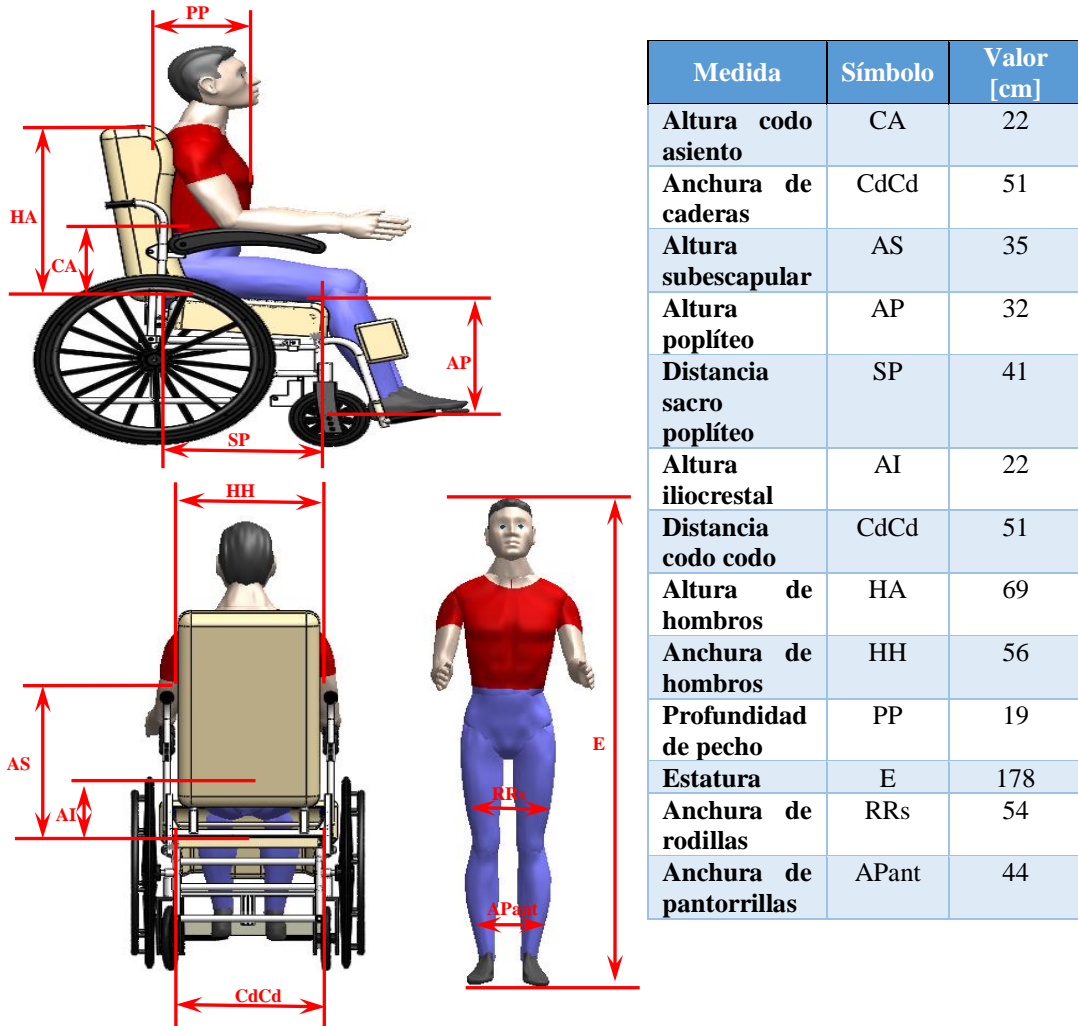


Figura No. 6. 4 Medidas antropométricas principales utilizadas para el dimensionamiento de la silla de ruedas

Elaborado por: El Investigador

6.8.2. Definición de las medidas estructurales de la silla de ruedas

Las medidas antropométricas constituyen la base para la definición de las medidas de los diferentes mecanismos de la silla de ruedas, sin embargo, estas no constituyen las definitivas ya que pueden ser influenciadas por distintos factores, como la disponibilidad de elementos estandarizados, ajustes para una mejor funcionalidad de mecanismos, etc.

A continuación, en la figura No. 6.5, se indican las medidas principales que han sido consideradas el diseño y selección de los diferentes elementos.

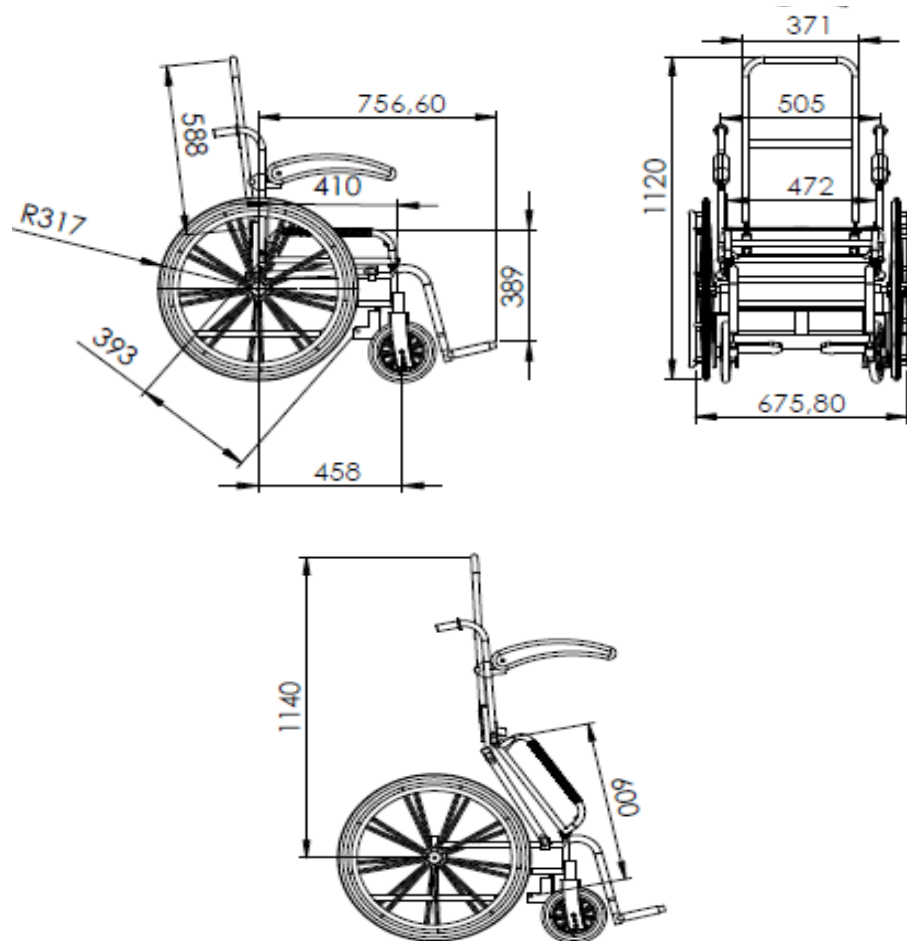


Figura No. 6. 5 Definición de las medidas estructurales de la silla de ruedas
Elaborado por: El Investigador

6.8.3. Definición de parámetros funcionales

A través de la aplicación de la encuesta por el método Kano y en base a un análisis de la matriz QFD, los parámetros a ser considerados para el diseño de la silla de ruedas se mencionan a continuación:

- Selección de Materiales: ligereza, dureza, resistencia, precio.
- Reducción volumen: número de componentes, accesorios, etc.
- Estética: formas sencillas (reducción coste de moldes) e imagen.
- Formas y dimensiones ergonómicas (antropometría).
- Ciclo de vida (limpieza, mantenimiento...).

6.8.3. Matriz morfológica

En la tabla No. 4.17 del capítulo IV, se establecieron mediante la utilización de la matriz morfológica, el análisis de diferentes alternativas para cada una de las subfunciones de la silla de ruedas con sistema de bipedestación cuyos resultados se muestran en la Tabla No. 6.2, que constituyen especificaciones para el diseño final del prototipo.

Tabla No. 6. 2 Resumen resultados de la matriz morfológica

No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA SELECCIONADA	No.	SUBFUNCIÓN	ALTERNATIVA SELECCIONADA
1	Estructura	 Acero	6	Cojín	 Tejido
2	Tapicería	 Tela	7	Espaldar	 Espuma recubierta perfilada
3	Sistema de bipedestación	 Electromecánico	8	Frenos	 Freno de tijeras
4	Sistema de reclinación	 Trinquete	9	Ruedas	 Aros plásticos
5	Apoya brazos	 Ajustable en altura y abatible	10	Apoya Pies	 Individual abatible

Elaborado por: El Investigador

6.9. Diseño y selección de elementos mecánicos

6.9.1. Análisis mecánico del dispositivo de bipedestación

La Figura No. 6.6, muestra el esquema de la armadura básica que se utiliza para el diseño y construcción de la silla de ruedas de bipedestación, en a) se analizará una silla, el asiento está ubicado horizontalmente, formando 90° se ubica el espaldar. En b) se analizará un bipedestador donde el asiento y el espaldar están ubicados en una misma línea vertical.

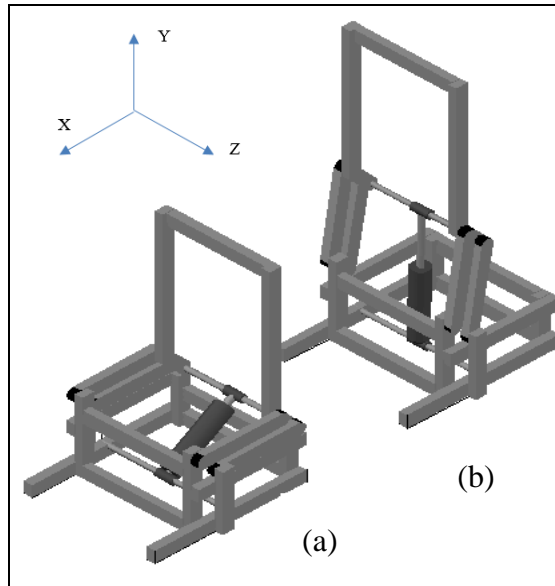


Figura No. 6. 6 Mecanismo bipedestador. (a) asiento horizontal, (b) asiento vertical.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

A partir de los parámetros de diseño obtenidos en el estudio antropométrico registrados en la Figura No. 6.4, se establecen las dimensiones correspondientes para el asiento y altura del espaldar. Además, se debe tomar en cuenta las siguientes consideraciones: para la acción de bipedestación el ángulo del asiento varía de 0° hasta 80° aproximadamente; tomando como referencia los ángulos de 40° y 80° para posición media y máxima respectivamente. El espaldar no varía su ángulo. También se determina la ubicación del bastidor, tomándose una distancia entre juntas revolutas móviles de 12 cm en un ángulo de 135° . Partiendo de estos parámetros iniciales se procede a realizar una síntesis gráfica del mecanismo de bipedestación en 2 dimensiones, que se muestra en la Figura No. 6.7.

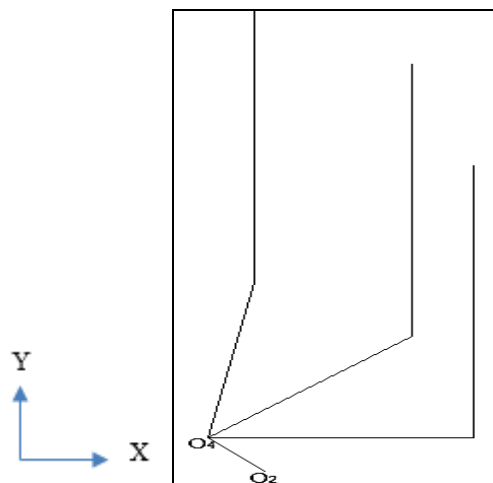


Figura No. 6. 7. Síntesis del mecanismo bipedestador en 2D.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

La Figura No.6.8, corresponde a otra síntesis gráfica de tres posiciones con pivotes fijos, para la obtención de un mecanismo de cuatro barras que pase por dichas posiciones previamente planteadas.

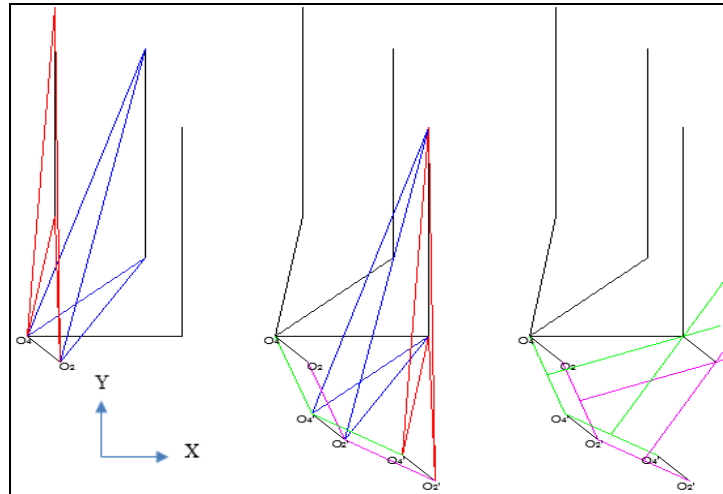


Figura No. 6. 8. Síntesis gráfica de 3 posiciones con pivotes fijos.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Como resultado del proceso de síntesis gráfica de eslabonamientos se ha obtenido, un mecanismo de cuatro barras correspondiente a un paralelogramo, tal como se muestra en la Figura No. 6.9.

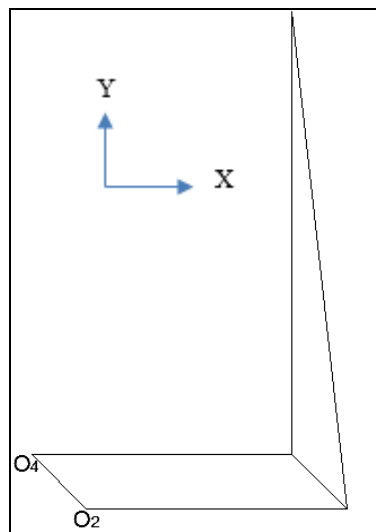


Figura No. 6. 9. Mecanismo resultante de la síntesis gráfica (Paralelogramo).
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

El mecanismo resultante se ubicará en un bastidor acoplable geoméricamente con el mismo, empleándose las medidas antropométricas que recomienda el método de adaptación de puestos de trabajo obtenidas anteriormente y que se resumen en la Figura No. 6.4.

6.9.2. Selección del mecanismo actuador

El análisis algebraico de posición para los eslabonamientos del mecanismo de bipedestación previamente sintetizado, establecerá un modelo cinemático que determinará el comportamiento del mismo para las distintas posiciones en su rango de entrada angular. Este análisis se ha contextualizado con el objetivo de integrar el eslabonamiento mecánico, las fuerzas externas que intervienen y las requeridas para la actuación del mismo.

Mecanismo impulsor (cilindro actuador + paralelogramo).

La ubicación de un actuador lineal para el accionamiento del mecanismo, forma un segundo mecanismo impulsor, el que se conforma por la ubicación del cilindro actuador en el bastidor y un brazo de palanca seleccionado en el mecanismo de cuatro barras o paralelogramo según se muestra en la figura No.6.10.

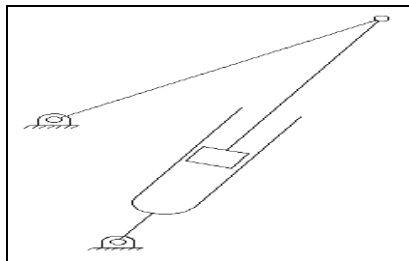


Figura No. 6. 10. Diagrama cinemático mecanismo actuador.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

A continuación, en la figura No. 6.11, se detalla el procedimiento efectuado para el análisis cinemático del mecanismo en su transición desde su posición inicial en la que la persona se halla sentada, hasta la posición final en la que se encontrará de pie. Este rango de movimiento se halla en función de un elemento actuador.

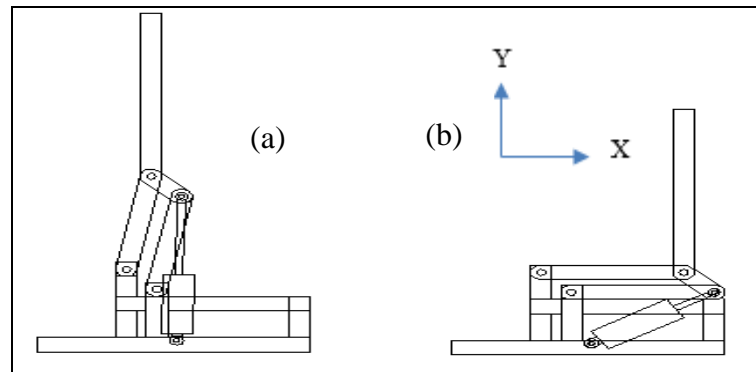


Figura No. 6. 11 Representación plana del mecanismo bipedestador + cilindro actuador. (a) posición final. (b) posición inicial.
Fuente: (Urrutia Urrutia, 2.016)

Para desempeñar el movimiento deseado para la bipedestación mediante el mecanismo, se ha seleccionado el uso de un actuador lineal del tipo mostrado en la Tabla No. 6.2, activado mediante mando con pulsadores.

La longitud de desplazamiento se determina con las dimensiones del posicionamiento sentado hasta la posición vertical, que de acuerdo a la figura No.6.5, las medidas que permitan seleccionar el actuador en función de las mismas se indica en la Tabla No. 6.3.

Tabla No. 6. 3 Dimensiones mínimas del actuador y longitud de desplazamiento

Dimensión	Valor [mm]
Longitud Inicial/longitud mínima del actuador L_o	≈ 400
Longitud final / longitud máxima del actuador L_f	600
Desplazamiento $\Delta L = L_f - L_o$	200

Elaborado por: El Investigador

Finalmente, con la fuerza de 1.657,2 N determinada anteriormente (tabla No. 4.19), la potencia total de 15,8 W requerida por el sistema de bipedestación, y el desplazamiento de 200 mm se seleccionan un actuador marca LINAK modelo LA32 que en el Anexo F, se muestran todas las especificaciones geométricas y técnicas del mismo. Además, la información técnica resumida se muestra en la Tabla No.6.4.

Tabla No. 6. 4 Información Técnica LINAK

LINAK LA32	
Descripción	Unidades
Clase de Protección Dinámica	IP54
Clase de Protección Estática	IP69K
Fuerza Máx. (N)	4.000
Longitud de Carrera Estándar (mm)	20 - 200
Velocidad Normal sin Carga (mm/s)	21
Velocidad Normal con Carga (mm/s)	16
Motor	24 V DC, 50W

Fuente: (LINAK, 2.017)

6.9.3. Diseño de elementos y/o sistemas mecánicos de la estructura

Los elementos y/o sistemas que conforman la silla de ruedas que van a ser diseñados se muestran en la figura No. 6.12

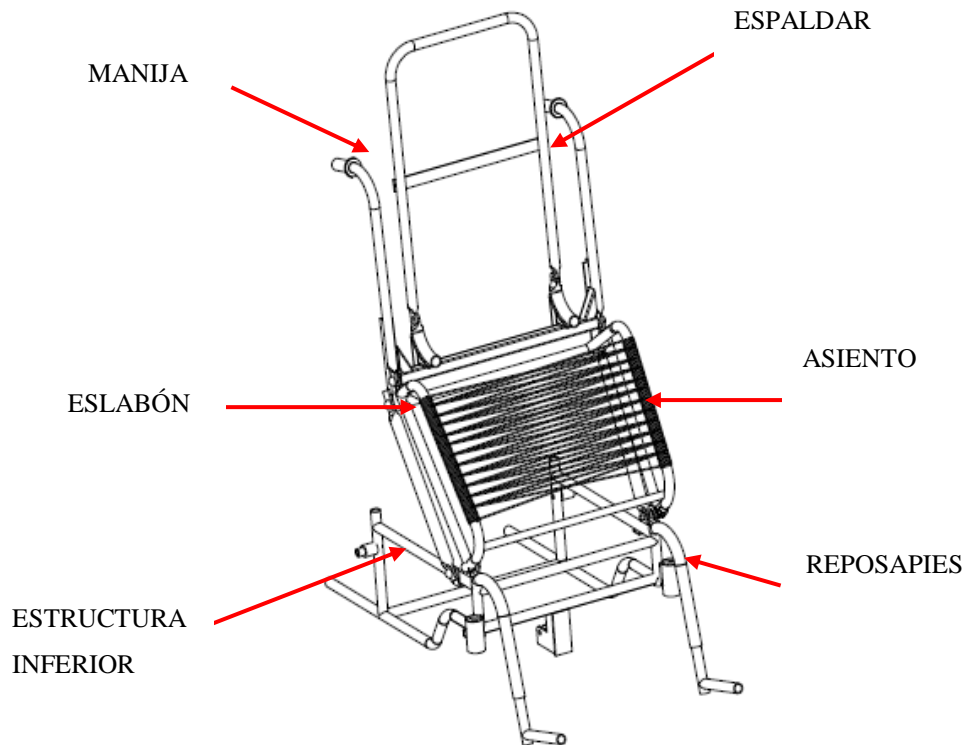


Figura No. 6. 12 Elementos y/o sistemas mecánicos de la estructura
Elaborado por: El Investigador

Diseño de la estructura del asiento.

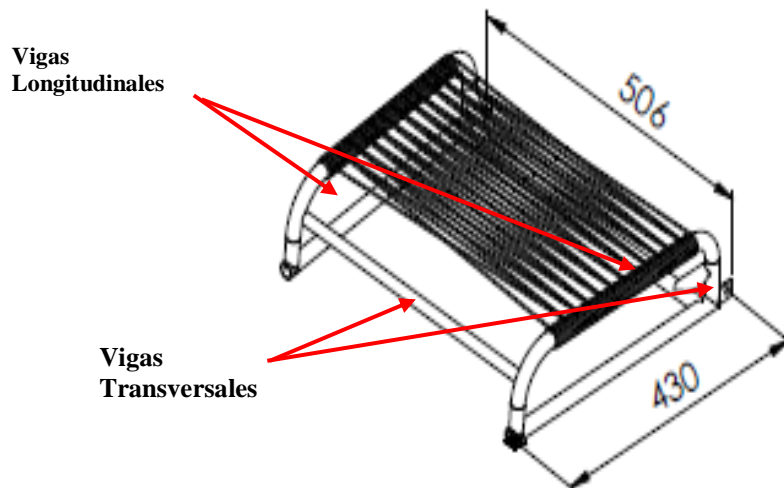


Figura No. 6. 13 Elementos que conforman la estructura del asiento
Elaborado por: El Investigador

Consideraciones para las vigas longitudinales y transversales

Las consideraciones que se debe tener presente, para que sirva de vigas soporte del asiento en el esquema de la figura No. 6.13, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Viga. Se debe tener presente que el asiento va a estar soportado por 2 tubos longitudinales y 2 transversales, por lo que el Peso Requerido P_R , es de:

$$P_R = 150\text{Kg}/4 = 37,5 \text{ Kg.}$$

- Longitud crítica = 506 mm = 50,6 cm.
- Carga Distribuida: $q = 0,7411 \text{ Kg/cm}$
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg/cm}^2 = 46 \text{ Klb/pulg}^2$
- Factor de diseño $n_d = 1,5$

Diagrama de cuerpo Libre DCL

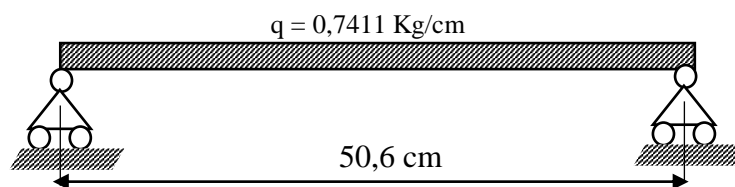


Figura No. 6. 14 Diagrama de cuerpo libre de la viga soporte de la estructura del asiento
Elaborado por: El Investigador

Determinación de las cargas críticas

De acuerdo a la figura No. 6.14, como se trata de una viga sometida a flexión, el momento crítico se determina a partir de la Ecuación [6.7]:

$$M = qL^2/8 \quad [6.7]$$

Donde:

M = Momento (Kg*cm)

q = Carga Distribuida $q = 0,7411 \text{ Kg/cm}$

L = Longitud: 50,6 cm

Por lo que: $M = 237,19 \text{ kg.cm}$

Determinación del esfuerzo permisible F_b

Al aplicar la teoría de falla de la energía de la distorsión (esfuerzo de Von Mises), con un factor de diseño $n_d = 1,5$, el esfuerzo permisible se simplifica en la Ec.6.8.

$$F_b = 0,66 F_y \quad [6.8]$$

Donde:

F_b = Esfuerzo Permisible (Kg/cm^2 , $Klb/pulg^2$)

$F_y = S_y$ = Límite de Fluencia: $S_y = 3.235 Kg/cm^2 = 46 Klb/pulg^2$

Por lo que: $F_b = 0.66 \times 3.235 kg/cm^2 = 2.139 kg/cm^2$

Determinación del módulo de sección

$$S_x = M / F_b \quad [6.9]$$

Donde:

$S_x = W$ = Módulo de Sección (cm^3)

M = Momento = 237,19 kg.cm

F_b = Esfuerzo Permisible = 2.139,0042Kg/cm²

Por lo que:

$$S_{xreq} = 0,1108 cm^3$$

Selección del perfil

En base al Módulo de Sección ($S_x = 0,1108 cm^3$) dado y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Anexo G), se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Tabla No. 6. 5 Especificaciones Técnicas del Tubo Redondo

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso	Propiedades		
		e	P	A	I	W	i
Pulg	mm	mm	Kg/6m	cm	cm ⁴	cm ³	cm
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62

D = Diámetro e = Espesor A = Área W = Módulo de Sección I = Momento de inercia i = Radio de Giro

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2.016)

A continuación, se procede a comprobar la validez del tubo seleccionado.

$$S_{xreq} = 0,1108 cm^3$$

$$S_{xstab} = W = 0,34 cm^3$$

$$S_{req} < S_{stab} \quad [6.10]$$

Como se puede notar que el Módulo de Sección requerido si es menor que el Módulo de Sección de las Tablas se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto.

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado es el:

Tubo Redondo: $\varnothing = 3/4''$ y $e = 1,5$ mm

Diseño de la estructura del espaldar.

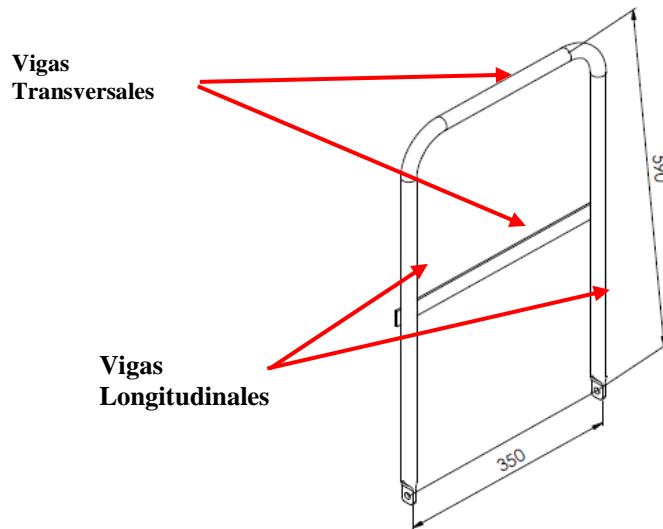


Figura No. 6. 15 Elementos que conforman la estructura del espaldar del asiento
Elaborado por: El Investigador

Consideraciones para las vigas longitudinales y transversales

Las consideraciones que se debe tener presente en la figura No. 6.15, para que sirva de vigas soporte del espaldar son:

- Peso máximo del tronco de una persona (50,7% Tabla 6.1) = 76,05kg.
- Peso requerido = Es la carga critica a ubicar sobre cada viga longitudinal en posición. Se debe tener presente que el espaldar va a estar soportado por 2 tubos longitudinales y 2 transversales, por lo que el Peso Requerido $P_R = 76,05\text{Kg}/4 = 16,0125\text{Kg}$.
- Longitud = 590 mm = 59 cm.
- Carga Distribuida: $q = 0,3222$ Kg/cm
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3235\text{Kg}/\text{cm}^2 = 46\text{Klb}/\text{pulg}^2$
- Factor de diseño $n_d = 1.5$

Diagrama de cuerpo Libre DCL

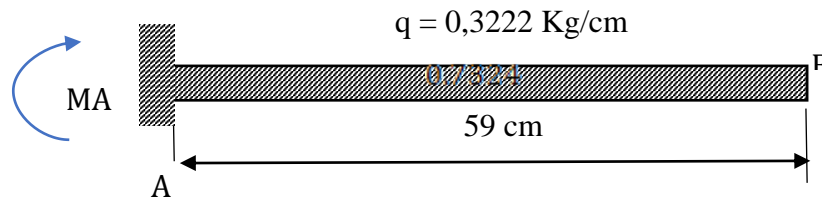


Figura No. 6. 16 Diagrama de cuerpo libre de la viga soporte longitudinal de la estructura del espaldar del asiento

Elaborado por: El Investigador

Determinación de las cargas críticas

Ahora, como la figura No. 6.16, se trata de una viga en voladizo sometida a flexión, el momento crítico se determina a partir de la Ecuación [6.11] y desde la Ec. [6.8] a la [6.10] para los demás parámetros:

$$M = qL^2/2 \quad [6.11]$$

Donde:

M = Momento (Kg*cm)

q = Carga Distribuida: q = 0,3222 Kg/cm

L = Longitud: 59 cm.

Por lo que:

$$M = 560,86 \text{ kg.cm}$$

Determinación del esfuerzo permisible F_b

$$F_b = 0.66 F_y$$

Donde:

F_b = Esfuerzo Permisible (Kg/cm^2 , $Klb/pulg^2$)

$F_y = S_y =$ Límite de Fluencia: $S_y = 3235Kg/cm^2 = 46 Klb/pulg^2$

Por lo que:

$$F_b = 0,66 \times 3.235kg/cm^2 = 2.139 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del módulo de sección

$$S_x = M / F_b$$

Donde:

$S_x = W =$ Módulo de Sección (cm^3)

M = Momento = 560,86 kg.cm

$$F_b = \text{Esfuerzo Permisible} = 2.139,0042 \text{Kg/cm}^2$$

Por lo que: $S_{x\text{req}} = 0,2622 \text{ cm}^3$

Selección del perfil

En base al Módulo de Sección ($S_x = 0,2622 \text{ cm}^3$) dado y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Tabla No. 6.5) se selecciona un Tubo Redondo con las mostradas en la tabla No. 6.6.

Tabla No. 6. 6 Especificaciones técnicas del tubo redondo para el espaldar

Díámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2016)

A continuación, se procede a comprobar la validez del tubo seleccionado.

$$S_{x\text{req}} = 0,2662 \text{ cm}^3$$

$$S_{x\text{tab}} = W = 0,34 \text{ cm}^3$$

$$S_{\text{req}} < S_{\text{tab}}$$

Como se puede notar que el Módulo de Sección requerido si es menor que el Módulo de Sección de las Tablas se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto.

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado es el:

Tubo Redondo: Ø = 3/4" y e = 1,5 mm

Diseño de la manija

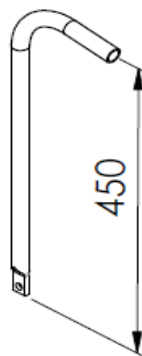


Figura No. 6. 17 Manija
Elaborado por: El Investigador

Consideraciones para la viga longitudinal

Las consideraciones que se debe tener presente, para que sirva de viga soporte de empuje de la silla de la figura No. 6.17, son:

- Fuerza Requerida de empuje de cada mano es de 15kg.
- Longitud = 450 mm = 45 cm.
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg/cm}^2 = 46\text{Klb/pulg}^2$
- Factor de diseño $n_d = 1,5$

Diagrama de cuerpo Libre DCL

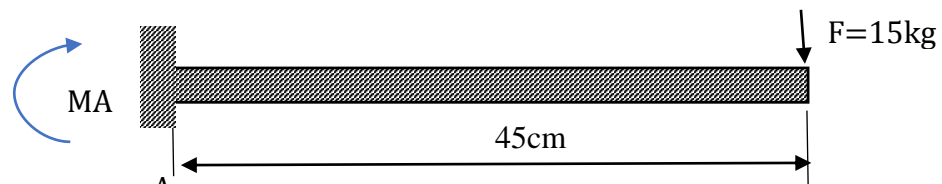


Figura No. 6. 18 Diagrama de cuerpo libre de la manija
Elaborado por: El Investigador

Determinación de las cargas críticas

Como se trata de una viga en voladizo con carga puntual sometida a flexión (figura No.6.18), el momento crítico se determina a partir de la Ecuación [6.12] y desde la Ec. [6.8] a la [6.10] para los demás parámetros:

$$M = F \times L \quad [6.12]$$

Donde:

M = Momento (Kg*cm)

F = Carga Puntual: F = 15 Kg

L = Longitud: 45 cm.

Por lo que: $M = 675 \text{ kg.cm}$

Determinación del esfuerzo permisible F_b

$$F_b = 0,66 F_y$$

Donde:

F_b = Esfuerzo Permisible (Kg/cm^2 , Klb/pulg^2)

$F_y = S_y$ = Límite de Fluencia: $S_y = 3.235\text{Kg/cm}^2 = 46 \text{ Klb/pulg}^2$

Por lo que:

$$F_b = 0,66 \times 3.235\text{kg/cm}^2 = 2.139 \text{ kg/cm}^2$$

Determinación del módulo de sección

$$S_x = M / F_b$$

Donde:

$S_x = W =$ Módulo de Sección (cm^3)

$M =$ Momento = 675 kg.cm

$F_b =$ Esfuerzo Permisible = 2.139,0042Kg/cm²

Por lo que: $S_{xreq} = 0,3155 cm^3$

Selección del perfil

En base al Módulo de Sección ($S_x = 0,3155 cm^3$) dado y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Tabla No. 6.5) se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Tabla No. 6. 7 Especificaciones técnicas del tubo redondo para la manija

Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2016)

A continuación, se procede a comprobar la validez del tubo seleccionado.

$$S_{xreq} = 0,3155 cm^3$$

$$S_{xtab} = W = 0,34 cm^3$$

$$S_{req} < S_{tab}$$

Como se puede notar que el Módulo de Sección requerido si es menor que el Módulo de Sección de las Tablas se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto.

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado es el:

Tubo Redondo: Ø = 3/4" y e = 1,5 mm

Diseño del Eslabón

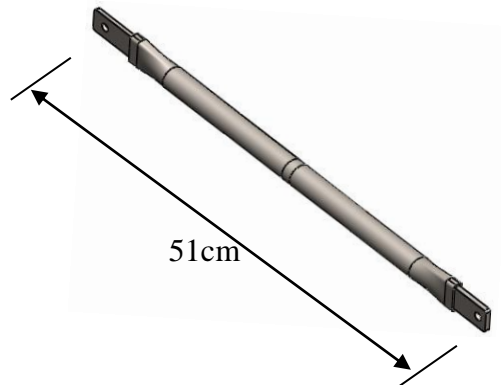


Figura No. 6. 19 Eslabón
Elaborado por: El Investigador

Diagrama de cuerpo Libre DCL



Figura No. 6. 20 Diagrama de cuerpo libre del eslabón
Elaborado por: El Investigador

Consideraciones para el eslabón (columna)

Con la figura No.6.19 y el DCL de la figura No. 6.20, las consideraciones que se debe tener presente, para que sirva de columna – eslabón, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg
- Peso generado por el material del asiento y espaldar = 4,99 Kg
- Peso Total = 154,99 Kg
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Viga. Se debe tener presente que la silla de ruedas, está compuesta por dos eslabones, por lo que el Peso Requerido P_R es de: $154,997\text{Kg} / 2 = 77,4985\text{Kg} = 170,85\text{lb}$
- Longitud = 510 mm = 51 cm.
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg}/\text{cm}^2 = 46 \text{ Klb}/\text{pulg}^2$

- Como la estructura se encuentra Articulada – Articulada, se designa un factor de $K = 1$, tal como se indica en la Tabla No. 6.8.
- Con una Relación de Esbeltez $KL/r = 50$ se establece que $F_a = 22,69$ Kpsi tal como se indica en la Tabla No. 6.9
- Factor de diseño $n_d = 1.5$

Tabla No. 6. 8. Longitudes efectivas de las columnas.

Longitudes efectivas de columnas						
Las líneas interrumpidas muestran la forma pandeada de la columna	(a)	(b)	(c)	(d)	(e)	(f)
Valor K teórico	0.5	0.7	1.0	1.0	2.0	2.0
Valores recomendados de diseño cuando las condiciones son parecidas a las ideales.	0.65	0.80	1.2	1.0	2.10	2.0

Fuente: (Mott, 2.006).

Tabla No. 6. 9 Esfuerzos Permisibles de Columnas ($F_y = 46\,000$ psi)

$\frac{KL}{r}$ ratio	1	2	3	4	5	6	7	8	9
F_a	27.540	27.480	27.420	27.360	27.300	27.230	27.160	27.090	27.020
10	26.950	26.870	26.790	26.720	26.630	26.550	26.470	26.380	26.210
20	26.110	26.020	25.930	25.830	25.730	25.640	25.540	25.430	25.230
30	25.120	25.010	24.900	24.790	24.680	24.560	24.450	24.330	24.100
40	23.970	23.850	23.730	23.600	24.480	23.350	23.220	23.090	22.830
50	22.690	22.560	22.420	22.280	22.140	22.000	21.860	21.720	21.430
60	21.280	21.130	20.980	20.830	20.680	20.530	20.370	20.220	19.900
70	19.740	19.580	19.420	19.260	19.100	18.930	18.760	18.600	18.260
80	18.080	17.910	17.740	17.560	17.390	17.210	17.030	16.850	16.480
90	16.300	16.120	15.930	15.740	15.550	15.360	15.170	14.970	14.580

Fuente: Allowable Compressive (σ_a) Values, Main Members (AISC, 1.963)

Determinación de la sección admisible

Para seleccionar el material más apropiado se utilizan las siguientes ecuaciones: desde la Ec. [6.13], a la Ec. [6.17]

$$A = P / F_a \quad [6.13]$$

Donde:

A = Área de Sección del Tubo (cm²)

P = Carga Requerida: 170,85 lb

Fa = Esfuerzo Permisible: 22.690 lb/pulg²

Por lo que:

$$A = \frac{170.85 \text{ lb}}{22\,690 \frac{\text{lb}}{\text{pulg.}^2}} = 0.00753 \text{ pulg.}^2 = 0.048 \text{ cm}^2$$

Selección del perfil

En base a la sección determinada (A = 0,048cm²), y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Tabla No. 6.5) se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Tabla No. 6. 10 Especificaciones técnicas del tubo redondo para la manija

Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2.016)

Verificación del tubo seleccionado.

a) Primera Comprobación:

Para verificar la validez del tubo seleccionado se utilizan las siguientes ecuaciones:

$$KL/r \quad [6.14]$$

Donde:

- K = Factor de Longitudes Efectivas = 1
- L = Longitud = 510 mm
- r = Radio de Giro = 6,2 mm.

Una vez que se determine la relación de esbeltez se procede a seleccionar el esfuerzo permisible, el mismo que es:

$$KL/r = 82,25 \approx 80$$

En donde mediante la Tabla No. 6.9, $F_a = 18,08$ Kpsi, con el que se procede a calcular la Carga Requerida, para lo que se va utilizar la siguiente ecuación:

$$P_c = A \times F_a \quad [6.15]$$

Donde:

P_c = Carga Requerida

A = Área de Sección del Tubo seleccionado = $0,83\text{cm}^2 = 0,1286$ pulg²

F_a = Esfuerzo Permisible = 18.080 psi.

Por lo que la Carga Requerida es: $P_c = 2.326$ lb

Por lo que se puede decir que P_c es: 2.326 lb \gg 170,85 lb

b) Segunda Comprobación:

Para verificar por segunda vez, la validez del tubo seleccionado se utiliza las siguientes ecuaciones:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 E}{F_y}} \quad [6.16]$$

Donde:

C_c = Constante de Columna. (Adimensional).

E = Módulo de Elasticidad del Material. = $2'100.000$ Kg/cm²

F_y = Límite de fluencia = 3.235 Kg/cm² = 46 Klb/pulg²

Por lo que:

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 2100000 \text{Kg/cm}^2}{3235 \text{Kg/cm}^2}} = 113.1976$$

$$80 < 113,19$$

Si la Relación de Esbeltez es menores que C_c , se utiliza la ecuación Parabólica, la misma que es.

$$F_a = \frac{\left[1 - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^2}{2 C_c^2} \right] F_y}{\frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{KL}{r}\right)}{8 C_c} - \frac{\left(\frac{KL}{r}\right)^3}{8 C_c^3}} \quad [6.17]$$

Donde:

Fa = Esfuerzo Permisible

KL/r La Relación de Esbeltez = 80

Cc = Constante de Columna = 113,1976

Fy = Límite de fluencia $Fy = 3.235Kg/cm^2 = 46 Klb/pulg^2$

Por lo que:

$$Fa = \frac{37.204 \text{ Kpsi.}}{1.67 + 0.2319 - 0.0296} = \frac{37.204 \text{ Kpsi.}}{1.8723} = 19.87075 \text{ Kpsi.}$$

Por lo que la Carga Requerida según la Ecuación es:

$$P_c = 0.98cm^2 \times 19\ 870.75 \frac{lb}{plg^2} \times \frac{1 \text{ pulg}^2}{(2,54 \text{ cm})^2} = 3\ 018.37 \text{ lb}$$

Por lo que se puede decir que P_c es: $3.018,37lb > 170,85lb$

Una vez verificado la validez del material mediante 2 comprobaciones, se procede a determinar que el Tubo Correcto es el: $\varnothing = 3/4''$ y $e = 1.5 \text{ mm}$.

Diseño de la estructura inferior

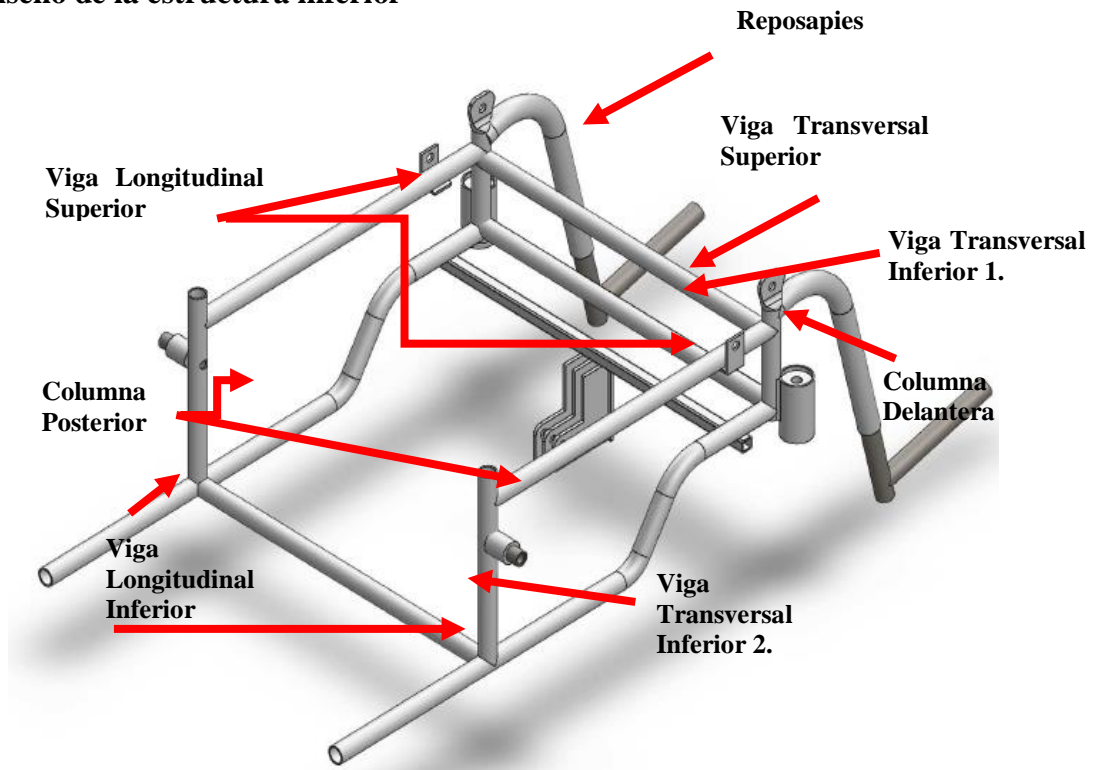


Figura No. 6. 21 Elementos que conforman la estructura inferior
Elaborado por: El Investigador

Diseño de las vigas longitudinales y transversales

La figura No. 6.21, se muestran las vigas longitudinales y transversales de la estructura inferior, que se diseñan bajo las siguientes consideraciones:

Consideraciones para la viga longitudinal superior

Las consideraciones que se debe tener presente, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg
- Peso generado por el material del asiento, espaldar y eslabón es = 6,4 Kg
- Peso Total = 156,4 Kg
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Viga. Se debe tener presente que el asiento va a estar soportado por 2 Vigas longitudinales, por lo que el Peso Requerido P_R , es de: $156,4\text{Kg}/2 = 78,2\text{Kg}$
- Longitud $L = 440 \text{ mm} = 44 \text{ cm}$.
- Carga Distribuida: $q = 1,955 \text{ Kg/cm}$
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg/cm}^2 = 46 \text{ Klb/pulg}^2$

Consideraciones para la viga Transversal Superior

Las consideraciones que se debe tener presente, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso generado por el material del asiento, espaldar y eslabón es = 6,4 Kg
- Peso Total = 156,4 Kg
- Longitud = 350 mm = 35 cm.
- Carga Distribuida: $q = 4,4685 \text{ Kg/cm}$
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg/cm}^2 = 46 \text{ Klb/pulg}^2$

Consideraciones para la viga Transversal Inferior 1

Las consideraciones que se debe tener presente, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso generado por el material del asiento, espaldar y eslabón es = 6,4 Kg
- Peso Total = 156,4 Kg
- Longitud = 480 mm = 48 cm.

- Carga Distribuida: $q = 3,2583 \text{ Kg/cm}$
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235 \text{ Kg/cm}^2 = 46 \text{ Klb/pulg}^2$

Consideraciones para la Viga Longitudinal Inferior

Las consideraciones que se debe tener presente, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso generado por el material es = 9,47255 Kg
- Peso Total = 159,47255 Kg
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Viga. Se debe tener presente que la silla de ruedas, está compuesta por dos Vigas Longitudinales, por lo que el Peso Requerido

$$P_R = 159,47255 \text{ Kg} / 2 = 79,73627 \text{ Kg} = 175,79 \text{ lb}$$

- Longitud = 650 mm = 65 cm.
- Carga Distribuida: $q = 1,2267 \text{ Kg/cm}$
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235 \text{ Kg/cm}^2 = 46 \text{ Klb/pulg}^2$

Consideraciones para la Viga Transversal Inferior 2

Las consideraciones que se debe tener presente, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso generado por el material es = 9,47255 Kg
- Peso Total = 159,47255 Kg
- Longitud = 480 mm = 48 cm.
- Carga Distribuida: $q = 3,322 \text{ Kg/cm}$
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235 \text{ Kg/cm}^2 = 46 \text{ Klb/pulg}^2$

Para el diseño de los elementos en forma general se considera un Factor de diseño $n_d = 1,5$

Diagrama de cuerpo Libre DCL

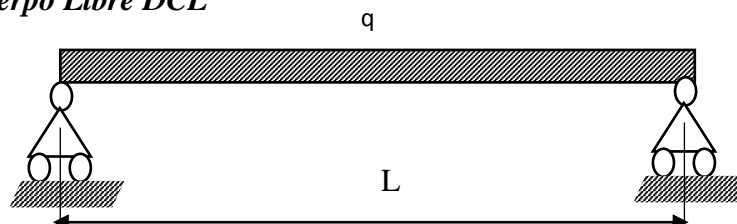


Figura No. 6. 22 Diagrama de cuerpo libre de la viga soporte de la estructura del asiento
Elaborado por: El Investigador

Determinación de los parámetros para el diseño y selección del perfil

El diseño de los elementos/vigas para la estructura inferior se en forma resumida se encuentran descritos en la Tabla No. 6.11, bajo las consideraciones descritas, como el material a utilizar, un Acero ASTM A513, y además son elementos empotrados de acuerdo al DCL de la figura No. 6.22; entonces los cálculos para la selección del perfil tubular redondo se lo realizan con las ecuaciones desde la [6.7] a la [6.10] descritas anteriormente:

Tabla No. 6. 11 Cálculos para seleccionar el perfil tubular redondo para las vigas de la estructura inferior

ELEMENTO/ VIGA	q kg/cm	L cm	$M = \frac{qL^2}{8}$ Kg. cm	Fb Kg/cm2	$Sx = \frac{M}{Fb}$ cm3	D. seleccionado pulg	Sx tablas cm3	CUMPLE Sx req < Sx Tab
longitudinal superior	1,955	44	473,1	2.139	0,2211	0,75	0,34	SI
Transversal Superior	4,468	35	684,2	2.139	0,3198	0,75	0,34	SI
Transversal Inferior 1	3,258	48	737,3	2.139	0,3446	0,75	0,34	SI
Longitudinal Inferior	1,227	65	648,0	2.139	0,3029	0,75	0,34	SI
Transversal Inferior 2	3,322	48	691,2	2.139	0,3231	0,75	0,34	SI

Elaborado por: El Investigador

Selección del perfil

En base al Módulo de Sección ($S_{x_{req}}$) dado en la Tabla No. 6.12, y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Anexo G) se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Tabla No. 6. 12 Especificaciones técnicas del tubo redondo para las vigas longitudinales y transversales de la estructura inferior

Diámetro Exterior (D)		Espesor		Peso		Propiedades	
Pulg	mm	e mm	P Kg/6m	A cm	I cm4	W cm3	i cm
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62

D = Diámetro e = Espesor A = Área W = Módulo de Sección I = Momento de inercia i = Radio de Giro

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2016)

Como se puede notar que el Módulo de Sección requerido si es menor que el Módulo de Sección de las Tablas se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto.

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado para todas las vigas de la estructura inferior, es:

Tubo Redondo: $\varnothing = 3/4''$ y $e = 1,5$ mm

Diseño de las columnas

Consideraciones para la Columna Posterior

Las consideraciones que se debe tener presente, para que sirva de columna, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso generado por el material del asiento y espaldar = 7,6422 Kg
- Peso Total = 157,6422 Kg
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Viga. Se debe tener presente que la silla de ruedas, está compuesta por dos Columnas Posteriores, por lo que el Peso Requerido

$$P_R = 157,6422\text{Kg}/2 = 78,8211\text{Kg} = 173,77\text{lb}$$

- Longitud = 300 mm = 30 cm.
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg}/\text{cm}^2 = 46 \text{ Klb}/\text{pulg}^2$
- Como la estructura se encuentra Empotrado - Empotrado, se designa un factor de $K = 0,5$, tal como se indica en la Tabla No. 6.8
- Con una Relación de Esbeltez $KL/r = 50$ se establece que $F_a = 22,39\text{Kpsi}$ tal como se indica en la Tabla No. 6.9

Consideraciones para la Columna Delantera

Las consideraciones que se debe tener presente, para que sirva de columna, son:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso generado por el material es = 7,6422 Kg
- Peso Total = 157,6422 Kg
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Viga. Se debe tener presente que la silla de ruedas, está compuesta por dos Columnas Posteriores, por lo que el Peso Requerido

$$P_R = 157,6422\text{Kg}/2 = 78,8211\text{Kg} = 173,77\text{lb}$$

- Longitud = 200 mm = 20 cm.
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg}/\text{cm}^2 = 46\text{ Klb}/\text{pulg}^2$
- Como la estructura se encuentra Empotrado - Empotrado, se designa un factor de $K = 0,5$, tal como se indica en la Tabla No. 6.8
- Con una Relación de Esbeltez $KL/r = 50$ se establece que $F_a = 22,39\text{Kpsi}$, tal como se indica en la Tabla No. 6.9

Consideraciones para el reposapiés (Columna)

Las consideraciones que se debe tener presente, para que sirva de columna, son:

- Se debe tener en cuenta el porcentaje de carga que ocupa la parte del cuerpo humano en la columna.
- Peso Máximo de una Persona = 150Kg.
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Columna.
- Por lo que según la Tabla No. 6.1, el peso a ubicar es la sumatoria de los pies y piernas por lo que es: 32,2%, se debe tener en cuenta que el porcentaje dado es el total, por lo que se requiere el individual, el mismo que sería del 16,1 %.
- El peso requerido sería del 24,15 Kg = 53,24 lb.
- Longitud = 503 mm = 50,3 cm.
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg}/\text{cm}^2 = 46\text{ Klb}/\text{pulg}^2$
- Como la estructura se encuentra Empotrado - Articulado, se designa un factor de $K = 0,7$, tal como se indica en la Tabla No. 6.8
- Con una Relación de Esbeltez $KL/r = 50$ se establece que $F_a = 22,39\text{Kpsi}$, tal como se indica en la Tabla No. 6.9

Diagrama de cuerpo Libre DCL



Figura No. 6. 23 Diagrama de cuerpo libre de las columnas pertenecientes a la estructura inferior
Elaborado por: El Investigador

Determinación de los parámetros para el diseño y selección del perfil

El diseño de los elementos/columnas para la estructura inferior se en forma resumida se encuentran descritos en la Tabla No. 6.13, bajo las consideraciones descritas, como el material a utilizar, un Acero ASTM A513 con una Relación de Esbeltez $KL/r = 50$ se establece que $F_a = 22,39\text{Kpsi}$, y además son elementos cuyos condiciones de extremos sea según el caso que se analice, de acuerdo al DCL de la figura No. 6.23, y los valores de las Tablas No. 6.8 y 6.9, entonces los cálculos para la selección del perfil tubular redondo y una posterior verificación se lo realiza con las ecuaciones desde la [6.13] hasta la [6.17], descritas anteriormente:

Tabla No. 6. 13 Cálculos para seleccionar el perfil tubular redondo para las columnas de la estructura inferior

ELEMENTO/ COLUMNA	P lb	$A = \frac{P}{F_a}$ cm ²	Perfil seleccionado D=3/4" e=1.5mm (Tabla No. 6.6.)			1ra Comprobación				2da Comprobación			
			Área Ag cm ²	R de Giro Ry cm	Mód de Sección St cm ³	$\frac{KL}{r}$	Fa Tabla No. 6.10 lb	$P_c = A \cdot F_a$ lb	$\frac{P}{P_c}$	Cc	Fa lb	Pc lb	$\frac{P}{P_c}$
Posterior	173,77	0,05	0,83	0,62	0,34	20	26,11	3.358	SI	113,19	26.091	3.355	SI
Delantera	173,77	0,05	0,83	0,62	0,34	20	26,11	3.358	SI	113,19	26.091	3.355	SI
Reposapias	53,24	0,015	0,83	0,62	0,34	60	21,28	2.737	SI	113,19	21.370	2.748	SI

Elaborado por: El Investigador

Selección del perfil

En base a la sección determinada (A), y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Tabla No. 6.12) se selecciona un Tubo Redondo con las siguientes características:

Tabla No. 6. 14 Especificaciones técnicas del tubo redondo para las columnas de la estructura inferior

Diámetro Ø	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2016)

Por lo que el tubo seleccionado y apropiado para todas las columnas de la estructura inferior, es el:

Tubo Redondo: Ø = 3/4" y e = 1,5 mm

6.9.4. Diseño del Apoya brazos.

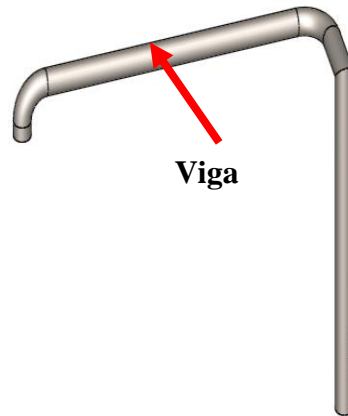


Figura No. 6. 24 Esquema del apoyabrazos
Elaborado por: El Investigador

Consideraciones para la viga

Para determinar el porcentaje del brazo que ocupa un cuerpo humano en la viga de la figura No. 6.24, se establecen las siguientes consideraciones:

- Peso Máxima de una Persona = 150Kg.
- Peso Requerido = Es la Carga a ubicar sobre cada Viga.
- Por lo que según la Tabla 6.1, el peso a ubicar es la sumatoria de las manos y brazos por lo que es: 9,8%, se debe tener en cuenta que el porcentaje dado es el total, por lo que se requiere el individual, el mismo que sería del 4,9%.
- El peso requerido sería del 7,35 Kg.
- Longitud = 385 mm = 38,5 cm.
- Carga Distribuida: $q = 0,191\text{Kg/cm}$
- Límite de fluencia de Acero ASTM A513, $F_y = 3.235\text{Kg/cm}^2 = 46\text{ Klb/pulg}^2$

Diagrama de cuerpo Libre DCL

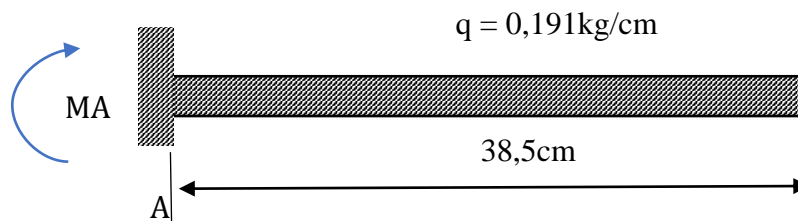


Figura No. 6. 25 DCL de la viga apoyabrazos
Elaborado por: El Investigador

Determinación de las cargas críticas

Como se trata de una viga en voladizo con carga puntual sometida a flexión como lo indica el DCL de la figura No.6.25, el momento crítico se determina a partir de la Ec. [6.11] y desde la Ec. [6.8] a la [6.10] para los demás parámetros:

$$M = qL^2/2$$

Donde:

M = Momento (Kg*cm)

q = Carga Distribuida: q = 0,191Kg/cm

L = Longitud: 38,5 cm.

Por lo que: **M = 141,6 kg.cm**

Determinación del esfuerzo permisible F_b

$$F_b = 0,66 F_y$$

Donde:

F_b = Esfuerzo Permisible (Kg/cm, Klb/pulg²)

$F_y = S_y$ = Límite de Fluencia: $S_y = 3.235Kg/cm^2 = 46 Klb/pulg^2$

Por lo que: **$F_b = 0,66 \times 3.235kg/cm^2 = 2.139 kg/cm^2$**

Determinación del módulo de sección

$$S_x = M / F_b$$

Donde:

$S_x = W$ = Módulo de Sección (cm³)

M = Momento = 141,6 kg.cm

F_b = Esfuerzo Permisible = 2.139,0042Kg/cm²

Por lo que: **$S_{xreq} = 0,0662 cm^3$**

Selección del perfil

En base al Módulo de Sección ($S_x = 0,066 cm^3$) dado y mediante el Catálogo de Productos DIPAC (Tabla No. 6.12)

Tabla No. 6. 15 Especificaciones técnicas del tubo redondo para la manija

Diámetro \emptyset	Espesor e	Área Ag	Radio de Giro ry	Módulo de Sección St
3/4"	1,5 mm	0,83 cm ²	0,62 cm	0,34 cm ³

Fuente: (DIPAC PRODUCTOS DE ACERO, 2016)

A continuación, se procede a comprobar la validez del tubo redondo seleccionado.

$$S_{x_{req}} = 0,066 \text{ cm}^3$$

$$S_{x_{tab}} = W = 0,34 \text{ cm}^3$$

$$S_{req} < S_{tab}$$

Como se puede notar que el Módulo de Sección requerido si es menor que el Módulo de Sección de las Tablas se puede decir que el tubo seleccionado es el correcto. Por lo que el tubo seleccionado y apropiado es el:

Tubo Redondo: $\varnothing = 3/4''$ y $e = 1,5 \text{ mm}$

6.9.5. Selección de las ruedas posteriores

La rueda posterior de la silla se consigue en el mercado, su rin es de polímero, su coraza de caucho macizo, no neumática, no permite amortiguar los choques a los que está sometido durante el desplazamiento de la silla por caminos de superficie no uniforme. La rueda tiene un aro de impulsión que permite el desplazamiento manual de la silla, ya que por medio de este la persona con discapacidad impulsa la rueda según sus necesidades de desplazamiento, (hacia adelante, hacia atrás o para dar giros a la silla). El eje de esta rueda está asegurado fuertemente a la manzana y por ser estriado encaja y se ajusta perfectamente en el interior en el interior del acople estriado para transmitir la potencia a la rueda. Las medidas características se muestran de este tipo de ruedas se muestra en la Figura No. 6.26.

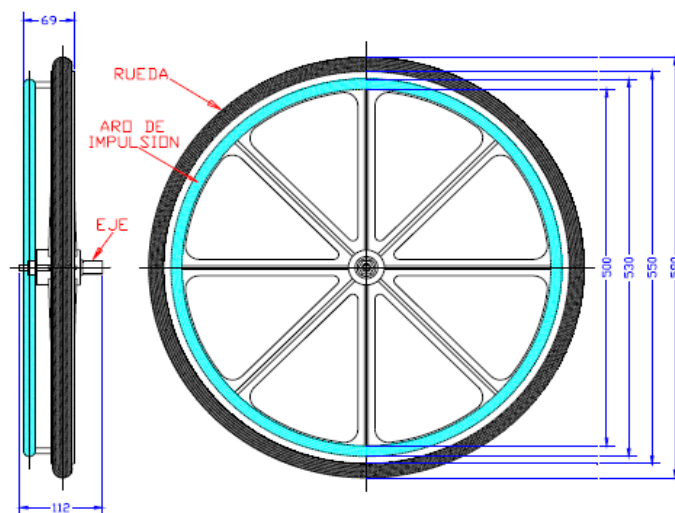


Figura No. 6. 26 Dimensiones características de las ruedas posteriores de aro de polímero
Elaborado por: El Investigador

6.9.6. Selección del freno

El dispositivo de bloqueo de las ruedas posteriores derecha e izquierda mostrada en la figura No. 6.27, consta de cuatro barras pivotadas y unidas por tornillos, que le permiten ubicarse en dos posiciones extremas. En la primera la rueda posterior está libre para rotar y en la segunda al accionar manualmente la barra superior hacia adelante, la barra inferior bloquea la rueda impidiendo su rotación.

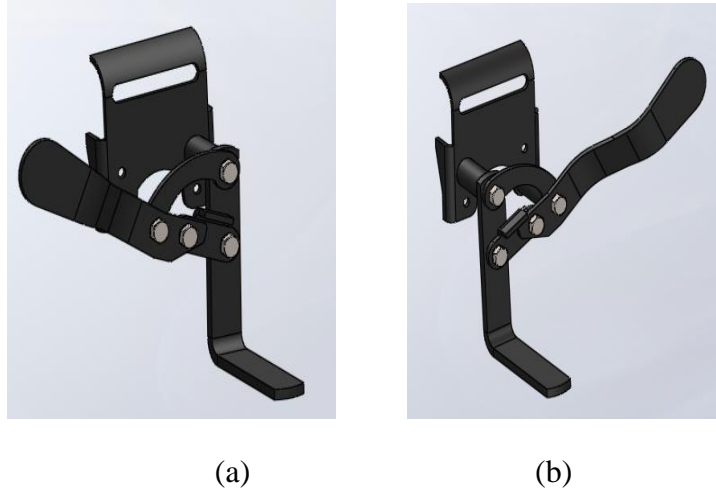


Figura No. 6. 27 Freno ruedas posteriores. a) Posición 1 Desactivado b) Posición 2 Bloqueo activado

Elaborado por: El Investigador

6.9.7. Selección de las ruedas delanteras

Las ruedas delanteras de la silla tienen rin de plástico y coraza de caucho macizo lo que impiden que absorban parte de los choques que se presentan durante el desplazamiento de la silla, como si lo harían las ruedas neumáticas. Además, debido a que el diseño procura incurrir en mínimos costos, en el mínimo mantenimiento y que sus partes sean fáciles de cambiar; la silla no tienen un mecanismo para variar la posición de las ruedas delanteras, por ello éstas ruedas rotan libremente y se acomodan a la dirección fijada por la rotación de las ruedas traseras. Como se observa en la Figura No. 6.28 las ruedas tienen su eje que es un tornillo, dos rodamientos uno a cada lado de la rueda para permitir la fácil rotación del eje, un soporte que tiene en la parte superior un tornillo que sirve para sujetar por medio de una tuerca el vástago de plástico.

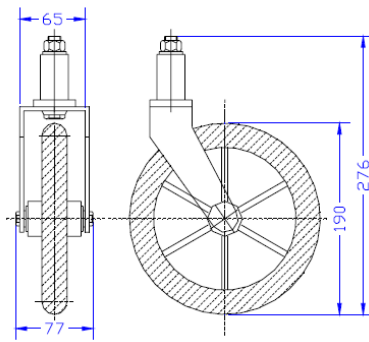


Figura No. 6. 28 Dimensiones características de las ruedas delanteras de aro de plástico

Elaborado por: El Investigador

6.9.5. Sistema electrónico de control del actuador

La fuente de alimentación o fuente de poder como también se le conoce, se define dentro del ámbito de la electrónica, como el instrumento que transforma la corriente alterna, en una o varias corrientes continuas o directas, las cuales son utilizadas para alimentar los diferentes aparatos electrónicos, tales como televisores, computadoras, impresoras, etc.

La función de una fuente de alimentación es convertir la tensión alterna en una tensión continua y lo más estable posible, para ello se usan los siguientes componentes:

1. Transformador de entrada;
2. Rectificador a diodos;
3. Filtro para el rizado;
4. Regulador (o estabilizador) lineal. Este último no es imprescindible.

La fuente sigue el esquema de la figura No. 4.29, de transformador (reductor de tensión), rectificador (conversión de voltaje alterno a onda completa), filtro (conversión de onda completa a continua) y regulación (mantenimiento del voltaje de salida ante variaciones en la carga).

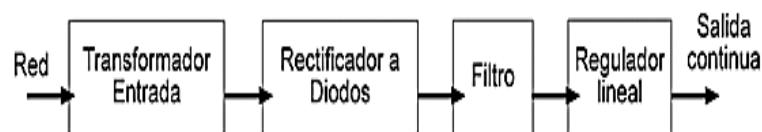


Figura No. 6. 29 Fuente de Alimentación

Elaborado por: El Investigador

El circuito tanto del cargador de baterías como del que comanda el actuador se presenta en la figura No. 6.30.

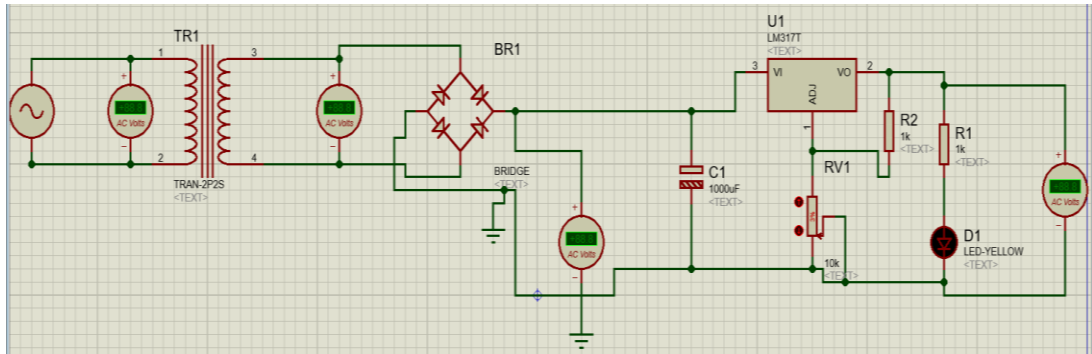


Figura No. 6. 30. Circuito electrónico para carga de baterías y control del actuador
Elaborado por: El Investigador

Los pasos básicos que cumple la fuente de alimentación son:

Transformación: en esta etapa se busca reducir la tensión de entrada a la fuente generalmente 120 a 12 V, está capacitada para trabajar con corrientes alternas, es decir que la corriente de entrada será alterna, y la de salida, igual.

Rectificación: Se encarga de transformar la tensión alterna que sale del transformador en tensión continua, su objetivo es garantizar que no se originen fluctuaciones de voltaje en el tiempo, es decir que el voltaje no baje de 0 V y siempre se mantenga sobre esta cifra.

Filtrado: en esta etapa se nivela al máximo la señal, esto se logra al utilizar uno o varios condensadores que retienen la corriente, dejándola pasar poco a poco; a fin de lograr el efecto deseado.

Estabilización: en este paso ya se cuenta con una señal continua y casi del todo plana, por lo que solo es necesario estabilizarla totalmente.

Es muy importante que la fuente de alimentación cuente con una potencia ideal que le permita trabajar de una manera más holgada, por lo tanto, si la potencia es insuficiente, es probable que se origine un fallo en algunos de los dispositivos, impidiéndole funcionar al no llegarle la potencia requerida.

La fuente de alimentación nos permite obtener voltajes que los distintos aparatos e instrumentos electrónicos necesitan para su correcto funcionamiento, permitiéndonos también cambiar y transmitir el voltaje necesario a los distintos

componentes electrónicos que intervienen en sus circuitos, mediante el análisis de las características que poseen cada componente electrónico es muy importante en la elaboración de la fuente de alimentación, ya que de esta dependerá los voltajes que deseamos obtener y la eficiencia de nuestra fuente de alimentación. Además, para el diseño del circuito electrónico es muy importante realizarlo en un software, debido a que este nos ayuda a simular y verificar los resultados que deseamos obtener en la elaboración de la fuente de alimentación.

Pasos para la elaboración de la fuente

1. Realizar el diseño y simulación del circuito, en un software (figura No.6.31).

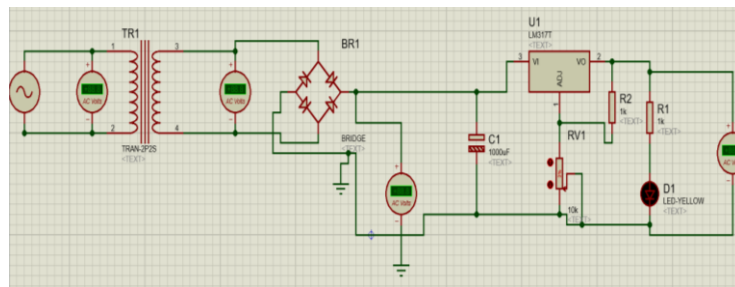


Figura No. 6. 31 Simulación del Circuito
Elaborado por: El Investigador

2. Imprimir el PCB LAYOUT del circuito (figura No.6.32).

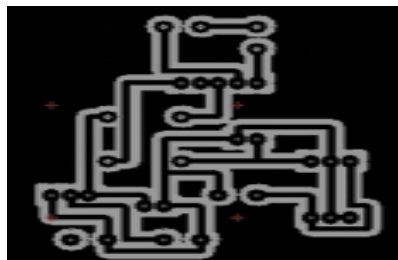


Figura No. 6. 32 Circuito en la Placa
Elaborado por: El Investigador

3. Recortar la baquelita a la medida adecuada (figura No.6.33).



Figura No. 6. 33 Recorte de la Baquelita
Elaborado por: El Investigador

4. Pegar el circuito a la baquelita.
5. Realizar las respectivas perforaciones en la baquelita con el taladro(figura No.6.34).



Figura No. 6. 34 Perforaciones en la baquelita
Elaborado por: El Investigador

6. Montar los componentes determinados de acuerdo al esquema del circuito (figura No.6.35).

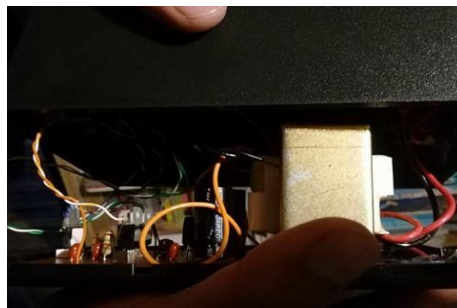


Figura No. 6. 35 Montaje de componentes
Elaborado por: El Investigador

7. Soldar los componentes ensamblados o montados en la baquelita con su respectivo material con el uso de estaño, con el objetivo de alinear y fijar sus componentes, comprobando su funcionamiento (figura No.6.36).



Figura No. 6. 36. Soldadura de Componentes
Elaborado por: El Investigador

Con los pasos anteriormente mencionados, se procede a la construcción de la caja con los elementos descritos, lo que se evidencia en la figura No. 6.37

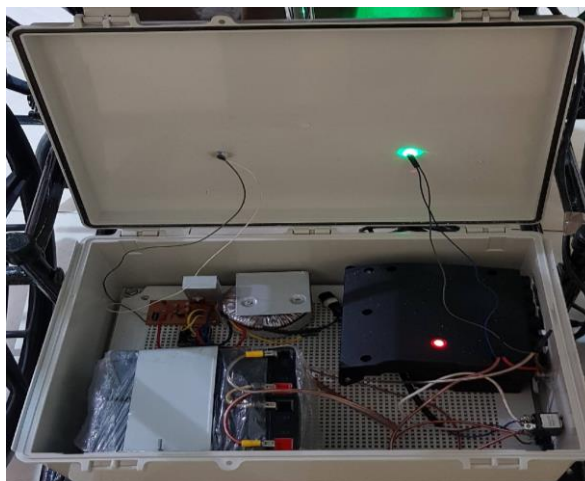


Figura No. 6. 37 Caja con elementos de los circuitos de carga de baterías y de control del actuador
Elaborado por: El Investigador

El circuito electrónico está constituido por el circuito que comanda el actuador y el sistema de carga de baterías los cuales, se conforma por los elementos mostrados en la tabla No.6.16:

Tabla No. 6. 16 Elementos que conforman el circuito electrónico

No.	Nombre	Símbolo	Unidad	Valor
1	Fusible		A	4
2	Transformador		V	120-12
3	Puente rectificador		A V	4 12
4	Diodo		V mA	100 150
5	Regulador de tensión LM317		V	1.2 - 37
6	Capacitor		μ F V	47 35
7	Resistencia variable		k Ω	10
8	Resistencia		Ω	46 16.2
10	Disipador de voltaje		mm	9.6

Elaborado por: El Investigador

6.10. Análisis por el método de elementos Finitos

6.10.1. Objetivos FEM

- Determinar el centro de gravedad del conjunto hombre - silla de ruedas.
- Determinar las deformaciones presentes en la silla de ruedas
- Determinar los esfuerzos presentes en la silla con la utilización de elementos finitos
- Determinar el factor de seguridad

6.10.2. Normativa aplicable

No se aplica ninguna normativa. Son datos experimentales.

6.10.3. Identificación del Método de ensayo

Nombre del método: Ensayo de Simulación de esfuerzos mediante elementos finitos

Tipo de método: Experimental

Materiales de Referencia

- **Acero ASTM A513** la estructura de la silla.
- **Gel balístico** para el maniquí.

Descripción

- Se modela geoméricamente silla de ruedas en tres dimensiones, tomando en cuenta cada detalle propuesto en él diseño.
- Se realiza comprobación de errores de en la geometría en el software SPACECLAIM.
- Se realiza un ensayo modal para comprobar que todas las partes estén con las uniones entre elementos.
- Se realiza el mallado y de se verifica los parámetros de control de malla estén dentro de los adecuados.

- Se realiza el ensayo modal y verifica las deformaciones presentes, de existir elementos sueltos se añade contactos o uniones faltantes hasta que el ensayo modal muestre deformaciones como conjunto y no individuales.
- A continuación, se procede a realizar el ensayo estático para determinar las deformaciones, esfuerzos y factor de seguridad presentes al dejar que actúe las cargas determinadas para este ensayo.

Modelo geométrico

Los modelos geométricos han sido elaborados en el programa Solidworks, y luego analizados en el programa Spaceclaim que tiene herramientas adecuadas para preparar la geometría para realizar los ensayos por elementos finitos a continuación se muestra las dimensiones generales de la geometría (figura 6.38):

Medidas generales

- 1072mm de longitud
- 716 mm de ancho
- 1724 mm de alto

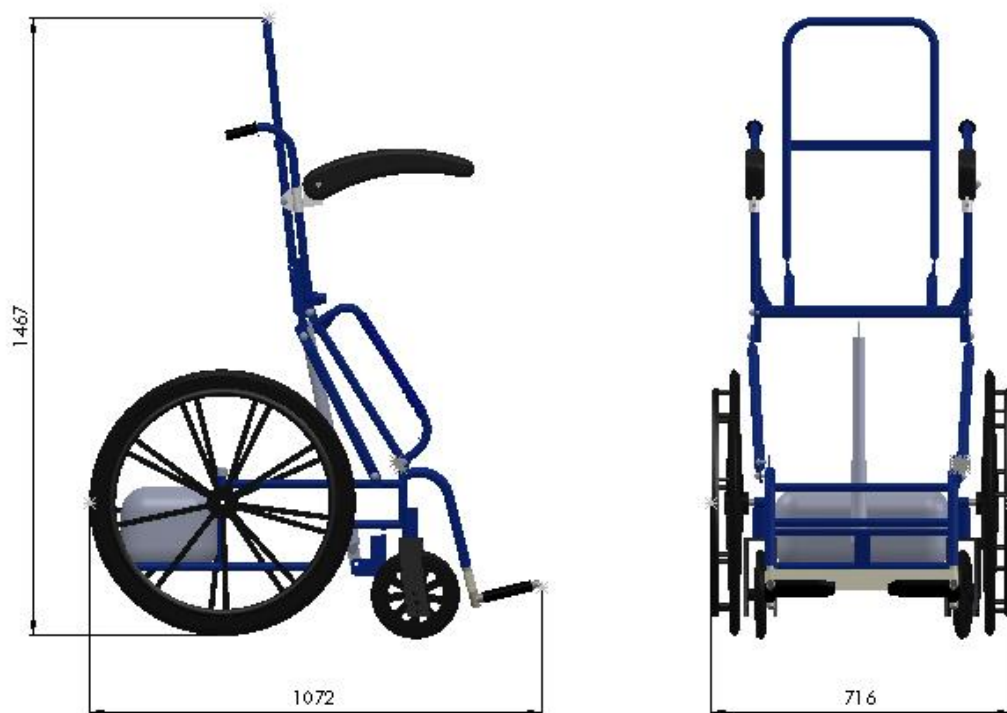


Figura No. 6. 38 Dimensiones silla de ruedas
Elaborado por: El Investigador

Reparación de geometría

En esta pestaña (Repair) se realiza las reparaciones de la geometría para que no cause ningún problema al momento del mallado (figura 6.39). Se puede realizar operaciones de unión de figuras para que funcionen como un solo elemento, además eliminar espacios entre elementos, también determinar si hay elementos duplicados y algunos elementos más que se los puede ir aplicando para la geometría quede sin problemas para el ensayo de elementos finitos. Para el prototipo planteado en esta investigación se utilizó las opciones de unir, espacios, caras faltantes, bordes extras, duplicadas y caras pequeñas.

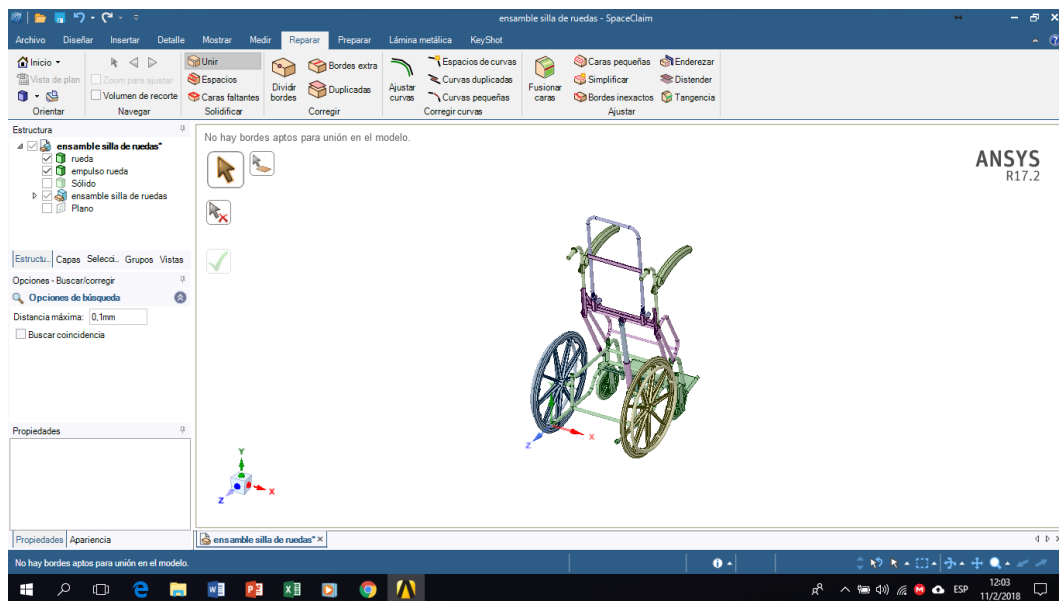


Figura No. 6. 39 Reparación de la geometría
Elaborado por: El Investigador

Preparación de la geometría

En esta pestaña se prepara la geometría verificando caras faltantes, aristas cortas, interferencias y redondeos que no son necesarios para el ensayo (figura 6.40). Con la utilización de las diferentes opciones se puede transformar a sólidos en superficies, al colocar puntos de soldadura. Para la investigación se verifica la opción interferencias y ya que nuestra geometría es importada de un software CAD, diferente al propio que posee ANSYS, ya que es una geometría relativamente pequeña por tanto se la trabaja en forma sólida, y una vez definida la forma que se desea trabajar se usa la opción de envío de la geometría a

WORKBENCH de ANSYS para luego ingresar las condiciones de borde que actúan sobre la geometría y finalmente realizar la verificación de nuestro diseño.

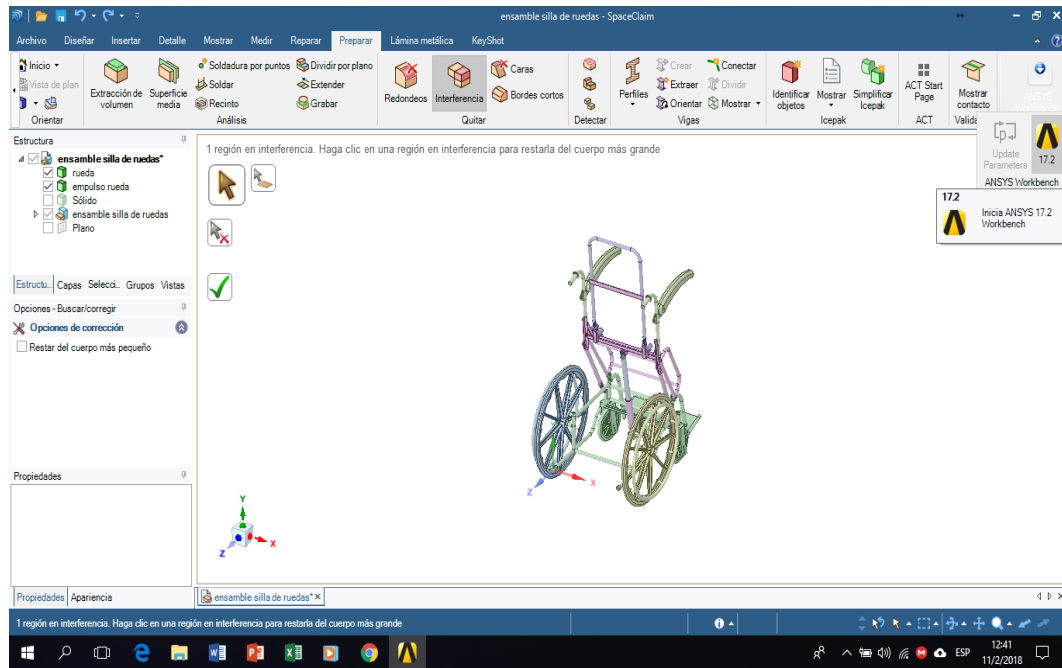


Figura No. 6. 40 Preparación de la geometría.
Elaborado por: El Investigador

Ensayo Modal

En este ensayo se realiza un análisis de frecuencias para determinar si los diferentes componentes están correctamente unidos para lo que se fija ciertas partes como se muestra en la figura 6.41. Las partes en color azul nos muestran las partes fijas para este ensayo.

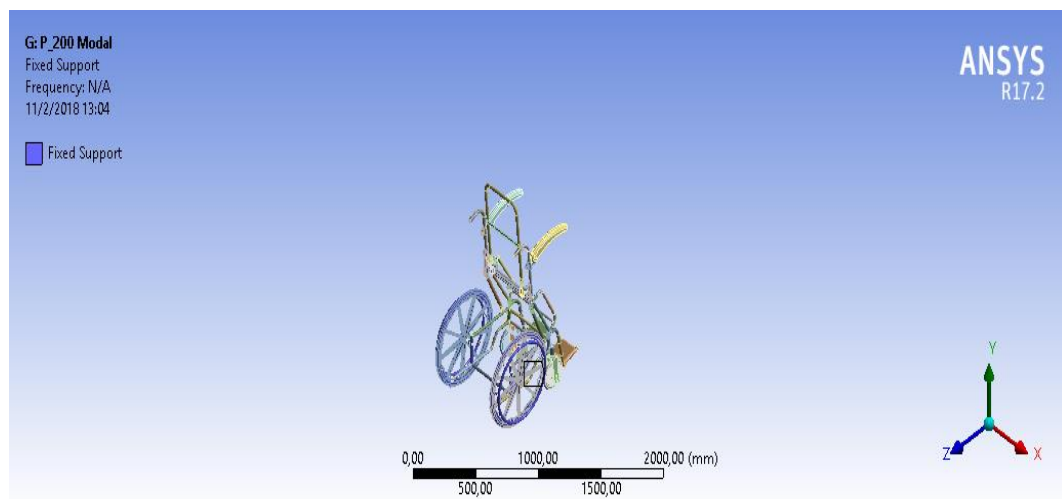


Figura No. 6. 41 Partes fijas del ensayo modal
Elaborado por: El Investigador

Control de la calidad de mallado

Se aplica el control de malla SKEWNESS que tiene una escala de 0 a 1 como se indica en la figura No. 6.42 y este control establece que un gran porcentaje de los elementos están cercanos a uno el mallado es adecuado entonces, se tiene resultados fehacientes. Para este caso de estudio se han obtenido un total de elementos 102.249 de los cuales en promedio tienen un valor de SKEWNESS de 0,69148 lo que permitirá que los resultados obtenidos en este ensayo sean reales.

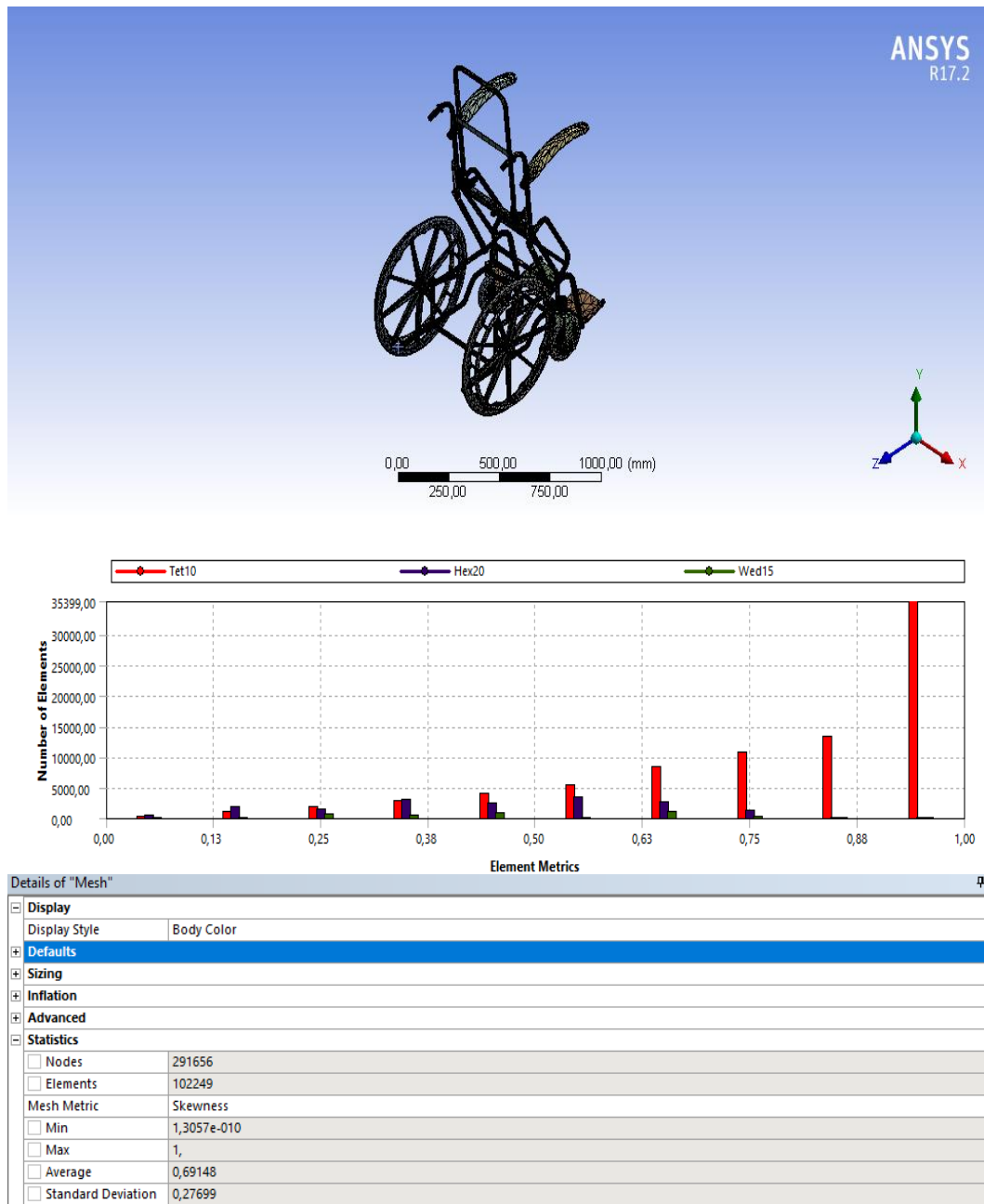


Figura No. 6. 42 Resultados del control de malla skewness
Elaborado por: El Investigador

Resultados del ensayo modal

El ensayo modal de la figura No. 6.43, es un análisis de frecuencias que muestra las deformaciones que sufre el modelo a diferentes valores de frecuencia y muestra además si hay algún elemento suelto. Para el caso de estudio la figura No. 6.43, muestra que los resultados obtenidos a la frecuencia más baja de 10.756Hz, estos valores indican que todos los elementos están actuando como conjunto. Si uno de estos valores nos da cero esto indica que hay un elemento suelto y nos toca poner los respectivos contactos para que todos los elementos funcionen como un solo conjunto.

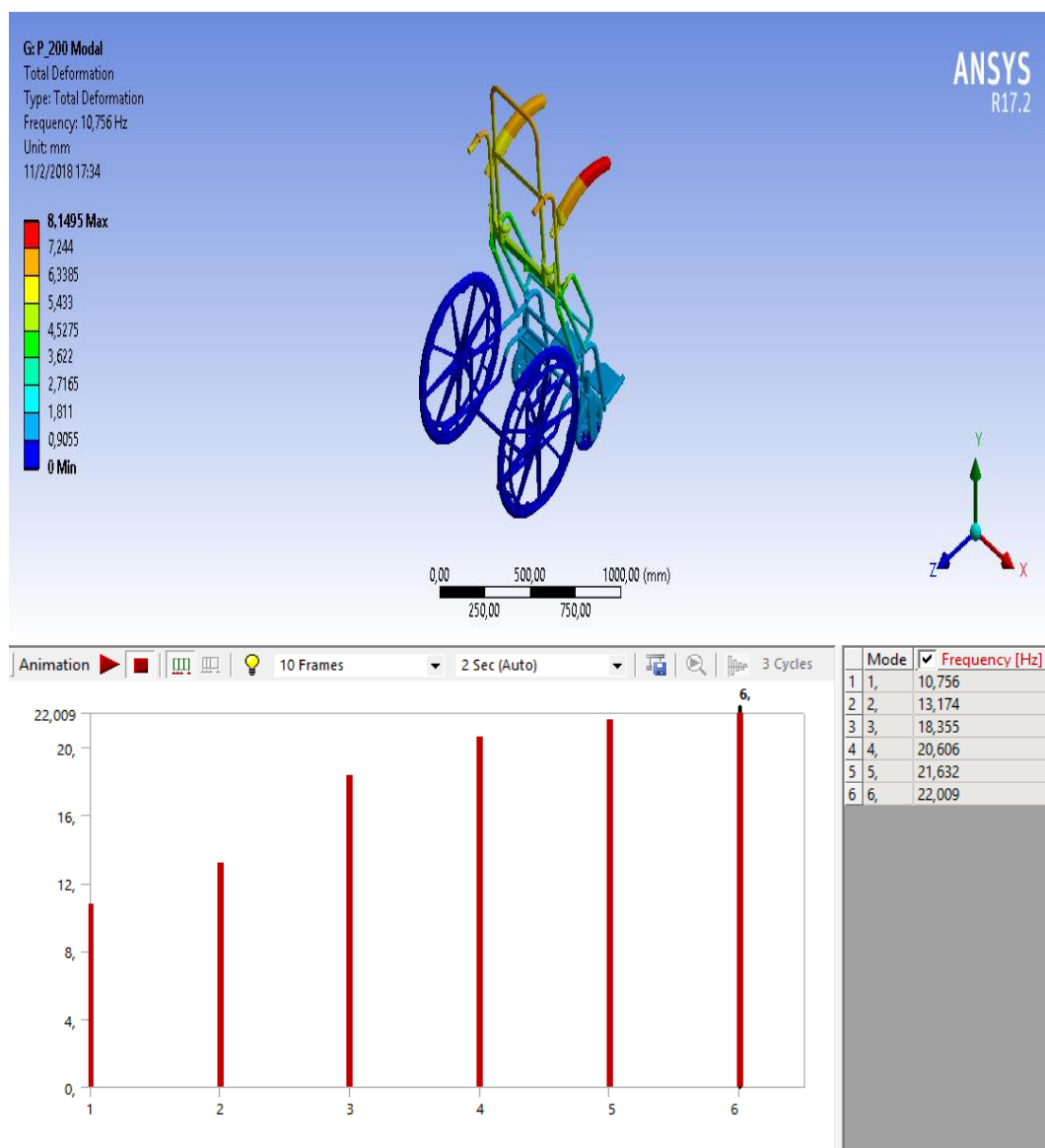


Figura No. 6. 43 Resultados del ensayo modal
Elaborado por: El Investigador

6.10.4. Ensayo estático

Para el ensayo estático es necesario colocar las fuerzas que va a soportar la silla de ruedas se una persona que pese 150 kg máximo más un peso de carga de 20 kg que es el peso que en promedio puede levantar una persona, lo que en Newtons sería 1.568N. A continuación, en la figura No. 6.44, se muestran la asignación de los valores de las cargas actuantes sobre el prototipo.

La carga aplicada se la coloca en dirección de gravedad en el eje “y” en los elementos que actúan se muestran en la figura No. 6.44, los elementos color rojo.

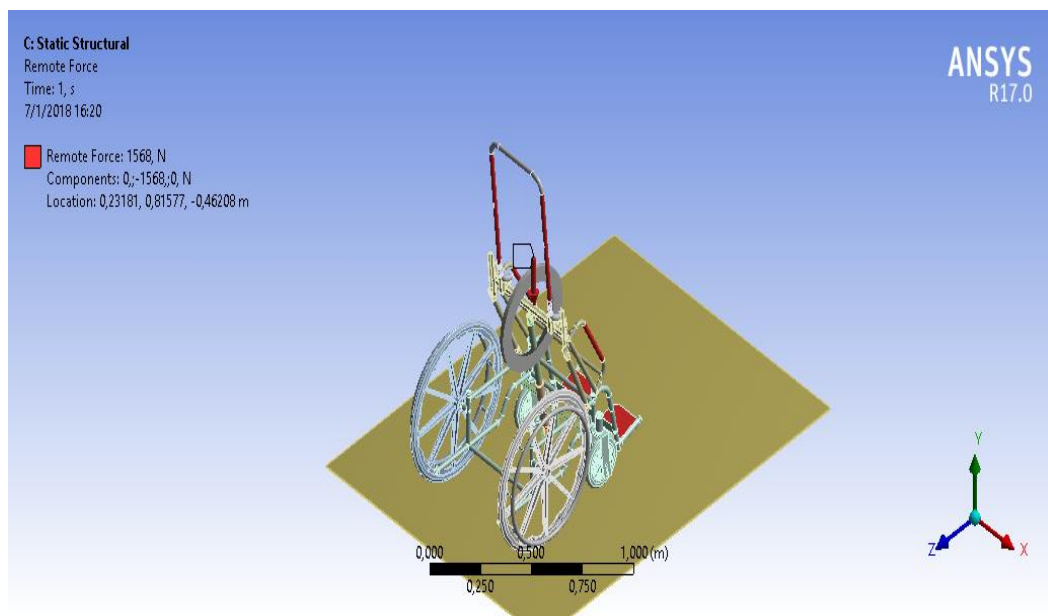


Figura No. 6. 44 Aplicación de cargas al modelo
Elaborado por: El Investigador

Simulación de los ensayos

Los análisis de las simulaciones incluyen:

- Determinación del centro de gravedad cg.
- Determinar deformaciones presentes en la silla.
- Determinar esfuerzos presentes en los diferentes elementos de la silla.
- Determinar el factor de seguridad de la silla de ruedas.

Análisis e interpretación de resultados.

Se desarrolla el modelo y cálculos para el presente ensayo, y se presentan imágenes seleccionadas de los análisis realizados.

Determinación del centro de gravedad (cg).

En la figura No. 6.45, muestra la ubicación del centro de gravedad del conjunto silla humano la que se determina mediante software spaceclaim.

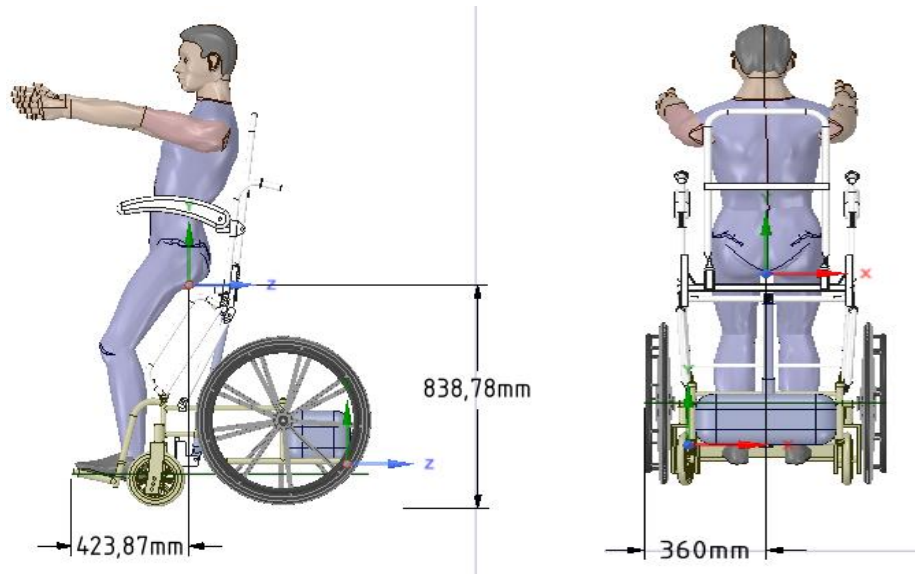


Figura No. 6. 45 Centro de gravedad del conjunto silla humano

Elaborado por: El Investigador

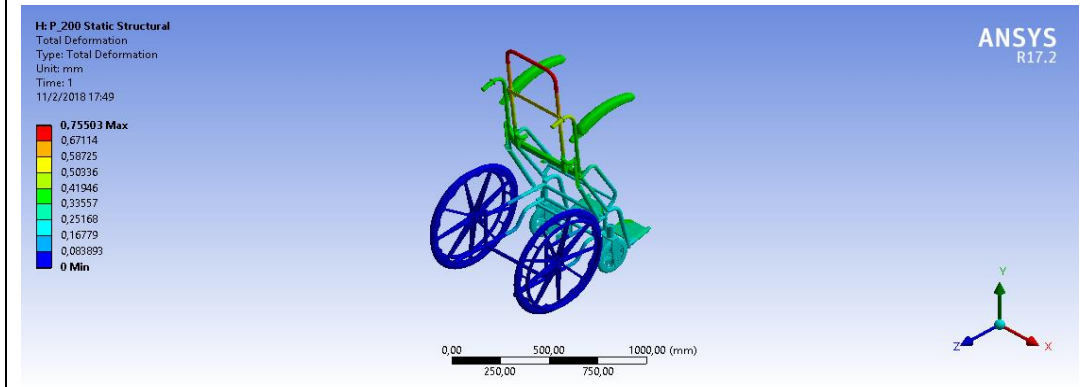
Determinación de deformaciones, esfuerzos y factores de seguridad.

Tabla No. 6. 17 Simulación del ensayo estático para estructura de silla de ruedas sometida a la fuerza W.

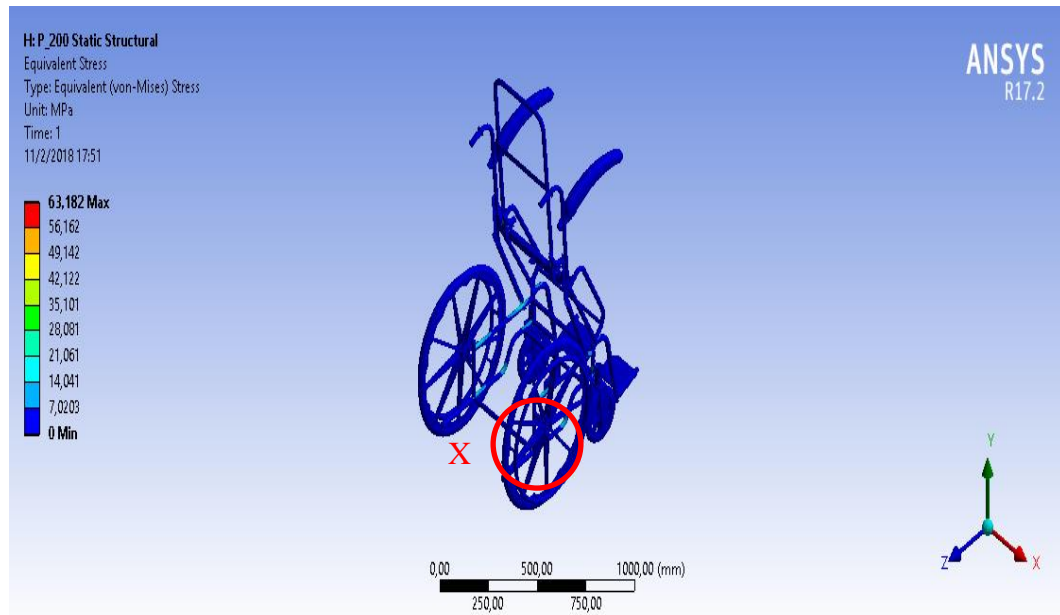
Fecha de ejecución	04/01/2018	Muestra de:	Estructura de la silla de ruedas; Material: ASTM A513
Paquete Computacional:	ANSYS 17.2 Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Víctor Espín.
		Revisado por:	Ing. Thalía San Antonio PhD.
Skewness Max:	1	Skewness:	1,3057e-010
Cantidad de Nodos:	157.693	Cantidad de elementos:	78.338
Tiempo de procesamiento	10 segundos	Número de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO

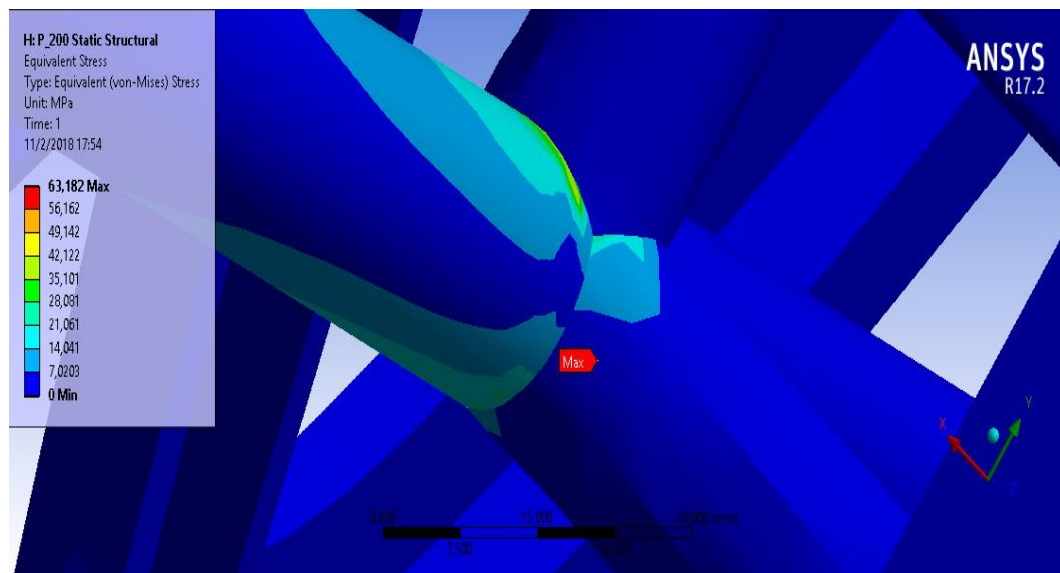
DEFORMACIONES



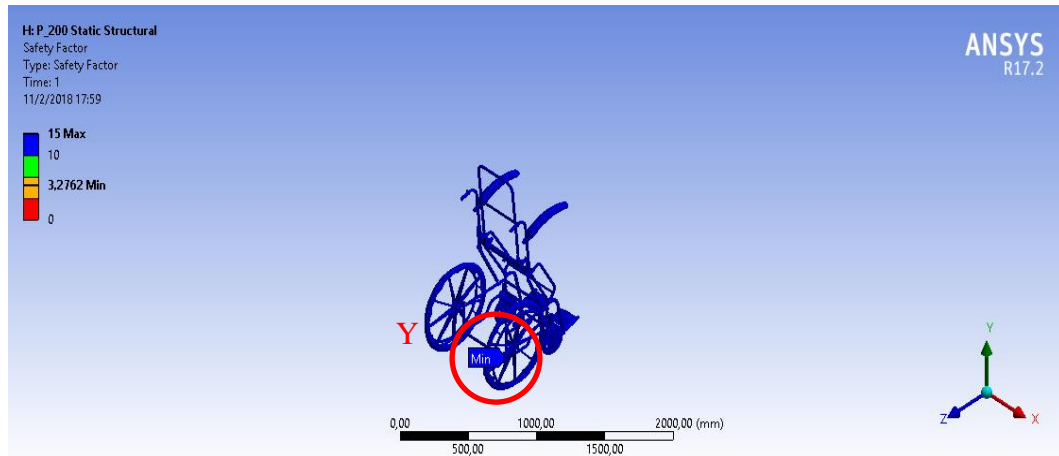
ESFUERZOS (VON MISES)



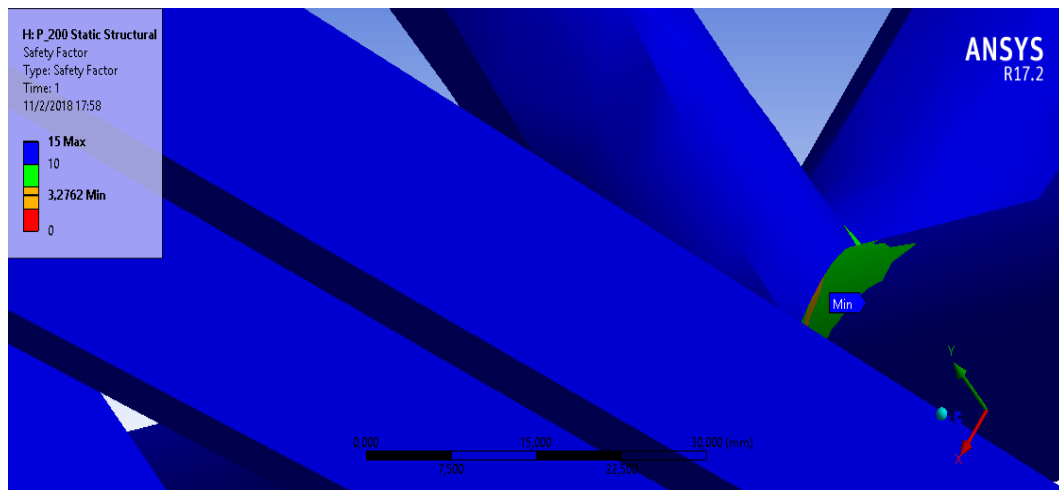
Detalle X



FACTOR DE SEGURIDAD



Detalle Y



Carga mínima:	0 N	Carga Máxima:	1.568 N
Esfuerzo Eq. Máximo	63,182 MPa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0 MPa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación última:	0,75503mm
Factor de seguridad Mín:	3,2762	Factor de seguridad Máximo:	15

VALIDACIÓN DE RESULTADOS:

Los resultados en el ensayo estático (Tabla No. 6.17), muestran los valores de: una deformación máxima de 0,755mm permisible para el tipo de perfil utilizado, un esfuerzo equivalente máximo de 63,182MPa, por debajo de los 142,6MPa de acuerdo al cálculo del esfuerzo de Von Mises, al aplicar la Ec. 6.2. Cabe mencionar que los valores están determinados con un factor de diseño de 1,5, en cambio en la simulación se observa un factor de seguridad de 3,2762, constituyendo el motivo del bajo esfuerzo mostrado.

Elaborado por: El Investigador

6.10.5. Ensayo dinámico

Para el ensayo dinámico se ha tomado como referencia tres posiciones 0 mm, 100 mm y 200 mm de desplazamiento del motor lineal.

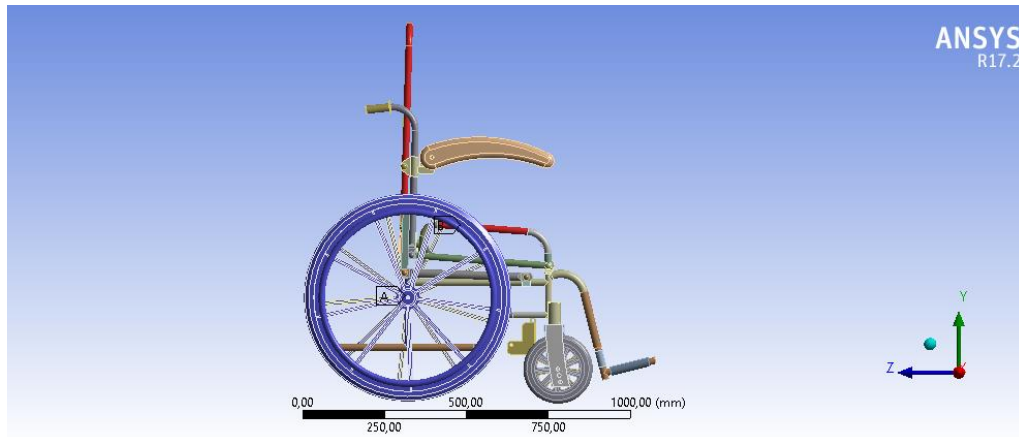
Resultados con desplazamiento de 0 mm (Persona sentada)

Tabla No. 6. 18 Ensayo dinámico con desplazamiento de 0 mm

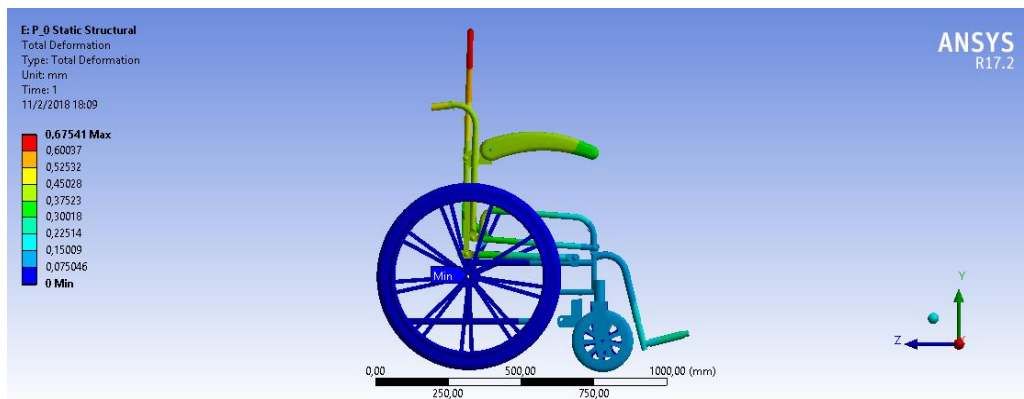
Fecha de ejecución	14/01/2018	Muestra de:	Estructura de la silla de ruedas; Material: ASTM A 513
Paquete Computacional:	ANSYS 17.2 Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Víctor Espín.
		Revisado por:	Ing. Thalía San Antonio PhD
Skewness Max:	1	Skewness:	1,3057e-010
Cantidad de Nodos:	157.693	Cantidad de elementos:	78.338
Tiempo de procesamiento	645 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO

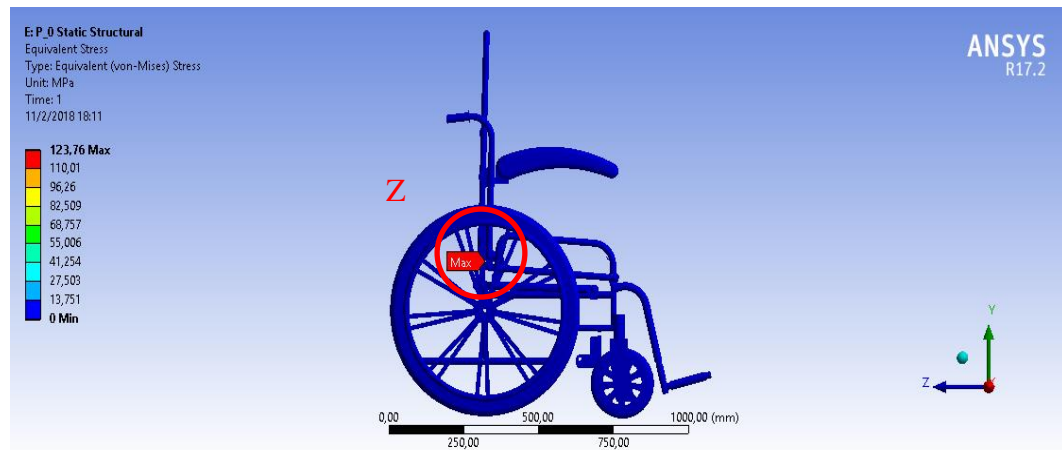
CONDICIÓN INICIAL



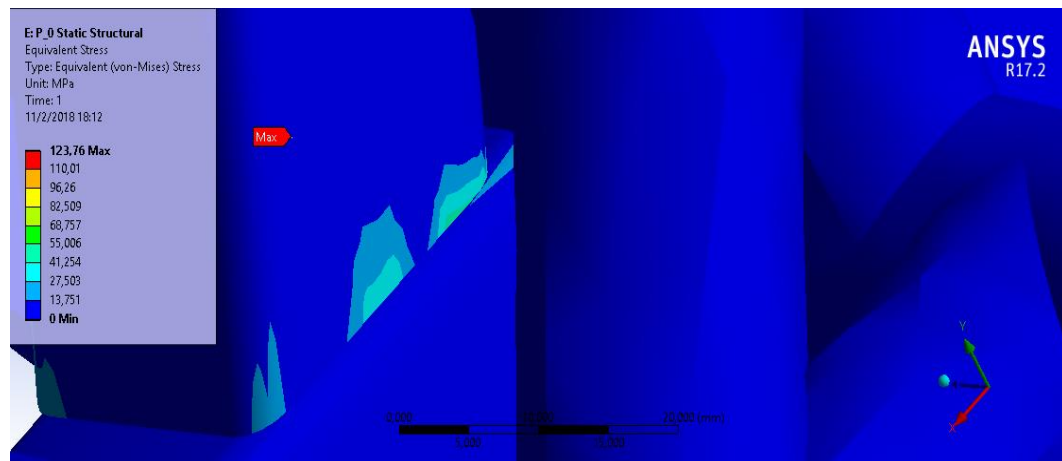
DEFORMACIONES



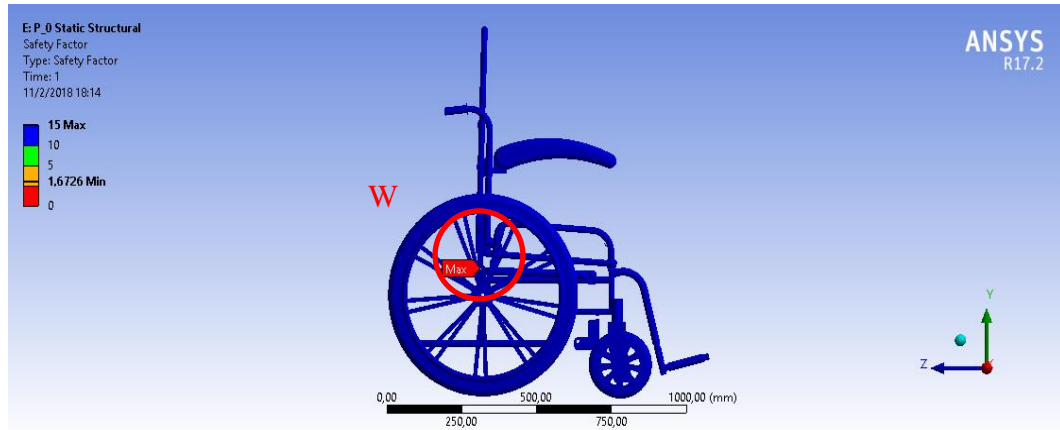
ESFUERZOS (VON- MISES)



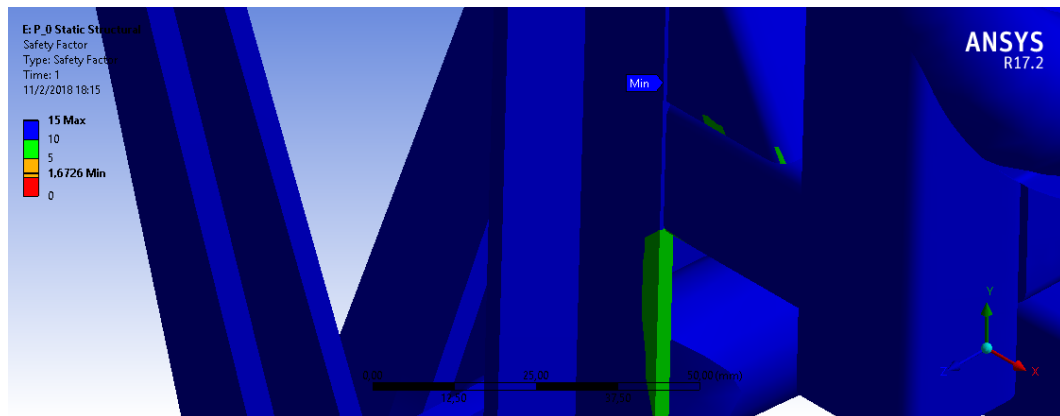
Detalle Z



FACTOR DE SEGURIDAD



Detalle W



Carga mínima:	0 N	Carga Máxima:	1568 N
Esfuerzo Eq. Máximo	123,76 MPa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0 MPa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación Última:	0,67541 mm
Factor de seguridad Mínimo:	1,6726	Factor de seguridad Máximo:	15

VALIDACIÓN DE RESULTADOS:

La simulación dinámica parte desde la posición de 0mm de desplazamiento del pistón. Los resultados en el ensayo (Tabla No. 6.18), muestran valores de: una deformación máxima de 0,67541mm permisible para el tipo de perfil utilizado, un esfuerzo equivalente máximo de 123,76MPa, por debajo de los 142,6MPa, al aplicar la Ec. 6.2. Cabe mencionar que los valores están determinados con un factor de diseño de 1,5, en cambio en la simulación se observa un factor de seguridad de 1,6726, mayor al mencionado.

Elaborado por: El Investigador

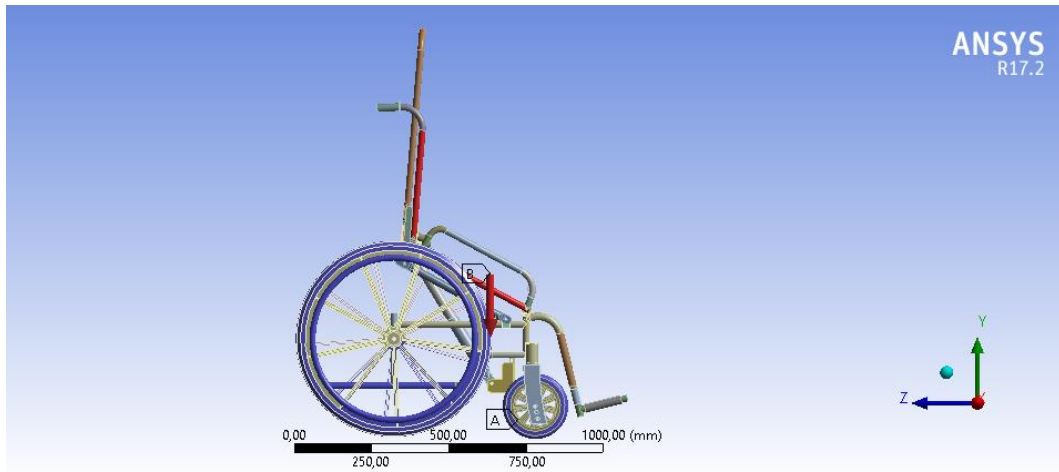
Resultados con desplazamiento de 100 mm

Tabla No. 6. 19 Ensayo dinámico con desplazamiento de 100 mm

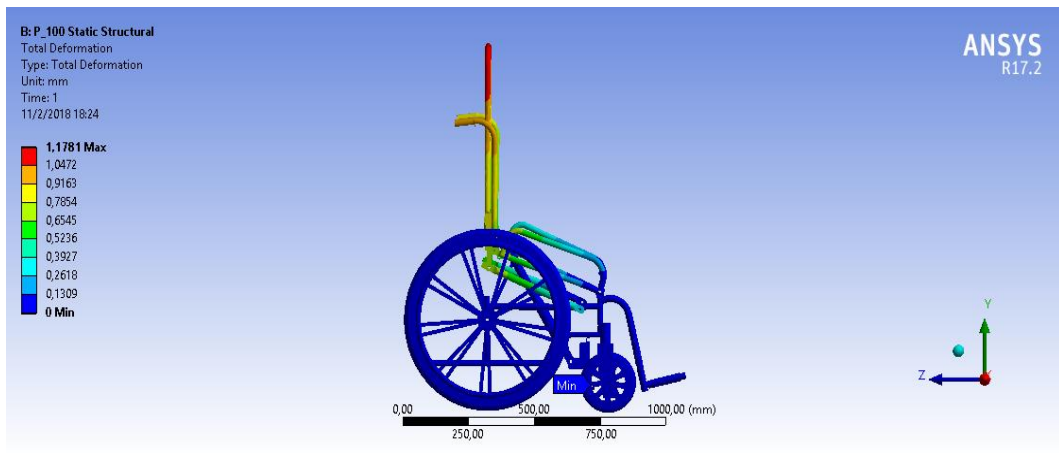
Fecha de ejecución	14/01/2018	Muestra de:	Estructura de la silla de ruedas; Material: ASTM A 513
Paquete Computacional:	ANSYS 17.2 Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Víctor Espín.
		Revisado por:	Ing. Thalía San Antonio PhD
Skewness Max:	1	Skewness:	1,3057e-010
Cantidad de Nodos:	157.693	Cantidad de elementos:	78.338
Tiempo de procesamiento	645 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO

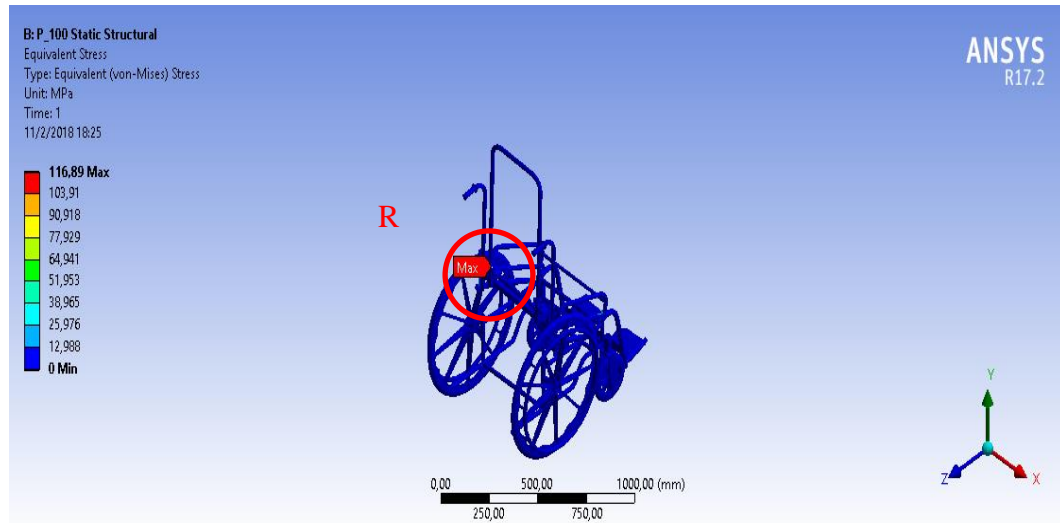
CONDICIÓN INICIAL



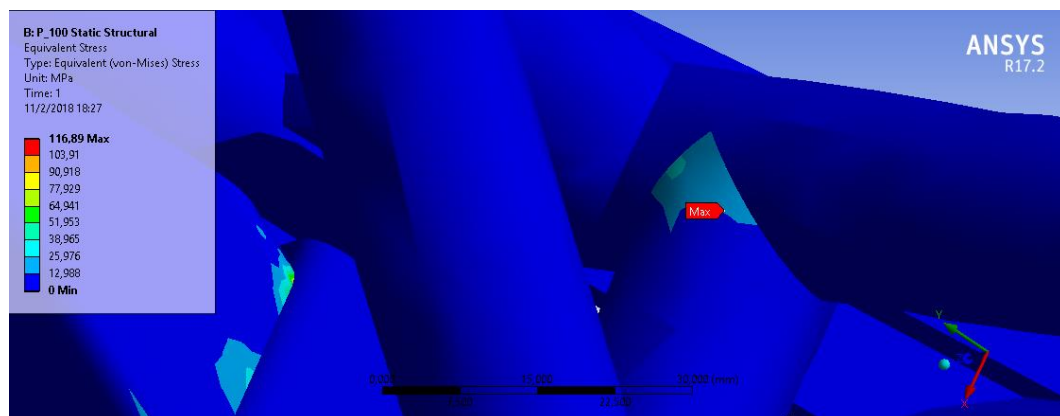
DEFORMACIONES



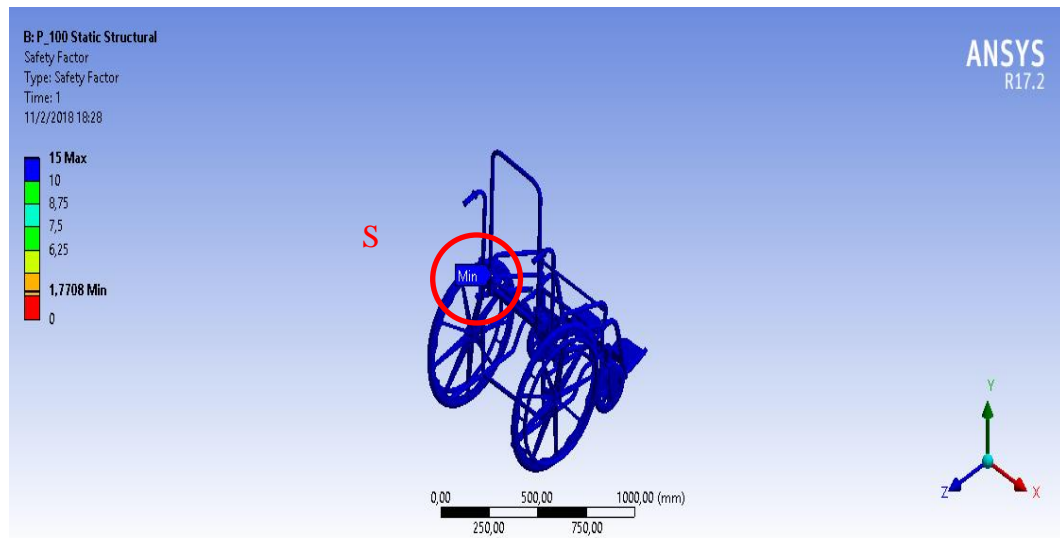
ESFUERZOS (VON-MISES)



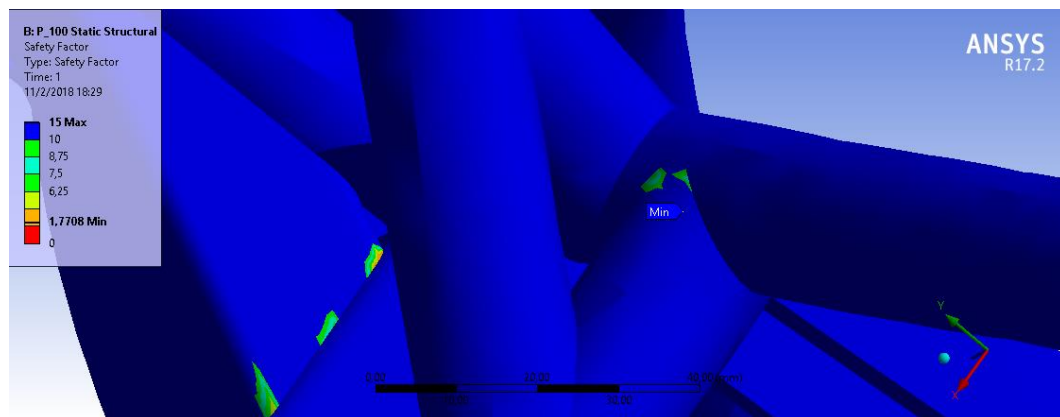
Detalle R



FACTOR DE SEGURIDAD



Detalle S



Carga mínima:	0 N	Carga Máxima:	1.568 N
Esfuerzo Eq. Máximo	116,89 MPa	Esfuerzo Eq. Mínimo	0 MPa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación última:	1,1781mm
Factor de seguridad Mínimo:	1,7708	Factor de seguridad Máximo:	15

VALIDACIÓN DE RESULTADOS:

Para los 100mm de desplazamiento del actuador lineal en el ensayo dinámico (Tabla No. 6.19), muestran los valores de: una deformación máxima de 1,7708mm actuante en la viga transversal del espaldar, válido para el tipo de perfil utilizado, un esfuerzo equivalente máximo de 116,89MPa, por debajo de los 142,6MPa, al aplicar la Ec. 6.2. Los valores están determinados con un factor de diseño de 1,5, en cambio en la simulación se observa un factor de seguridad de 1,7708, mayor al establecido inicialmente.

Elaborado por: El Investigador

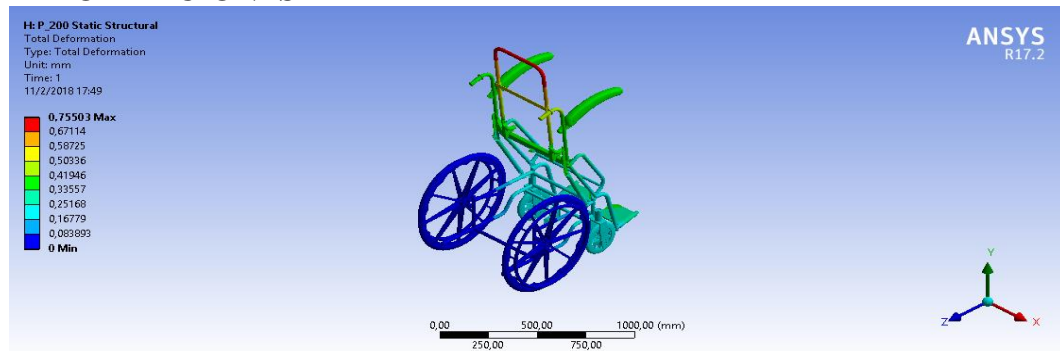
Resultados con desplazamiento de 200 mm

Tabla No. 6. 20 Ensayo dinámico con desplazamiento de 200 mm

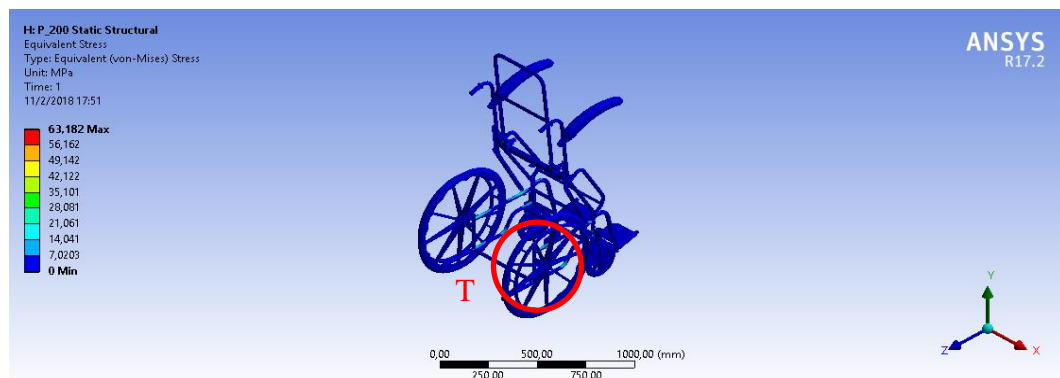
Fecha de ejecución	14/01/2018	Muestra de:	Estructura de la silla de ruedas; Material: ASTM A 513
Paquete Computacional:	ANSYS 17.2 Professional NLS; ANSYS LS-DYNA HPC-8.	Realizado por:	Ing. Víctor Espín.
		Revisado por:	Ing. Thalía San Antonio PhD
Skewness Max:	1	Skewness:	1,3057e-010
Cantidad de Nodos:	157.693	Cantidad de elementos:	78.338
Tiempo de procesamiento	645 segundos	Numero de procesadores	1 de 2,5 GHz

RESULTADOS DE ENSAYO

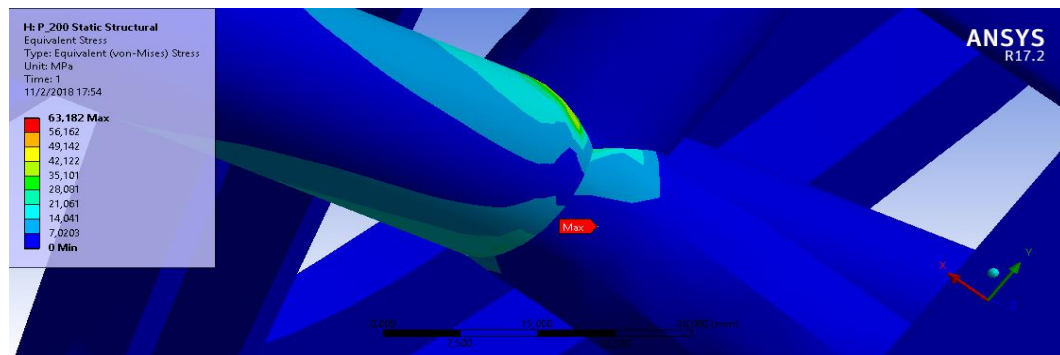
DEFORMACIONES



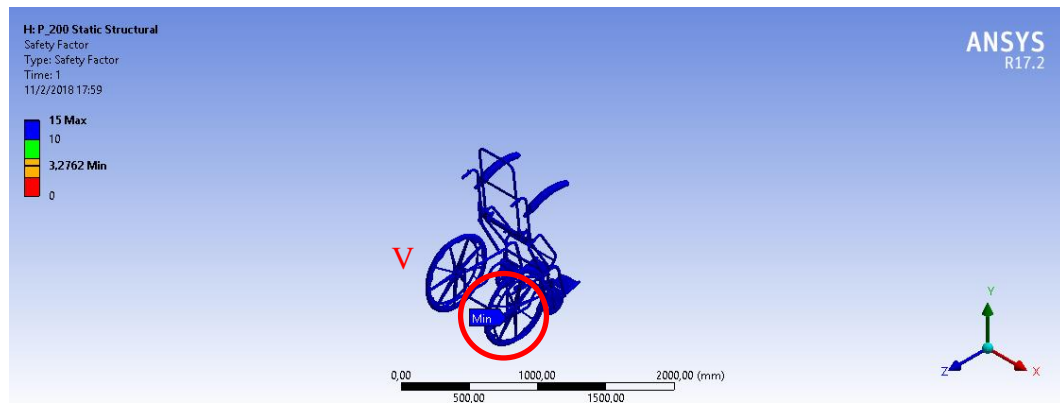
ESFUERZOS (VON- MISES)



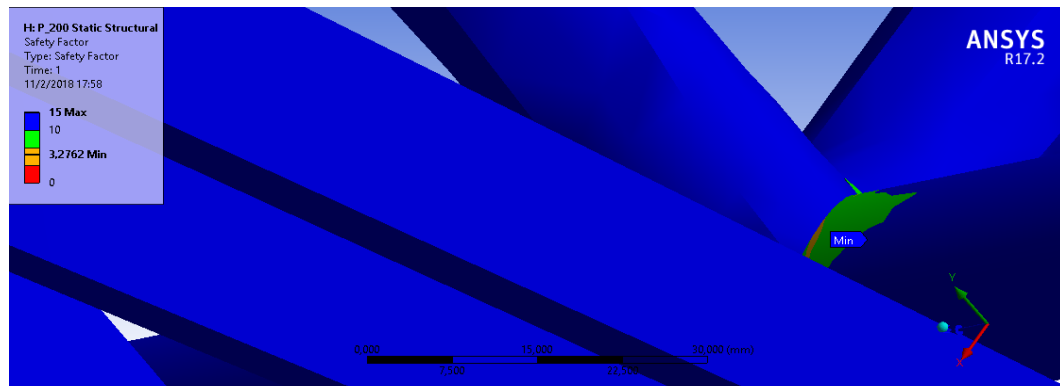
Detalle T



FACTOR DE SEGURIDAD



Detalle V



Carga mínima:	0 N	Carga Máxima:	1.568 N
Esfuerzo Eq. Máximo	63,182 MPa	Esfuerzo Eq. Mín.	0 MPa
Deformación mínima:	0 mm	Deformación último:	0,75503mm
Factor de seguridad Mín:	3,2762	Fact. de seguridad Máx:	15

VALIDACIÓN DE RESULTADOS:

El desplazamiento de 200mm del actuador (Tabla No. 6.20), se obtiene una deformación máxima de 0,755mm, un esfuerzo equivalente máximo de 63,182MPa, por debajo de los 142,6MPa de acuerdo al cálculo teórico del esfuerzo de Von Mises, al aplicar la Ec. 6.2. Se debe mencionar que los valores están determinados con un factor de diseño de 1,5, en cambio en la simulación se observa un factor de seguridad de 3,2762 muy por encima de los valores teóricos establecidos anteriormente.

Elaborado por: El Investigador

6.11. Construcción del prototipo

A partir de los cálculos realizados en este capítulo, basados en catálogos y especificaciones de materiales y elementos, se procede a la fabricación y compra de los mismos. Cabe indicar que algunos de los materiales y dimensiones especificados en el diseño no se encuentran en el mercado lo que fue necesario realizar cambios durante el proceso de fabricación y montaje.

A continuación, en la figura No. 6.46, se muestra el diagrama de flujo en el proceso de fabricación de cada de los sistemas que conforman la silla y los cambios realizados.

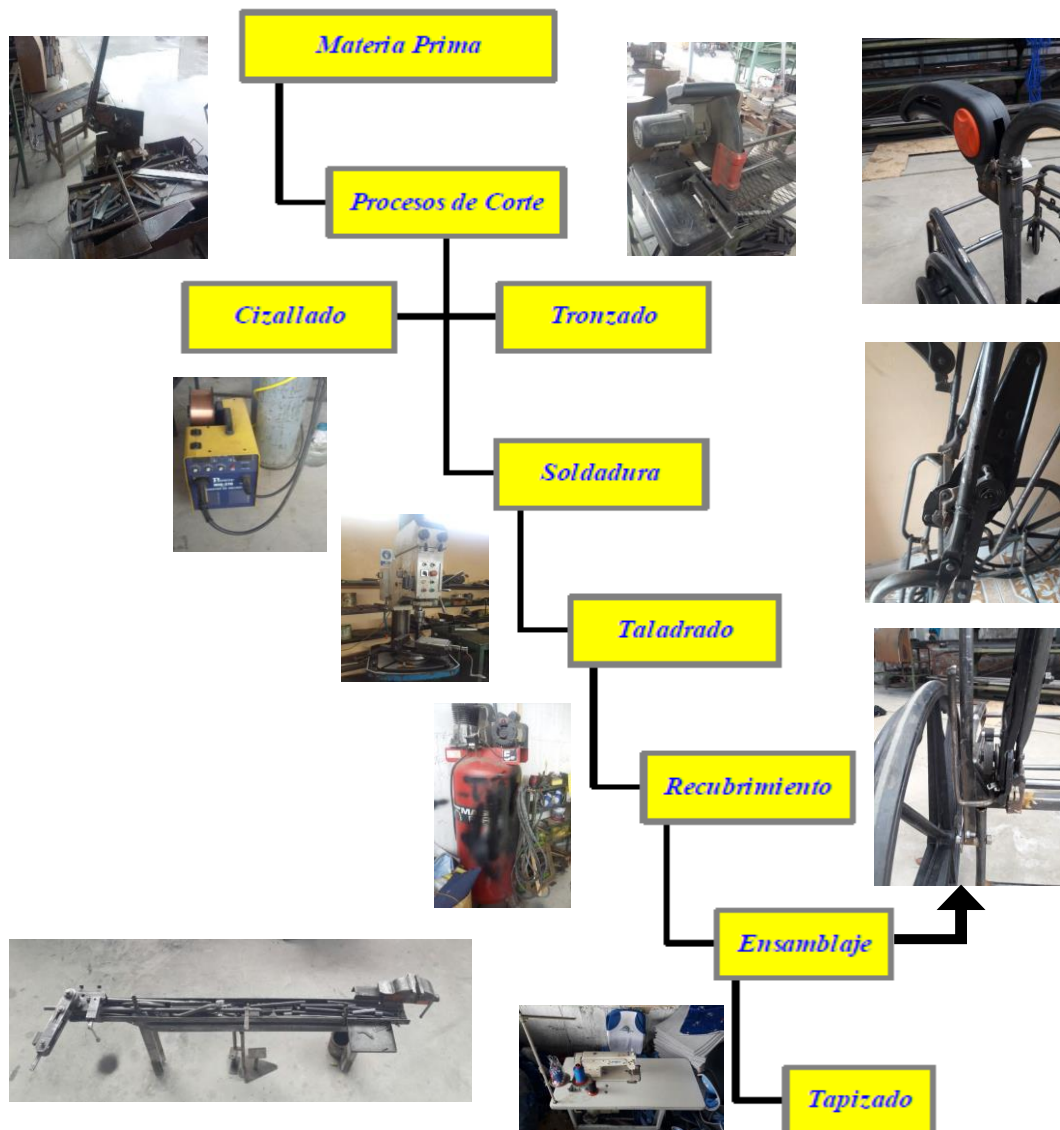


Figura No. 6. 46 Diagrama de flujo del proceso de construcción del prototipo
Elaborado por: El Investigador

6.11.1 Materiales elegidos para los Componentes

Finalmente se tiene que la materia prima escogida para la elaboración de cada uno de los siguientes componentes que se producirán se indica en la Tabla No. 6.21:

Tabla No. 6. 21 Materiales elegidos para los diferentes componentes

Componente	Material	Características
Estructura de la silla de ruedas	Acero ASTM A513 Diámetro 3/4" Espesor 1,5mm	Esfuerzo de fluencia 46Kpsi Densidad 7,9g/cm ³
Tapicería	Nylon Corduroy	Alta resistencia Permeable
Recubrimiento	Pintura	Agradables colores Económico Fácil aplicación

Elaborado por: El Investigador

Para el segundo grupo de los invariables (frenos, tejido del asiento, piezas de sujeción de las ruedas traseras, reposapiés), los cuales son los diferentes componentes en el que en sus procesos de fabricación no requerirán de un estudio para la selección del material, se describen en la Tabla No. 6.22:

Tabla No. 6. 22 Materiales para los componentes invariables







Componente	Material	Características
Tejido del asiento	Polipropileno	Módulo de elasticidad 1400 Mpa Resistencia a la tensión 35 Mpa Elongación de 10% Gravedad específica 0,90 Temperatura de fusión 349°F
Frenos	Acero comercial ASTM A36	Pletinas de 1" x 1/8" Módulo de elasticidad 210Mpa Límite de fluencia 235 Mpa Densidad 7,9 g/cm ³
Pieza de Sujeción de las ruedas traseras	Pintura	Agradables colores Económico Fácil aplicación
Reposapiés y apoyabrazos	2 materiales: Polipropileno Acero ASTM A513	Polipropileno Módulo de elasticidad 1400 Mpa Resistencia a la tensión 35 Mpa Elongación de 10% Gravedad específica 0.90 Temperatura de fusión 349°F Acero ASTM A513 Esfuerzo de fluencia 46Kpsi Densidad 7,9g/cm ³

Elaborado por: El Investigador

6.11.2. Elaboración de la estructura de la silla de ruedas








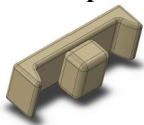

A continuación, en la Tabla No.6.23 y la Tabla No.6.24 se especifican cada uno de los procesos de producción involucrados con la construcción, tanto interna como externa, de algunos de los componentes de la estructura de la silla de ruedas.

Tabla No. 6. 23 Procesos y tiempos empleados para los diferentes componentes principales de la estructura

Pieza	Descripción	Procesos aplicados	Tiempo (min)	Observaciones
	Componente principal de la silla, elaborado de tubos de acero comercial	Corte Soldadura Pintura Secado Doblado	15 25 10 60 20	Se usan tubos circulares Dimensiones de cada componente de acuerdo al Plano del anexo I
	Esta compuesto por un tubo doblado y una pletina	Corte Doblado Soldadura	10 15 10	Se usan tubos circulares y pletina Dimensiones de cada componente de acuerdo al Plano del anexo I
	Componente principal de la silla, elaborado de tubos de acero comercial	Corte Soldadura Doblado	60 360 360	Se usan tubos circulares Dimensiones de cada componente de acuerdo al Plano del anexo I
	Componente de la silla, elaborado de un solo tubo de acero comercial	Corte Doblado	10 10	Se usan tubos circulares Dimensiones de cada componente de acuerdo al Plano del anexo I
	Componente de la silla, elaborado de un solo tubo de acero comercial	Corte Doblado	10 10	Se usan tubos circulares Dimensiones de cada componente de acuerdo al Plano del anexo I
	Consiste en unir todas las partes de la silla	Acople Atornillado Remachado Tejido Pintura Secado	120 30 15 60 120 120	Los tiempos dependen del secado de las piezas que van pintadas.
Tiempo Total en la fabricación y montaje de la estructura (T1)			1.450	

Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 6. 24 Procesos y tiempos empleados para los diferentes componentes invariables de la estructura

Pieza	Descripción	Procesos aplicados	Tiempo (min)	Observaciones
Frenos 	Elaborado con pletinas cortadas y dobladas	Troquelado Doblado Ensamblado	60 30 10	Dimensiones de cada componente
Base reposapiés 	Apoyo para los pies de polímeros	Ensamblaje	10	
Ruedas posteriores e impulsor 	Este componente viene desarmado, por lo que es necesario integrar cada una de sus partes	Recepción Control de Calidad Ensamblaje	10 10 20	El tiempo de recepción depende del distribuidor
Ruedas delanteras 	Este componente viene ensamblado	Recepción y Control de Calidad	10	
Apoyabrazos 	Este componente viene desarmado, por lo que es necesario integrar cada una de sus partes	Recepción Control de Calidad Ensamblaje	10 20 60	El tiempo de recepción depende del distribuidor
Cojín espaldar 	Componente del espaldar de la silla, elaborado de espuma inyectada y recubierta con tela	Recepción y Control de Calidad Tapizado (corte y costura)	10 10 480	
Cobertor asiento 	Componente que cubre el asiento de la silla, elaborado de tela	Corte Costura	20 30	
Sujetador de piernas 	Componente que sirve de sostén de las piernas en la parte de las rodillas, elaborado de tela y esponja	Corte esponja Tapizado (corte y costura)	60 480	
Cintas de apoyo pantorrillas y abdomen 	Sirve de sostén para la parte posterior de los pies y el abdomen	Corte Costura	30 120	
Montaje en estructura	Consiste en unir todas las partes de la silla	Montaje	380	Los tiempos dependen del secado
Tiempo fabricación componentes invariables (T2)			1.870	
TIEMPO TOTAL DE FABRICACIÓN DE COMPONENTES DE LA SILLA DE RUEDAS (T = T1 + T2)			3.320min = 55,33h	

Elaborado por: El Investigador

6.11.3. Equipos y maquinaria

Para producir las sillas de ruedas, se necesita una serie de máquinas y herramientas de acuerdo al detalle de la Tabla No.6.25 que en lo sucesivo se especifica. Es importante resaltar que en la selección de las diferentes maquinarias se tomaron varios factores en cuenta:

- Disponibilidad
- Tipo de acabado
- Geometría a desarrolla
- Economía

Tabla No. 6. 25 Equipos y maquinaria

Maquinarias	Fotografía	Función
Esmeril de pedestal Marca: STONY CRAFT, Modelo: HG-8A		Corte de tubos y pletinas, por acción de un disco abrasivo
Taladro de Columna con capacidad de 5/8", 1800 rpm.		Remoción de material por acción de brocas
Máquina para Soldadura MIG		Unión de piezas metálica por deposición de alambre metálico
Dobladora de tubos marca METALPRO Hidráulica de 1/2" a 2"		Doblez de tubo
Cizalla para lámina de 1 1/8" en acero A36, Marca: TENNMITH, Modelo: 52		Corte de lámina
Prensa de Banco		Mecanismo de sujeción
Máquina de coser OVER LOCK marca SINGER		Unión de tela de nylon
Troqueladora Marca Chicago		Estampado

Elaborado por: El Investigador

6.11.4. Talento humano necesario

De acuerdo con los cálculos realizados y las estimaciones hechas, para componer el equipo de técnicos y personas encargadas del procesamiento de la materia prima tenemos un total de ocho operarios que dividimos en las siguientes áreas:

- DOBLADOR (1 Cargo: el técnico): Será el responsable de realizar el proceso de doblado de los tubos para el marco y los accesorios, mediante el manejo de las máquinas para tal fin.
- SOLDADORES (1 cargos: un técnico): Tendrán a su cargo la responsabilidad de realizar todos los procesos de soldadura que amerite la fabricación del marco de la silla.
- TAPICERO (1 cargo): Se encargará de colocar el espaldar y el cobertor de asiento de las sillas.
- ASISTENTES DE ENSAMBLAJE (1 Cargo): Una vez doblados los tubos y soldados, el asistente de ensamblaje se encargará de la unión de las demás partes que componen la silla.

6.11.5. Evidencia fotográfica del proceso de fabricación del prototipo



Figura No. 6. 47 Evidencia fotográfica del proceso de fabricación del prototipo

Elaborado por: El Investigador

6.12. Análisis económico

Para el análisis de costos de la silla de ruedas con sistema de bipedestación, serán considerados los siguientes aspectos:

- Costos por materia prima
- Costos por mano de obra
- Costos de utilización de maquinaria

6.12.1. Costos por materia prima

En la tabla No. 6.26 ,y No.6.27, se detallan los costos incurridos en la adquisición de materiales para la estructura y el sistema de control electrónico respectivamente, siendo los mismos subproductos a ser transformados o procesados posteriormente, así mismo en la Tabla No.6.28 , de accesorios y tapicería se muestran diferentes elementos que en la mayor parte de ellos ya son subproductos que se los instalan directamente como las ruedas y las coderas , sin embargo también existen subproductos a ser procesados como es la tapicería

Tabla No. 6. 26 Costos por materia prima utilizada para la fabricación de la estructura metálica

ESTRUCTURA METÁLICA			
MATERIALES	MEDIDA(m)	COSTO POR PERFIL DE 6m	COSTO (\$)
Tubo redondo 3/4" * 1.5mm	20	\$ 18,56	\$ 61,87
Tubo cuadrado de 1 *2mm	0,5	\$ 24,81	\$ 2,07
Platina de 1/4 * 1 1/4	2	\$ 16,20	\$ 5,40
Ángulo 3/4 * 1/8	2	\$ 12,00	\$ 4,00
SUBTOTAL ESTRUCTURA			\$ 73,33

Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 6. 27 Costos por materia prima utilizada para la fabricación del sistema electrónico de control

MECANISMO ELECTRÓNICO			
materiales	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO TOTAL (\$)
Sistema de verticalización (actuador lineal, módulo, control manual)	1	\$ 360,00	\$ 360,00
Batería	2	\$ 30,00	\$ 60,00
Adaptación de módulo a 24 V y cargador	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Caja protectora	1	\$ 80,00	\$ 80,00
SUBTOTAL SISTEMA ELECTRICO			\$ 600,00

Elaborado por: El Investigador

Tabla No. 6. 28 Costos por materia prima utilizada por accesorios y tapicería

ACCESORIOS Y TAPICERÍA			
ELEMENTOS	CANTIDAD	COSTO UNITARIO	COSTO
Mecanismo de asiento de chofer	1	\$ 35,00	\$ 35,00
Mecanismo de codera	2	\$ 35,00	\$ 70,00
Moderador	2	\$ 7,00	\$ 14,00
Esponja de espaldar	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Piola para base	1	\$ 60,00	\$ 60,00
Tela café	1,5	\$ 20,00	\$ 30,00
Pisaderas	2	\$ 30,00	\$ 60,00
Remaches de golpe 5/16	20	\$ 0,05	\$ 1,00
Alambre de suelda	10	\$ 1,50	\$ 15,00
Juego ruedas	1	\$ 100,00	\$ 100,00
Correas para sujeción en pecho, cadera y rodillas	1	\$ 80,00	\$ 80,00
Pintura	1	\$ 30,00	\$ 30,00
SUBTOTAL ACCESORIOS			\$ 555,00

Elaborado por: El Investigador

6.12.2. Costos por mano de obra

Para establecer los costos por mano de obra que se muestran en la tabla No.6.29, se han establecido con el análisis realizado anteriormente en talento humano siendo necesario un técnico doblador, un soldador, un tapicero u un asistente de ensamblaje, para lo que también se estableció la cantidad de horas de dedicación a partir del detalle de procesos y tiempos de las tablas No. 6.23 y Tabla No. 6.24, de los cuales para cada cargo se ha tabulado los tiempos de dedicación de cada uno de los cargos y se han establecido valor/hora acorde a los mismos.

Tabla No. 6. 29 Costos por mano de obra

MANO DE OBRA			
CARGO	CANTIDAD H	COSTO USD/H	COSTO TOTAL (\$)
DOBLADOR	10,5	\$ 12,50	\$ 131,25
SOLDADOR	11,75	\$ 15,00	\$ 176,25
TAPICERO	20,33	\$ 12,50	\$ 254,17
ASISTENTES DE ENSAMBLAJE	12,75	\$ 9,38	\$ 119,53
SUBTOTAL MANO DE OBRA			\$ 681,20

Elaborado por: El Investigador

6.12.3. Costos por maquinaria y equipos

De igual forma para determinar el costo por utilización de maquinaria se han utilizado la información concerniente a los tiempos empleados en el análisis de procesos de las Tablas No. 6.23 y 6.24, al establecer un valor aproximado de costo / hora de utilización se tienen determinado los valores de los mismo en la Tabla No. 6.30

Tabla No. 6. 30 Costos por utilización de maquinarias y equipos

MAQUINARIA Y EQUIPOS			
CARGO	CANTIDAD H	COSTO USD/H	COSTO TOTAL (\$)
DOBLADORA/ TROQUEL	10,5	\$ 8,00	\$ 84,00
SOLDADORA	6,6	\$ 20,00	\$ 131,67
MAQUINA DE COSER	10,5	\$ 5,00	\$ 52,50
COMPRESOR	5,17	\$ 6,00	\$ 31,00
HERRAMIENTA MENOR	22,58	\$ 4,00	\$ 90,33
SUBTOTAL MAQUINARIAS Y EQUIPOS			\$ 389,50

Elaborado por: El Investigador

6.12.4 Costos de fabricación de la silla de ruedas con sistema de bipedestación

Finalmente, en la Tabla No. 6.31 se determinan los costos que conlleva la fabricación de la silla de ruedas con sistema de bipedestación, sin embargo, los costos por estudios previos no han sido considerados que estos normalmente se los llama costos hundidos y son asumidos por la empresa por ser un proyecto piloto.

Tabla No. 6. 31 Análisis de costos para la silla de ruedas con sistema de bipedestación

COSTOS TOTALES	
SUBTOTAL	COSTO TOTAL (\$)
ESTRUCTURA METALICA	\$ 73,33
MECANISMO ELECTRÓNICO	\$ 600,00
ACCESORIOS Y TAPICERÍA	\$ 555,00
MANO DE OBRA	\$ 681,20
MAQUINARIA Y EQUIPOS	\$ 389,50
SUBTOTAL COSTOS	\$ 2.299,03
IMPREVISTOS 10%	\$ 229,90
SUBTOTAL	\$ 2.528,94
IVA 12%	\$ 303,47
TOTAL COSTOS	\$ 2.832,41
UTILIDAD 30%	\$ 849,72
PRECIO DE VENTA	\$ 3.682,13

Elaborado por: El Investigador

6.13. Protocolo de pruebas

Concluida la construcción del prototipo, el protocolo de pruebas establecidas se desarrolló a 11 personas que brindaron la facilidad para aplicar y poner en funcionamiento la silla de ruedas con sistema de verticalización, además de prestarse para la medición de parámetros fisiológico y responder a algunas preguntas sobre la operatividad de la silla, de acuerdo al formato presentado en el ANEXO H.

6.13.1. Preguntas sobre la operatividad de la silla de ruedas

Básicamente se plantearon 5 preguntas referentes a: facilidad de transferencia de una silla a otra, necesidad de ajuste del respaldar y reposapiés, movilidad y sensación de seguridad en posición de pie; cuyos resultados se presentan en las tablas No. 6.32 a la No. 6.36 respectivamente.

Pregunta No. 1 Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra

Tabla No. 6. 32 Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra

RESPUESTA	SI	NO	TOTAL
f	5	6	11
%	45	55	100

Elaborado por: El Investigador

Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra

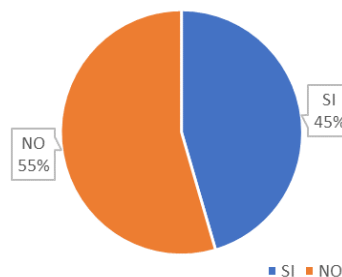


Figura No. 6. 48 Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra

Elaborado por: El Investigador

Análisis e Interpretación

El 55% de los usuarios que utilizaron la silla de ruedas no necesitan asistencia para la transferencia mientras el 45% si lo requieren. De acuerdo a los resultados presentados en la tabla No. 6.32 y la figura No. 6.48, la mayor parte de los

usuarios se le facilita la transferencia ya que el reposabrazos puede moverse y rotar, además de la altura mínima del asiento con la que fue diseñada.

Pregunta No. 2 Necesita ajustarse la reclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso

Tabla No. 6. 33 Necesita ajustarse la reclinación del espaldar

RESPUESTA	SI	NO	TOTAL
f	4	7	11
%	36	64	100

Elaborado por: El Investigador

Necesita ajustarse la reclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso

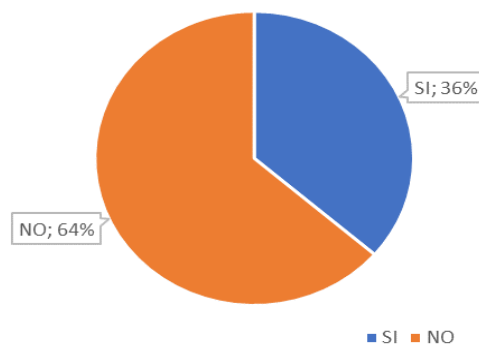


Figura No. 6. 49 Necesita ajustarse la reclinación del espaldar

Elaborado por: El Investigador

Análisis e Interpretación

En la tabla No. 6.33 y la figura No. 6.49, presenta los resultados de la necesidad de reclinación del espaldar para lo que el 64% de los usuarios No necesitan reclinar el espaldar, mientras que el 36 si lo necesitan. La utilidad que tiene la reclinación fue principalmente planteada en la encuesta del método Kano con el propósito de que la persona descansa, sin embargo se ha presentado como un parámetro que ha permitido ajustar de acuerdo a la lesión de la persona.

Pregunta No. 3 Necesita ajustar la altura del reposapiés

Tabla No. 6. 34 Ajuste de la altura del reposapiés

RESPUESTA	SI	NO	TOTAL
f	4	7	11
%	36	64	100

Elaborado por: El Investigador



Figura No. 6. 50 Ajuste de la altura del reposapiés
Elaborado por: El Investigador

Análisis e Interpretación

Un porcentaje del 64%, no necesita ajusta el reposapiés, mientras el 36% si lo necesita según lo presentado en la tabla No. 6.34 y la figura No. 6.50. La altura estándar para lo que se hizo las pruebas fue de acuerdo al estudio antropométrico que, en gran porcentaje, pero también existen personas que no se ajustaron a los percentiles propuestos y fue necesario ajustar la altura.

Pregunta No. 4 Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento

Tabla No. 6. 35 Fácil Maniobrabilidad de la silla

RESPUESTA	SI	NO	TOTAL
F	6	5	11
%	55	45	100

Elaborado por: El Investigador

Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento

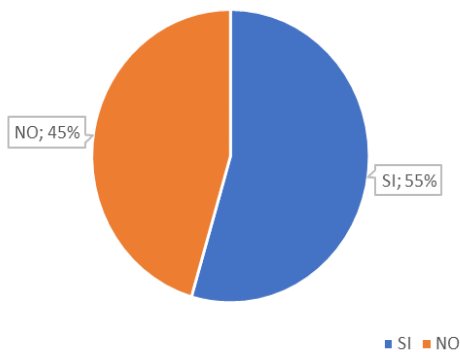


Figura No. 6. 51 Fácil Maniobrabilidad de la silla
Elaborado por: El Investigador

Análisis e Interpretación

En la maniobrabilidad de la silla se presenta que el 55% considera fácil y el 45% le dificulta de acuerdo a lo mostrado en la tabla No. 6.35 y la figura No. 6.51. En la maniobrabilidad está considerados varios aspectos como el desplazamiento y la interacción con el mando, que en este caso la mayor parte está conforme con el diseño de la estructura y el mando, pero además existe un porcentaje menor en que solicita otros requerimientos de la silla de ruedas como permitir el desplazamiento en posición de pie.

Pregunta No.5 Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie

Tabla No. 6. 36 Movilidad y sensación de seguridad

RESPUESTA	SI	NO	TOTAL
f	8	3	11
%	73	27	100

Elaborado por: El Investigador

Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie

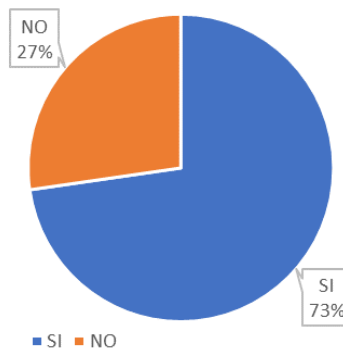


Figura No. 6. 52 Movilidad y sensación de seguridad

Elaborado por: El Investigador

Análisis e Interpretación

El 73% de los usuarios que participaron en las pruebas consideran que SI en segura la silla de ruedas en posición vertical frente al 27% que sienten inseguridad en esa posición, de acuerdo a los resultados de la tabla No. 6.36 y la figura No. 6.52. La mayor parte de los participantes, utilizaron dos bandas de sujeción: las rodillas y la cintura, y en esta situación consideran segura la silla frente al volteo, pero personas con una mayor lesión en su columna necesitaron la utilización de la tercera banda pectoral que mejora la sensación de seguridad.

6.13.2. Condiciones fisiológicas de las personas.

La evaluación de las condiciones fisiológicas de las personas permitirá valorar el gasto de energía que un usuario de la silla de ruedas mantiene durante varios períodos. La rehabilitación cardíaca emplea como rutina los requerimientos metabólicos de potencia para evaluar el progreso y proporcionar una guía sobre las actividades seguras (Diaz & Rivera Gonzalez, 2.004).

Las tablas No. 6.37 a la No. 6.40, muestran la saturación de oxígeno (SO), el ritmo cardiaco (RC), la presión sanguínea diastólica (PD) y sistólica (PS), que son un referente para evaluar el comportamiento fisiológico de la persona al verticalizar.

Saturación de Oxígeno SO

Tabla No. 6. 37 Saturación de Oxígeno

Paciente No.	SO % sentado	SO % de pie
1	85	88
2	85	86
3	89	90
4	95	92
5	93	93
6	87	91
7	90	88
8	93	95
9	94	94
10	94	91
11	94	95



Figura No. 6. 53 Consumo de Oxígeno

Elaborado por: El Investigador

La tabla No.6.37 y la figura No.6.53 muestran los valores de saturación de oxígeno que es la medida de la cantidad de oxígeno disponible en la sangre, de los 11 pacientes que fueron sometidos a las pruebas de funcionamiento en posición sentado y en posición de pie, que de acuerdo a los resultados la mayoría aumentan su valor, es decir que el corazón bombea más sangre. Los niveles de saturación óptimos garantizan que las células del cuerpo reciban la cantidad adecuada de oxígeno. Además, este incremento es posible porque la mayor parte de ellos vuelven a esa posición después de 8 a 12 años según la entrevista desarrollada.

Ritmo cardiaco RC

Tabla No. 6. 38 Ritmo cardiaco

Paciente No.	RC PUL/MIN Sentado	RC PUL/MIN De pie
1	106	104
2	64	65
3	101	108
4	73	76
5	83	88
6	99	96
7	56	67
8	64	65
9	69	75
10	84	91
11	67	66

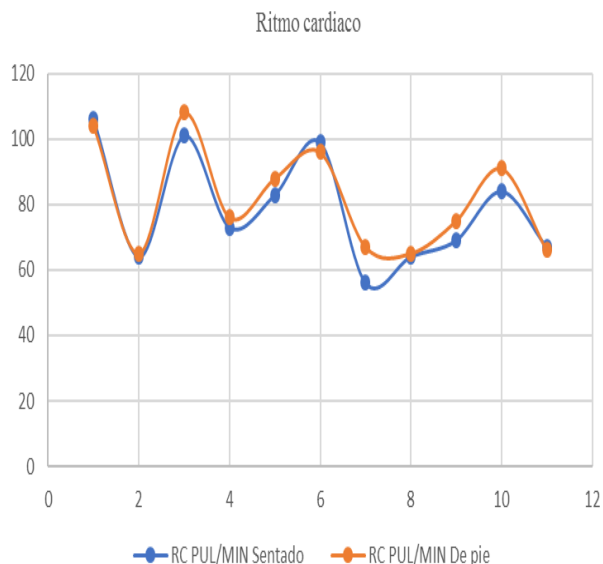


Figura No. 6. 54 Ritmo cardiaco

Elaborado por: El Investigador

De la misma manera en la tabla No. 6.38 y la figura No.6.54, se presentan los valores y la gráfica del ritmo cardiaco en las dos posiciones, se observa un leve incremento en el mismo, un corazón normal latea un ritmo entre 60 y 100 veces por minuto, los cambios del ritmo cardiaco dependen del tipo de actividad, la dieta, los medicamentos y la edad son normales y comunes, sin embargo la principal causa en este caso es la bipedestación del paciente.

Presión Diastólica y sistólica

Tabla No. 6. 39 Presión Diastólica y sistólica

Paciente No.	PS mm/Hg Sentado	PD mm/Hg Sentado	PS mm/Hg De pie	PD mm/Hg De pie
1	119	82	115	78
2	125	75	123	78
3	125	74	130	85
4	163	96	161	79
5	122	83	121	78
6	144	84	126	73
7	145	91	136	88
8	143	84	126	87
9	159	85	131	61
10	124	78	140	99
11	123	83	125	85

Elaborado por: El Investigador

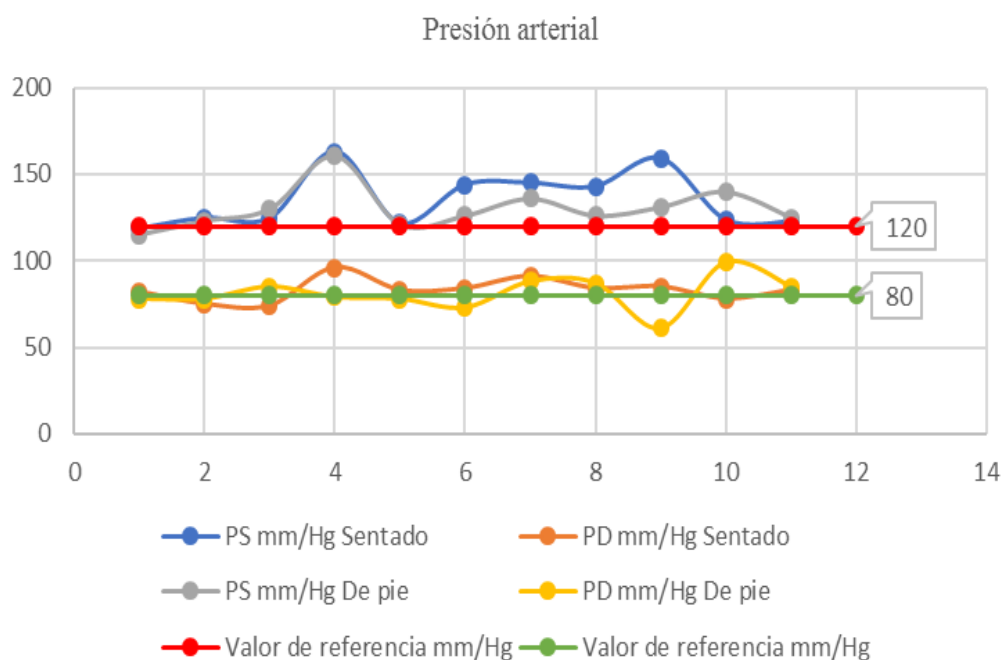


Figura No. 6. 55 Tensión o Presión Diastólica y sistólica
Elaborado por: El Investigador

Finalmente, para las condiciones fisiológicas se ha evaluado la tensión arterial, que de acuerdo a los valores de la tabla No. 6.39 y de la figura No.6.55, se observa una disminución de la presión en la posición de pie. Lo recomendable es tener una presión sistólica que no supere los 120 mm y la diastólica siempre por debajo de 90 mm. Por tanto, una tensión arterial óptima sería la que se encontrara por debajo de 120 mm y por debajo de 80mm.

6.13.3. Parámetros de funcionamiento

Los parámetros de funcionamiento que fueron evaluados durante las pruebas a las 11 personas, básicamente se centraron en los tiempos de verticalización necesarios que se tomaban cada uno ellos para pasar de la posición sedente a la de pie y luego para volver a la posición sentado, para lo que se les facilitó el mando de accionamiento del actuador, siendo los tiempos empleados los que se presentan en la tabla No. 6.40 y la Figura No. 6.56. Además, a los usuarios en la posición de pie, se les pidió que se reclinan hacia el frente, previamente estuvieron sujetos en dos puntos, en el tórax y en las rodillas, que de acuerdo a la misma tabla y figura se muestran los ángulos de inclinación máximos que cada usuario podrían alcanzar.

Tabla No. 6. 40 Tiempos de ascenso y descenso, ángulo de reclinación

No.	TIEMPO DE ASCENSO [s]	TIEMPO DE DESCENSO [s]	ÁNGULO DE INCLINACIÓN [°]
1	55,6	47,8	15
2	55,1	50	18
3	47,4	43,6	20
4	55,7	52,5	10
5	54,6	49,8	20
6	58,7	56	12
7	55,2	42,9	20
8	58,2	54,1	15
9	56,3	56,7	8
10	58,7	54,3	5
11	51,7	49,6	7

Elaborado por: El Investigador

Tiempo de ascenso y descenso, ángulo de reclinación del usuario

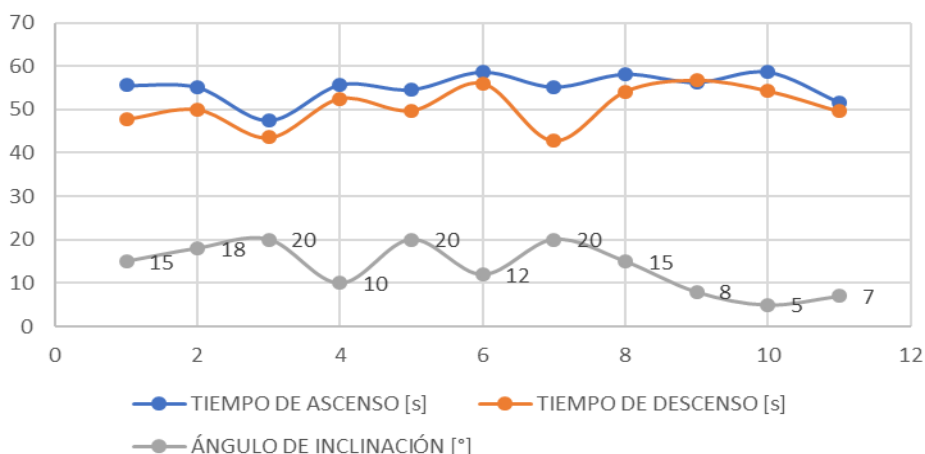


Figura No. 6. 56 Tiempos de ascenso y descenso, ángulo de reclinación

Elaborado por: El Investigador

Se observa que el tiempo de ascenso es mayor que el tiempo de descenso, lo que tienen un sentido lógico porque en el ascenso el peso de la persona y de la silla se opone al desplazamiento del pistón del actuador, mientras que el descenso los pesos están a favor del desplazamiento disminuyendo en sus tiempos. También en la figura se observa el ángulo de reclinación máximo, alcanzándose un valor de 20° que depende además del grado de lesión de la persona. Sin embargo, en la reclinación máxima de 20° no se ha presentado posible volteo de la silla de ruedas.

6.14. Conclusiones y recomendaciones de la propuesta

6.14.1 Conclusiones

- Se ha diseñado un prototipo de silla de ruedas con sistema de bipedestación, con tubo redondo, para la mayor parte de la estructura, que fácilmente se lo adquiere por proveedores locales, también los demás elementos fueron diseñados y seleccionados en base a los requerimientos de los usuarios conjuntamente con una evaluación de alternativas de diferentes posibilidades que permitan abaratar los costos; siempre ajustándose al estudio de las medidas antropométricas del grupo evaluado.
- El diseño de la estructura y la validación de los valores generados por el método de elementos Finitos (FEM), los cuales arrojaron resultados globales de la estructura en cuanto a su centro de gravedad ubicado en las coordenadas de máxima estabilidad; en el ensayo o simulación estática para las deformaciones mínima permisible ubicada viga transversal superior y esfuerzo equivalente máximo por debajo del teórico calculado, con lo que presenta un factor de seguridad mínimo superior al permisible en toda la estructura analizada, constituyendo parámetros que se encuentran dentro de los valores correctos de diseño.
- Para el ensayo dinámico, igual que al ensayo estático, se establecen valores de seguridad confiables, así como de deformación y de esfuerzo equivalente máximo, obtenidos a partir de un análisis global de toda la estructura, sin embargo, que existen zonas localizadas en la estructura inferior donde presenta los puntos críticos aceptables.
- En la construcción del prototipo se desarrollaron diferentes procesos de mecanizado que, de acuerdo al tiempo invertido, ha permitido establecer el precio de venta menor al que se podría encontrar en el mercado local de una silla con similares características.
- El correcto funcionamiento de la silla de ruedas con sistema de verticalización, se estableció el protocolo de pruebas con 11 personas con discapacidad de miembros inferiores, las cuales contemplaron la medición de

parámetros fisiológico antes y después de la verticalización, que de acuerdo a los resultados han mejorado en todos ellos en la posición de pie; también respondieron a algunas preguntas sobre la operatividad de la silla y sensación de seguridad lo que muestra un resultado a favor de la configuración de la estructura por ser de fácil manipulación por parte de la mayoría de usuarios.

- Finalmente, la velocidad de verticalización fue la adecuada de acuerdo al testimonio de los pacientes sin que exista complicaciones físicas o de salud de acuerdo a los parámetros fisiológicos obtenidos. También las pruebas mediante la reclinación del tronco de la persona en posición vertical, permite establecer la sensación de seguridad para los pacientes, sin que exista una posibilidad de volteo de la silla.

6.14.2. Recomendaciones

- Para el diseño de la silla de ruedas con sistema de bipedestación, se recomienda emplear otros tipos de materiales para su estructura como aluminio lo que permitirán optimizar el peso de la misma así como darle otras funciones adicionales como la transportación en posición vertical y el plegado de la silla para su fácil transportación en un automotor, sin embargo que puede incidir en su costo por tanto estaría enfocado a usuarios de otro nivel adquisitivo.
- La validación de los resultados, sean analizados por el método de elementos Finitos (FEM) para cada uno de los elementos, constituyéndose así un nuevo proyecto de investigación, en el que se podría parametrizar diferentes variables que se utilizaron en este trabajo.
- Para el ensayo dinámico que se realizó para las posiciones 0 mm, 100 mm y 200 mm de desplazamiento del motor lineal, se recomienda desarrollar un análisis más profundo en la última posición debido a que el factor de seguridad se encuentra cercano al límite de lo permisible.
- Una construcción en serie permitirá agilizar los procesos de construcción de la silla de rueda con sistema de bipedestación lo que repercute también en los costos obteniéndose así una reducción de precios, de tal forma que permita

acceder a su adquisición por la mayor parte de personas con discapacidad y que desean insertarse laboralmente.

- Tomar en consideración los pedidos de los usuarios que se sometieron al protocolo de pruebas, con el fin de mejorar la transferencia de una silla a otra, que sea plegable para transportarla en un vehículo y que permita la movilidad manual de pie.
- Los tiempos de verticalización debe mantenerse, ya que los mismos dependieron de la comodidad del usuario según la lesión que tenían, sin embargo, podría ser variable.

6.15. Bibliografía

A.D.A.M. (10 de Diciembre de 2.017). *A.D.A.M. Suite of Healthcare Products*.

Obtenido de <http://www.adam.com/>

AChEE, A. C. (2014). *Guía metodológica de Eficiencia Energética en Proyectos de Inversión*. Santiago: AChEE.

Aros Oñate, N., & Aros Beltran, M. (2.010). Equipamiento para la discapacidad: Propuesto de un bipedestador eléctrico infantil. *XIV International Congress on Project Engineering*,, 2473 - 2483.

Bioingeniería, T. (2.016). *Tekvobioingenieria.com*. Obtenido de <http://www.tekvobioingenieria.com/soluciones/equipos-para-estar-de-pie-y-caminar/ad/silla-de-ruedas-de-bipedestacion-full-electrica,42>

Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades. (2.015). *3 de Diciembre "Día Internacional de personas con discapacidad*. Quito: CONADIS.

Consejo Nacional de Igualdad de Discapacidades. (2.016). *Personas con discapacidad registradas; Tipos de discapacidad*. Quito: CONADIS.

Diaz , T., & Rivera Gonzalez, J. (2.004). *Silla de ruedas controlada automática para discapacitados. Diseño y construcción (TESIS)*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.

DIPAC PRODUCTOS DE ACERO. (2.016). Tubo Estructural Redondo.

- Flores, C. (2.001). *Ergonomía para el diseño*. México D.F.: Designio Teoría Práctica.
- Giraldo Gómez , M. (2.012). *Diseño de silla bipedestadora de baño para pacientes con discapacidad de miembro inferior (TESIS)*. Envigado: Universidad CES - Escuela de ingeniería de Antioquia.
- Guillon, B., & Laffont, I. (2.016). *Enciclopedia médica*. Obtenido de <http://es.slideshare.net/normaobaid/sillas-de-ruedas-28671370>
- Herrera L. (2.008). *Tutoría de la investigación científica*. Quito: Diemerino.
- INSHT. (1.999). NTP 323. *Determinación del metabolismo energético*. España.
- Jimenez Herrero, L. M. (2.007). *Enfoques metodológicos para el cálculo de la Huella de Carbono*. Madrid: Estudios Gráficos Europeos S. A.
- LCEV, L. (2.016). *Discapacidad Online*. Obtenido de <http://www.discapacidadonline.com/silla-ruedas-manual-bipedestacion-electrica.html>
- LINAK. (2.017). *Actuator L28*. Recuperado el 21 de Marzo de 2017, de <http://www.linak-latinamerica.com/productos/linear-actuators.aspx?product=LA28>
- MOBILITEC. (2.017). *MOBILITEC*. Obtenido de <https://www.loja.mobilitec.pt/movilidad-silla-de-ruedas-manuales-221-silla-manuales-verticales>
- Mondelo, P., Gregori, E., & Barrau, P. (1.999). *Ergonomía 1 Fundamentos*. Barcelona: Mutua Universal.
- Mott, R. (2.006). *Diseño de elementos de máquinas*. Mexico: PEARSON.
- MRL, M. d. (2.009). *Código de Trabajo*. Quito.
- Nisbett , J., & Budynas, R. (2.008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley* . México: McGrawHill.
- Saavedra , R., García, E., & San Antonio, T. (2.013). Diseño de un equipo de bipedestación. *INGENIERÍA UC*, 25-33.

- San Antonio, T., López Arboleda, J., Sánchez Rosero, C., & Urrutia , F. (2.015). Metodología para incentivar la inserción laboral de personas en sillas de ruedas: una propuesta para Ecuador. *Revista de la Universidad Industrial de Santander*, 215 – 2.017.
- Sánchez Sánchez, Y. (2.016). *lifeder.com*. Obtenido de <http://www.lifeder.com/tipos-discapacidad/>
- Schiazzano, R. (2.016). *campus.fi.uba.ar*. Obtenido de http://campus.fi.uba.ar/pluginfile.php/115077/mod_resource/content/1/PERDIDAS%20-%20RENDIMIENTOS%20Y%20FACTOR%20SERVICIO%20EN%20TRANSMISIONES%20MECANICAS%20-%20rev-2014.pdf
- SENPLADES, S. N. (2.013). *Plan Nacional de Desarrollo/ Plan Nacional del buen vivir 2013 - 2017*. Quito.
- Te Kura Waihangā. (10 de Febrero de 2.018). *Victoria University of Wellington* . Obtenido de School of Architecture: <https://www.victoria.ac.nz/architecture/centres/cbpr/projects/current-projects>
- TECNUM. (2.017). *Elevadores tipo Ascensor*. Obtenido de <http://www.tecnum.net/bipedestacion.htm>
- Tierno Alvite, J. (2.013). *Diseño de brazo mecánico eficiente mediante optimización multiobjetivo*. Madrid: Universidad Carlos III.
- Ulrich T. , K., & Eppinger D., E. (2.014). *Diseño y desarrollo de productos*. México: McGrawHill Education.
- Urrutia Urrutia, F. (2.016). *Características antropométricas de personas con discapacidad móvil inferior y su incidencia en el diseño de una silla de ruedas*. Ambato: Universidad Técnica de Ambato.
- VERTIC, A. (2.017). *ACTION VERTIC*. Obtenido de <http://geriayuda.com/producto/silla-manual-con-sistema-de-verticalizacion-action-vertic/>

ANEXOS

ANEXO A Ejemplo de construcción del cuestionario de Kano

Requerimiento 1. Tipo de ruedas

¿Cómo se siente si las ruedas son de rallos como las de las bicicletas?	Me agrada	
	Es lo esperado	
	Me da lo mismo	
	Puedo aceptarlo	
	Me desagrada	

¿Cómo se siente si las ruedas NO son de rallos como las de las bicicletas?	Me agrada	
	Es lo esperado	
	Me da lo mismo	
	Puedo aceptarlo	
	Me desagrada	



Por favor haga una evaluación de la importancia de este requerimiento

Importancia	Nada		Algo		Mas o menos		Muy	Muchísimo	
Ruedas con rayos	1	2	3	4	5	6	7	8	9

¿Cómo se siente si las ruedas son pequeñas y sólidas?	Me agrada	
	Es lo esperado	
	Me da lo mismo	
	Puedo aceptarlo	
	Me desagrada	

¿Cómo se siente si las ruedas NO son pequeñas y sólidas?	Me agrada	
	Es lo esperado	
	Me da lo mismo	
	Puedo aceptarlo	
	Me desagrada	



Por favor haga una evaluación de la importancia de este requerimiento

Importancia	Nada		Algo		Mas o menos		Muy	Muchísimo	
Ruedas con rayos	1	2	3	4	5	6	7	8	9

¿Cómo se siente si la silla tiene capacidad de colocarlo de pie?	Me agrada	
	Es lo esperado	
	Me da lo mismo	
	Puedo aceptarlo	
	Me desagrada	

¿Cómo se siente si la silla NO tiene capacidad de colocarlo de pie?	Me agrada	
	Es lo esperado	
	Me da lo mismo	
	Puedo aceptarlo	
	Me desagrada	

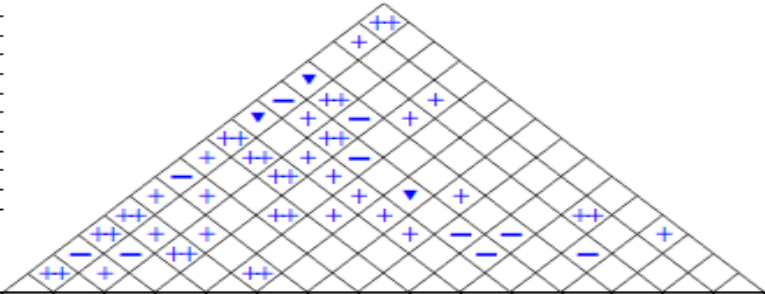


Por favor haga una evaluación de la importancia de este requerimiento

Importancia	Nada		Algo		Mas o menos		Muy	Muchísimo	
Ruedas con rayos	1	2	3	4	5	6	7	8	9

ANEXO B Matriz QFD

Title: _____
 Author: _____
 Date: _____
 Notes: _____



Legend

- ⊕ Strong Relationship 9
- Moderate Relationship 3
- △ Weak Relationship 1
- ⊕⊕ Strong Positive Correlation
- ⊕ Positive Correlation
- ⊖ Negative Correlation
- ⊖⊖ Strong Negative Correlation
- ▼ Objective To Minimize
- ▲ Objective To Maximize
- X Objective Is To Hit Target

Row #	Max Relationship Value In Row	Row Weight	Standard Weight	Quality Characteristics (a.k.a. "Customer Requirements" or "Whats")	Column #																		Competitive Analysis (D=Dom, S=Sub)					
					1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	Our Company	LR - LIFE STAND MOVLITEC	LR - LIFE STAND MOVLITEC	Innova New York	ANA 00 - TMR100 TECHUM	Easy Stand - TMR1001 TECHUM			
Direction of Improvement: Minimize (▼), Maximize (▲), or Target (X)					▲	▲	▼	X	X	▲	▲	▼	▼	▼	▲	▲	X	X										
1	9	10,5	8,0	1. Capacidad de bipedestación	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕										
2	9	10,4	7,9	14. Capacidad de regulación del respaldo.	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕										
3	9	10,4	7,9	20. Adaptabilidad a estatura y contextura.	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕										
4	3	10,1	7,7	13. Sistema de freno en 2 ruedas	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲										
5	9	10,1	7,7	15. Soporte de seguridad en abdomen y pebis.	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕										
6	9	10,0	7,6	17. Soporte de seguridad en las rodillas.	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕										
7	9	9,9	7,5	3. Sistema eléctrico de bipedestación.	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲										
8	3	9,6	7,3	16. Soporte de seguridad en las caderas	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲										
9	9	9,5	7,2	10. Silla con 4 ruedas	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕	⊕										
10	3	9,4	7,1	19. Soporte de seguridad en los brazos	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲	▲										
Target or Limit Value																												
Difficulty (9=Easy to Accomplish, 10=Extremely Difficult)					6	4	7	7	8	5	5	5	7	6	6	9	5	4	4	1								
Max Relationship Value In Column					9	3	3	9	9	9	9	9	9	9	9	9	3	3	9	3								
Weight / Importance					407,1	241,2	113,9	504,3	253,9	438,9	48,0	443,9	463,9	499,9	192,1	82,9	90,1	319,2	59,4									
Relative Weight					11,2	5,8	2,7	14,1	9,1	10,6	1,3	10,7	11,1	9,9	4,6	1,5	1,4	7,7	1,4									

Powered by QFD Online <http://www.QFDOnline.com>

ANEXO C. Ficha de levantamiento de información para el Método MAPFRE

ANÁLISIS ERGONÓMICO DEL TRABAJO		Fecha :		Analista:		N° 3					
Puesto de trabajo: Silla de Ruedas-Preparador de suelas				Departamento: Producción							
Tarea: Preparación de suelas de calzado.				Emplazamiento: Parque Ind. Fábrica de calzado.							
Máquinas, equipos: Herramientas manuales para la fabricación de calzado.											
Descripción de la tarea, fases de trabajo (1,2,3)											
Realiza el proceso de preparación de los diferentes tipos de suela para el posterior ensamble del calzado.											
Dibujo del puesto de trabajo y fotografía											
FACTORES DE RIESGO.		Valoración del analista			Valoración del trabajador			Comentarios			
1. Puesto de trabajo	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	El puesto tiene algún aspecto claramente mejorable que es necesario corregir.
2. Carga física estática postural.	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Realiza el trabajo todo el tiempo sentado debido a su discapacidad.
3. Levantamiento de cargas	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Levantamiento de carga de 2,16 kg. Entre 35 a 50 minutos por hora.
4. Posturas y movimientos	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Permanece sentado todo el tiempo.
5. Riesgo de accidente	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Existe gran posibilidad que ocurra un accidente debido a cierta inestabilidad de la silla de ruedas.
6. Turnos y horarios. Pausas en el tiempo de trabajo.	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Trabajo continuo a tiempo completo sin un horario fijo.
7. Contenido de trabajo. Carga mental.	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Trabajo repetitivo y con cierto grado de concentración.
8. Carga sensorial.	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Trabajos que implican atención periódica o intermitente de distintas variables, coincidiendo varias de ellas a la vez, de modo que la atención concentrada sobre la suma de todos los aspectos del trabajo es permanente.
9. Comunicación y relaciones sociales	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Existe comunicación verbal fluida y frecuente con todos los niveles de la empresa, con elevado nivel de privacidad si la situación lo requiere.
10. Autonomía y Toma de decisiones	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Trabajos planificados, donde a veces es preciso decidir sobre pequeños detalles relacionados con las tareas o el control del proceso.
11. Monotonía y Repetitividad del trabajo	1	2	3	4	5	++	+	.	-	--	Duración media del ciclo de trabajo superior a 30 minutos.
Recomendaciones: Propone que se desarrolle un proyecto para manejar vehículos solo con las manos. El hizo esta adaptación al suyo.											



ANEXO D. NTP 323



NTP 323: Determinación del metabolismo energético



Determination du métabolisme énergétique
Determination of metabolic rate

Las NTP son guías de buenas prácticas. Sus indicaciones no son obligatorias salvo que estén recogidas en una disposición normativa vigente. A efectos de valorar la pertinencia de las recomendaciones contenidas en una NTP concreta es conveniente tener en cuenta su fecha de edición.

Redactores:

Silvia Nogareda Cuixart
Lda. en Medicina y Cirugía
Especialista en Medicina de Empresa

Pablo Luna Mendaza
Ldo. en Ciencias Químicas

CENTRO NACIONAL DE CONDICIONES DE TRABAJO

El consumo metabólico sirve para evaluar la carga física y es así mismo una variable necesaria para valorar la agresión térmica.

El objetivo de esta NTP es presentar distintos métodos para determinar el gasto energético, basados en la Norma ISO 8996. Esta norma forma parte de una serie de normas internacionales que hacen referencia al ambiente térmico. En ella se describen los diferentes métodos de determinación del consumo energético indicando el nivel de precisión de cada uno de ellos.

Introducción

El metabolismo, que transforma la energía química de los alimentos en energía mecánica y en calor, mide el gasto energético muscular. Este gasto energético se expresa normalmente en unidades de energía y potencia: kilocalorías (kcal), joules (J), y vatios (w). La equivalencia entre las mismas es la siguiente:

- 1 kcal = 4,184 kJ
- 1 M = 0,239 kcal
- 1 kcal/h = 1,161 w
- 1 w = 0,861 kcal/h
- 1 kcal/h = 0,844 w/m²
- 1 w / m² = 1,553 kcal / hora (para una superficie corporal estándar de 1,8 m²).

Existen varios métodos para determinar el gasto energético, que se basan en la consulta de tablas o en la medida de algún parámetro fisiológico. En la tabla 1 se indican los que recoge la ISO 8996, clasificados en niveles según su precisión y dificultad.

Tabla 1: Métodos para determinar el gasto energético. ISO 8996

NIVEL	MÉTODO	PRECISIÓN	ESTUDIO DEL PUESTO DE TRABAJO
I	A. Clasificación en función del tipo de actividad	Informaciones imprecisas con riesgo de errores muy importantes	No necesario
	B. Clasificación en función de las profesiones		Información sobre el equipamiento técnico y la organización
II	A. Estimación del metabolismo a partir de los componentes de la actividad.	Riesgo elevado de errores	Estudio necesario de los tiempos
	B. Utilización de tablas de estimación por actividad tipo	Precisión: $\pm 15\%$	
	C. Utilización de la frecuencia cardíaca en condiciones determinadas		No necesario
III	Medida		Riesgo de errores en los límites de precisión de la medida y del estudio de los tiempos. Precisión: $\pm 5\%$

Estimación del consumo metabólico a través de tablas

La estimación del consumo metabólico a través de tablas implica aceptar unos valores estandarizados para distintos tipos de actividad, esfuerzo, movimiento, etc. y suponer, tanto que nuestra población se ajusta a la que sirvió de base para la confección de las tablas, como que las acciones generadoras de un gasto energético son, en nuestro caso, las mismas que las expresadas en las tablas. Estos dos factores constituyen las desviaciones más importantes respecto de la realidad y motivan que los métodos de estimación del consumo metabólico mediante tablas ofrezcan menor precisión que los basados en mediciones de parámetros fisiológicos. A cambio son mucho más fáciles de aplicar y en general son más utilizados.

Consumo metabólico según el tipo de actividad

Mediante este sistema se puede clasificar de forma rápida el consumo metabólico en reposo, ligero, moderado, pesado o muy pesado, en función del tipo de actividad desarrollada. El término numérico que se obtiene representa sólo el valor medio, dentro de un intervalo posible demasiado amplio. Desde un punto de vista cuantitativo el método permite establecer con cierta rapidez cual es el nivel aproximado de metabolismo. Por su simplicidad es un método bastante utilizado. En la tabla 2 se representa la mencionada clasificación por tipos de actividad.

Tabla 2: Clasificación del metabolismo por tipo de actividad

CLASE	W/m ²
Reposo	65
Metabolismo ligero	100
Metabolismo moderado	165
Metabolismo elevado	230
Metabolismo muy elevado	290

Ejemplos

Metabolismo ligero

Sentado con comodidad: trabajo manual ligero (escritura, picar a máquina, dibujo, costura, contabilidad); trabajo con manos y brazos (pequeños útiles de mesa, inspección, ensamblaje o clasificación de materiales ligeros); trabajo de brazos y piernas (conducir un vehículo en condiciones normales, maniobrar un interruptor con el pie o con un pedal).

De pie: taladradora (piezas pequeñas); fresadora (piezas pequeñas); bobinado, enrollado de pequeños revestimientos, mecanizado con útiles de baja potencia; marcha ocasional (velocidad hasta 3,5 km/h).

Metabolismo moderado

Trabajo mantenido de manos y brazos (claveteado, llenado); trabajo con brazos y piernas (maniobras sobre camiones, tractores o máquinas); trabajo de brazos y tronco (trabajo con martillo neumático, acoplamiento de vehículos, enyesado, manipulación intermitente de materiales moderadamente pesados, escarda, bina, recolección de frutos o de legumbres); empuje o tracción de carreteras ligeras o de carretillas; marcha a una velocidad de 3,5 a 5,5 km/hora; forjado.

Metabolismo elevado

Trabajo intenso con brazos y tronco; transporte de materiales pesados; trabajos de cava; trabajo con martillo; serrado; laminación acabadora o cincelado de madera dura; segar a mano; excavar; marcha a una velocidad de 5,5 a 7 km/hora.

Empuje o tracción de carretas o de carretillas muy cargadas, levantar las virutas de piezas moldeadas, colocación de bloques de hormigón.

Metabolismo muy elevado

Actividad muy intensa a marcha rápida cercana al máximo; trabajar con el hacha; acción de palear o de cavar intensamente; subir escaleras, una rampa o una escalera; andar rápidamente con pasos pequeños, correr, andar a una velocidad superior a 7 km/h.

EJEMPLO 1

Estimación del consumo metabólico medio aproximado del trabajo típico de oficina.

A través de la tabla 2 y teniendo en cuenta las actividades que suelen realizarse en una oficina, se obtiene el valor del consumo metabólico medio:

$M = 100 \text{ w/m}^2$, clasificable como metabolismo ligero.

Consumo metabólico según la profesión

Se obtiene el consumo metabólico a través de tablas (tabla 3) que lo relacionan con diferentes profesiones. Hay que tener en cuenta que en los valores que figuran en dicha tabla se incluye el metabolismo basal, que se define más adelante.

El progreso tecnológico hace que la actividad física que conllevan las distintas profesiones varíe sustancialmente con el tiempo, por lo que este método puede ser muy impreciso.

EJEMPLO 2

Estimación del consumo metabólico de un soldador.

Mediante la (tabla 3) se obtiene:

$M = 75 \div 125 \text{ w/m}^2$ (comparar con ejemplo 5)

Tabla 3: Clasificación del metabolismo según la profesión

Profesión	Metabolismo W/m ²	Profesión	Metabolismo W/m ²	Profesión	Metabolismo W/m ²
ARTESANOS		INDUSTRIA SIDERÚRGICA		IMPRESA	
Albañil	110 a 160	Obrero de altos hornos	170 a 220	Compositor manual	70 a 95
Carpintero	110 a 175	Obrero de horno eléctrico	125 a 145	Encuadernador	75 a 100
Vidriero	90 a 125	Moldeador a mano	140 a 240	AGRICULTURA	
Pinor	100 a 130	Moldeador a máquina	105 a 165	Jardínero	115 a 190
Panadero	110 a 140	Fundidor	140 a 240	Conductor de tractor	85 a 110
Canicero	105 a 140	FERRETERÍA Y CERRAJERÍA		CIRCULACIÓN	
Relojero	55 a 70	Herrero forjador	90 a 200	Conductor de coche	70 a 90
INDUSTRIA MINERA		Soldador	75 a 125	Conductor de autocar	75 a 125
Empujador de vagones	70 a 85	Tornero	75 a 125	Conductor de tranvía	80 a 115
Picador de hulla (espiralificaci3n base)	140 a 240	Fresador	80 a 140	Conductor de trolebús	80 a 125
Obrero de horno de coque	115 a 175	Mecánico de precisión	70 a 110	Conductor de grúa	65 a 145
				PROFESIONES DIVERSAS	
				Laborante	85 a 100
				Profesor	85 a 100
				Vendedora	100 a 120
				Secretaría	70 a 85

tronzado por dos operarios	205	TRABAJOS DOMÉSTICOS	
corte transversal		hacer la limpieza	100 a 200
tronzado por un operario	205	cocinar	80 a 135
tronzado por dos operarios	190	fregar platos, de plé	145
descortezado		lavar a mano y planchar	120 a 220
valor medio en verano	225	afeitarse, lavarse y vestirse	100

EJEMPLO 3

Estimación del consumo metabólico de un albañil que construye un tabique colocando ladrillos huecos de 4,2 Kg de peso.

A través de la tabla 4:

M = 140 w/m²

Consumo metabólico a partir de los componentes de la actividad

Mediante este tipo de tablas se dispone, por separado, de información sobre posturas, desplazamientos, etc., de forma que la suma del gasto energético que suponen esos componentes, que en conjunto integran la actividad, es el consumo metabólico de esa actividad. Es posiblemente el sistema más utilizado para determinar el consumo metabólico.

Los términos a sumar son los siguientes:

- **Metabolismo basal.** Es el consumo de energía de una persona acostada y en reposo. Representa el gasto energético necesario para mantener las funciones vegetativas (respiración, circulación, etc.). La tabla 5 muestra su valor en función del sexo y la edad. Puede tomarse como una buena aproximación, 44 w/ m² para los hombres y 41 w/m² para mujeres (corresponden aproximadamente al metabolismo basal de un hombre de 1,7 metros de altura 70 Kg de peso y 35 años de edad, y de una mujer de 1,6 metros de altura, 60 Kg de peso, y 35 años).

Tabla 5: Metabolismo basal en función de la edad y sexo

VARONES		MUJERES	
Años de edad	Wattios/m ²	Años de edad	Wattios/m ²
6	61,480	6	58,719
7	60,842	6,5	58,267
8	60,065	7	56,979
8,5	59,392	7,5	55,494
9	58,626	8	54,520
9,5	57,327	8,5	53,940
10	56,260	9-10	53,244
10,5	55,344	11	52,502
11	54,729	11,5	51,968
12	54,230	12	51,365
13-15	53,766	12,5	50,553
16	53,035	13	49,764
16,5	52,548	13,5	48,836
17	51,968	14	48,082
17,5	51,075	14,5	47,258
18	50,170	15	46,516
18,5	49,532	15,5	45,704
19	49,091	16	45,066
19,5	48,720	16,5	44,428
20-21	48,059	17	43,871
22-23	47,351	17,5	43,384

20-21	40,059	17	43,871
22-23	47,351	17,5	43,384
24-27	46,678	18-19	42,618
28-29	46,180	20-24	41,969
30-34	45,634	25-44	41,412
35-39	44,869	45-49	40,530
40-44	44,080	50-54	39,394
45-49	43,349	55-59	38,489
50-54	42,607	60-64	37,828
55-59	41,876	65-69	37,468
60-64	41,157		
65-69	40,368		

- **Componente postural.** Es el consumo de energía que tiene una persona en función de la postura que mantiene (de pie, sentado, etc.). La tabla 6 muestra los valores correspondientes.

Tabla 6: Metabolismo para la postura corporal. Valores excluyendo el metabolismo basal

Posición del cuerpo	Metabolismo (W/m ²)
Sentado	10
Arrodillado	20
Agachado	20
De pie	25
De pie inclinado	30

- **Componente del tipo de trabajo.** Es el gasto energético que se produce en función del tipo de trabajo (manual, con un brazo, con el tronco, etc.) y de la intensidad de éste (ligero, moderado, pesado, etc.) (Ver tabla 7).

Tabla 7: Metabolismo para distintos tipos de actividades. Valores excluyendo el metabolismo basal

Tipo de trabajo	Metabolismo (W/m ²)	
	Valor medio	Intervalo
Trabajo con las manos		
ligero	15	< 20
medio	30	20 - 35
intenso	40	> 35
Trabajo con un brazo		
ligero	35	< 45
medio	55	45 - 65
intenso	75	> 65
Trabajo con 2 brazos		
ligero	65	< 75
medio	85	75 - 95
intenso	105	> 95
Trabajo con el tronco		
ligero	125	< 155
medio	190	155 - 230
intenso	290	230 - 330
muy intenso	390	> 330

- **Componente de desplazamiento** Se refiere al consumo de energía que supone el hecho de desplazarse, horizontal o verticalmente a una determinada velocidad. El uso de la tabla 8, donde figuran estos datos, implica multiplicar el valor del consumo metabólico, por la velocidad de desplazamiento para obtener el gasto energético correspondiente al desplazamiento estudiado.

Tabla 8: Metabolismo del desplazamiento en función de la velocidad del mismo. Valores excluyendo el metabolismo basal

Tipo de trabajo	Metabolismo (W/m ²) (m/s)
Velocidad de desplazamiento en función de la distancia	
Andar 2 a 5 km/h	110
Andar en subida, 2 a 5 km/h	
Inclinación 5°	210
Inclinación 10°	360
Andar en bajada, 5 km/h	
Declinación 5°	60
Declinación 10°	50
Andar con una carga en la espalda, 4 km/h	
Carga de 10 kg	125
Carga de 30 kg	185
Carga de 50 kg	285
Velocidad de desplazamiento en función de la altura	
Subir una escalera	1725
Bajar una escalera	480
Subir una escalera de mano inclinada	
sin carga	1660
con carga de 10 kg.	1870
con carga de 50 kg.	3320
Subir una escalera de mano vertical	
sin carga	2030
con carga de 10 kg.	2335
Subir una escalera de mano vertical	
sin carga	2030
con carga de 10 kg.	2335
con carga de 50 kg.	4750

ANEXO E Coeficientes de energía incorporada a cada material

A.1 Embodied Energy Coefficients - Alphabetical.

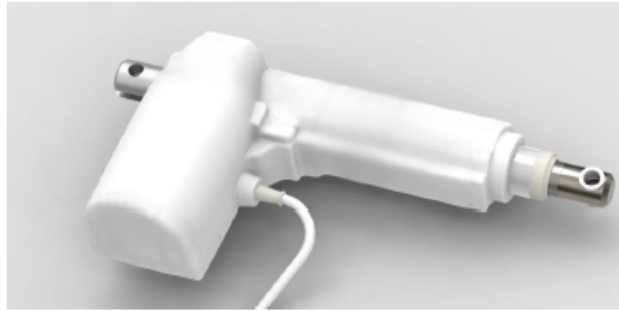
MATERIAL	MJ/kg	MJ/m3	MJ/m2
Aggregate, general	0.10	150	
virgin rock	0.04	63	
river	0.02	36	
Aluminium, virgin	191	515 700	
extruded	201	542 700	
extruded, anodised	227	612 900	
extruded, factory painted	218	588 600	
foil	204	550 800	
sheet	199	537 300	
Aluminium, recycled	8.1	21 870	
extruded	17.3	46 710	
extruded, anodised	42.9	115 830	
extruded, factory painted	34.3	92 610	
foil	20.1	54 270	
sheet	14.8	39 960	
asphalt (paving)	3.4	7 140	
bitumen	44.1	45 420	
brass	62.0	519 560	
Carpet	72.4		
felt underlay	18.6		
nylon	148		
polyester	53.7		
polyethytereptalate (PET)	107		
polypropylene	95.4		
wool	106		
Cement	7.8	15 210	
cement mortar	2.0	3 200	
fibre cement board	9.5	13 550	102/7.5mm
soil-cement	0.42	819	
Ceramic			
brick	2.5	5 170	
brick, glazed	7.2	14 760	
pipe	6.3		
tile	2.5	5 250	
Concrete			
block	0.94		
brick	0.97		
GRC	7.6	14 820	
paver	1.2		
pre-cast	2.0		
ready mix, 17.5 MPa	1.0	2 350	
30 MPa	1.3	3 180	
40 MPa	1.6	3 890	

MATERIAL	MJ/kg	MJ/m3	MJ/m2
roofing tile	0.81		
copper	70.6	631 160	
Earth, raw			
adobe block, straw stabilised	0.47	750	
adobe, bitumen stabilised	0.29		
adobe, cement stabilised	0.42		
rammed soil cement	0.80		
pressed block	0.42		
Fabric			
cotton	143		
polyester	53.7		
Glass			
float	15.9	40 060	240/6mm
toughened	26.2	66 020	396/6mm
laminated	16.3	41 080	246/6mm
tinted	14.9	375 450	
Insulation			
cellulose	3.3	112	
fibreglass	30.3	970	
polyester	53.7	430	
polystyrene	117	2 340	
wool (recycled)	14.6	139	
lead	35.1	398 030	
linoleum	116	150 930	337
Paint	90.4	118/l	6.5
solvent based	98.1	128/l	6.1
water based	88.5	115/l	7.4
Paper	36.4	33 670	
building	25.5		4.97
kraft	12.6		
recycled	23.4		
wall	36.4		
plaster, gypsum	4.5	6 460	
plaster board	6.1	5 890	33/9.5mm
Plastics			
ABS	111		
high density polyethelene (HDPE)	103	97 340	
low density polyethelene (LDPE)	103	91 800	
polyester	53.7	7 710	
polypropylene	64.0	57 600	
polystyrene, expanded	117	2 340	
polyurethane	74.0	44 400	
PVC	70.0	93 620	
Rubber			

MATERIAL	MJ/kg	MJ/m3	MJ/m2
natural latex	67.5	62 100	
synthetic	110		
sand	0.10	232	
Sealants and adhesives			
phenol formaldehyde	87.0		
urea formaldehyde	78.2		
Steel, recycled	10.1	37 210	
reinforcing, sections	8.9		
wire rod	12.5		
Steel, virgin, general	32.0	251 200	
galvanised	34.8	273 180	
imported, structural	35.0	274 570	
Stone, dimension			
local	0.79	1 890	
imported	6.8	1 890	
straw, baled	0.24	30.5	15.2
Timber, softwood			
air dried, roughsawn	0.3	165	
kiln dried, roughsawn	1.6	880	
air dried, dressed	1.16	638	
kiln dried, dressed	2.5	1 380	
mouldings, etc	3.1	1 710	
hardboard	24.2	13 310	
MDF	11.9	8 330	
glulam	4.6	2 530	
particle bd	8.0		
plywood	10.4		
shingles	9.0		
Timber, hardwood			
air dried, roughsawn	0.50	388	
kiln dried, roughsawn	2.0	1 550	
vinyl flooring	79.1	105 990	
Zinc	51.0	364 140	
galvanising, per kg steel	2.8		

ANEXO F Especificaciones del actuador marca LINAK modelo LA32

3-6 LA32



LA32 is a very quiet and powerful actuator designed for a variety of applications, such as those in furniture, care or rehabilitation fields; it is available with a wide range of options and safety protections.

Features :

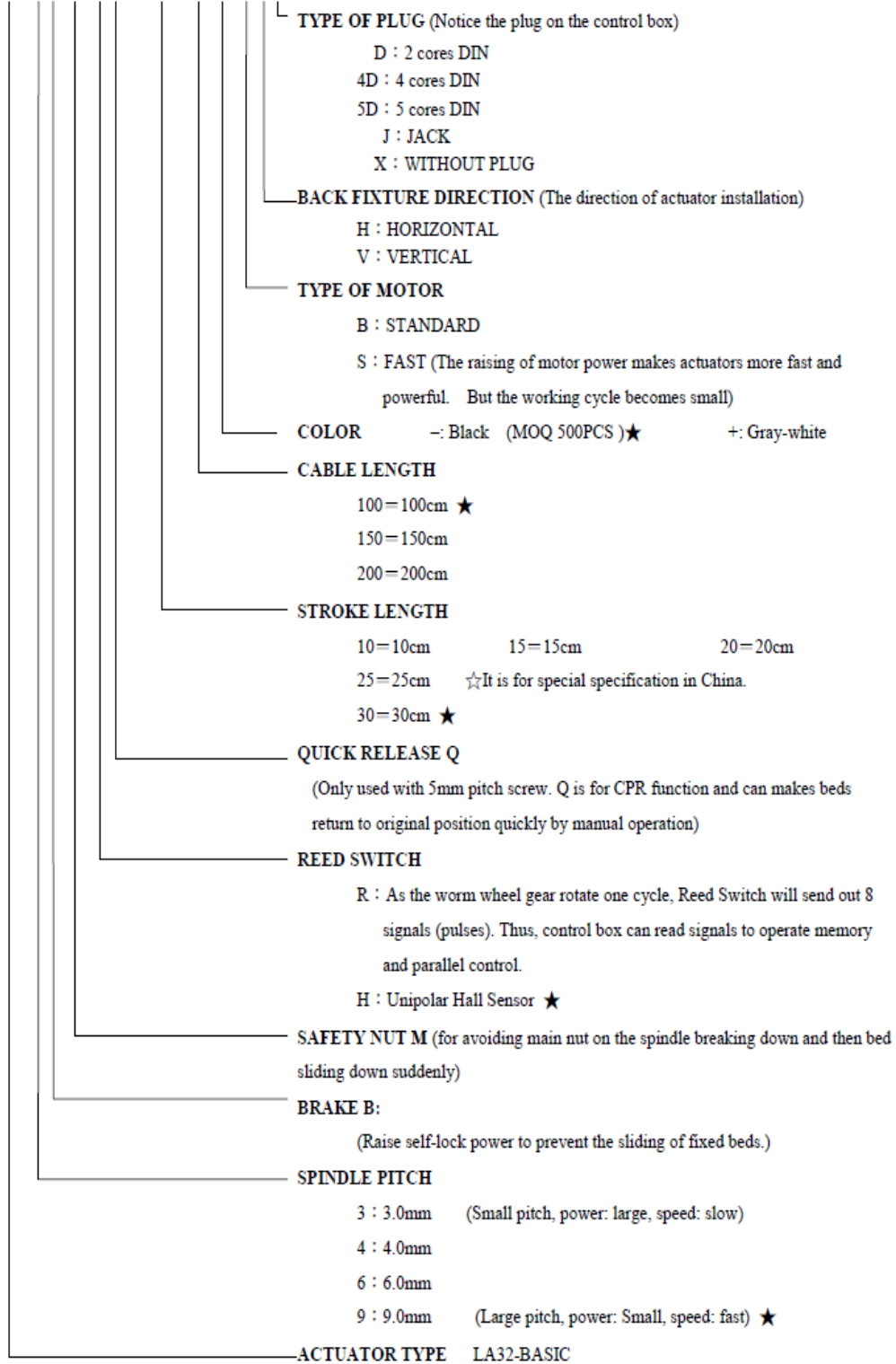
- 24V DC permanent magnet motor
- Thrust 1500N~6000N; Speed 3.0~16.7mm/s
- Built-in limited switches (not adjustable)
- High-strength plastic housing protects motor and gear
- Scratch-resistant and wear-resistant powder painted outer tube
- Strong wear and corrosion resistant stainless steel inner tube
- Elegant and compact design with small installation dimensions
- Steel piston rod eye
- Zinc alloy back fixture
- Duty cycle: Max. 10% or 2 min./ 18 min. in continuous use
- Ambient temperature: +5°C to +40°C
- Protection class: IP54
- Color: Grey-white

Options :

- LA32 can be fitted with a brake for increasing self-lock effect
- Safety nut
- Protection class: IP66 (not allowed being in wash tunnels)
- Reed-Switch
- Quick-Release
- Back extended sleeve fixture (For only Quick-Release function)
- 0.2/ 0.4m coiled cable with DIN or Jack plug
- Back fixture position 0° or 90°
- Steel groove piston rod eye
- Fast motor
- Color: Black (Min. order: 500pcs)
- Can install Hall Sensor function (Contact R & D department of LINKAN A/C first)

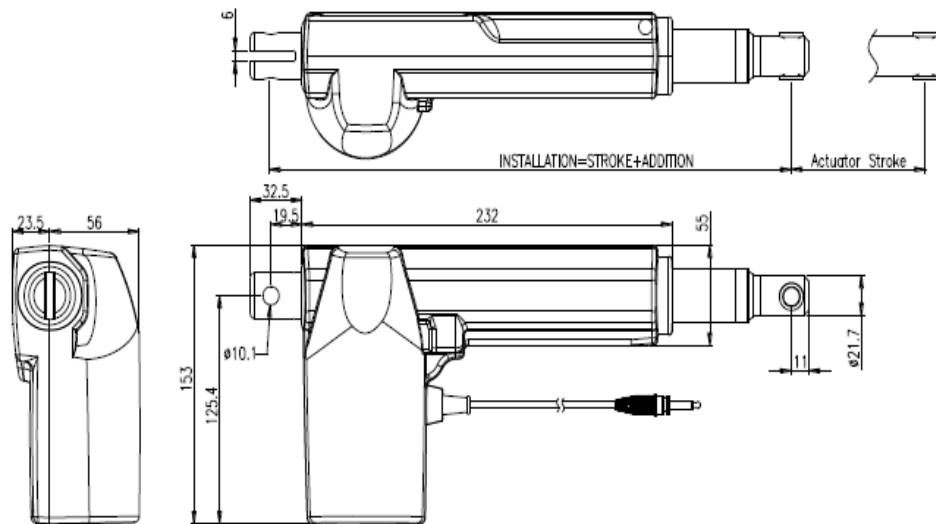
LA32 Ordering Example :

LA32. 4 B M R Q - 15 - 100 + B H D



The 「★」 signal is for special specification.

Dimensions :



LA32 Installation Dimension :

Actuator Stroke mm	100	150	200	250	300
Basic Installation Stroke mm	288	323	373	423	473
Stretch Stroke mm	388	473	573	673	773

LA32 Installation Dimension for Q function :

Actuator Stroke mm	100	150	200
Basic Installation Stroke mm	377	427	477
Stretch Stroke mm	477	577	677

Notice (Installation) :

- ◆ If the stroke of LA32 is less than 100mm, all basic installation dimension are 288mm
- ◆ When the load is over 4000N, the longest stroke of a actuator is 250mm
- ◆ For a actuator equipped with Q function: Basic installation dimension is Stroke + 277mm

Notice (for the installation of Q function)

- ◆ The effective stroke length for Quick Release is:
 - Standard stroke length minus 10mm
 - E.g. Actuator with quick release is equipped with 150mm stroke length. The effective stroke length for this type is 140mm
- ◆ When LA32 actuator equipped Quick Release function, Brake(B) has also to be equipped and the spindle need to be 6mm pitch. The needed released power of actuator is 35 kgs.
- ◆ LA32 is not suitable for the pulling device. Suggestion: Actuator is suitable for the load in pushing situations.
- ◆ Back extended sleeve fixture is suggested for Quick Release function

ANEXO G Especificaciones del tubo redondo ASTM A513 del catálogo de DIPAC

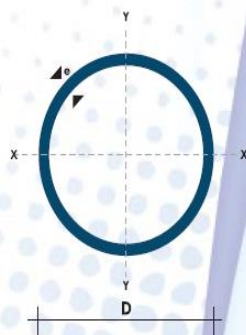


TUBO MECÁNICO REDONDO



Especificaciones Generales

Calidad	ASTM A-513
Recubrimiento	Negro o Galvanizado
Largo Normal	6.00 m
Otros Largos	Previa Consulta
Dimensiones	Desde 1/2" a 2 1/2"
Espesor	Desde 0.80 mm a 1.50 mm








NOMENCLATURA






- A=** Área de la selección transversal del tubo, cm²
- I=** Momento de inercia de la sección, cm⁴
- W=** Módulo resistente de la sección, cm³
- i=** Radio de giro de la sección, cm

Diámetro Exterior (D)	Espesor		Peso		Propiedades		
	Pulg	mm	e	P	A	I	W
1/2	12.70	0.95	1.86	0.35	0.06	0.09	0.41
		1.10	2.10	0.40	0.07	0.11	0.41
		1.50	2.82	0.53	0.08	0.13	0.39
5/8	15.88	0.95	2.28	0.44	0.12	0.15	0.51
		1.10	2.64	0.51	0.14	0.18	0.52
		1.50	3.54	0.68	0.18	0.22	0.51
3/4	19.05	0.95	2.70	0.54	0.22	0.23	0.64
		1.10	3.18	0.62	0.25	0.26	0.63
		1.50	4.20	0.83	0.32	0.34	0.62
7/8	22.22	0.95	3.18	0.63	0.36	0.32	0.75
		1.10	3.66	0.73	0.41	0.37	0.75
		1.50	4.92	0.98	0.53	0.47	0.74
1	25.40	0.95	3.60	0.73	0.55	0.43	0.87
		1.10	4.20	0.84	0.62	0.49	0.86
		1.50	5.64	1.13	0.81	0.64	0.85
1 1/4	31.75	0.95	4.50	0.92	1.09	0.69	1.18
		1.10	5.22	1.06	1.24	0.78	1.08
		1.50	7.08	1.43	1.63	1.03	1.07
1 1/2	38.10	0.95	5.40	1.11	1.91	1.00	1.31
		1.10	6.24	1.28	2.19	1.15	1.31
		1.50	8.46	1.72	2.89	1.52	1.30
1 3/4	44.45	0.95	6.24	1.30	3.07	1.38	1.54
		1.10	7.26	1.50	3.52	0.16	1.53
		1.50	9.84	2.02	4.67	2.10	1.52
1 7/8	47.63	0.95	6.78	1.40	3.80	1.60	1.65
		1.10	7.80	1.61	4.35	1.83	1.64
		1.50	10.26	2.17	5.79	2.43	1.63
2	50.80	0.95	7.20	1.49	4.62	1.82	1.76
		1.10	8.34	1.72	5.30	2.09	1.76
		1.50	10.80	2.32	7.06	2.78	1.74
2 3/8	60.33	1.50	13.20	2.77	12.00	3.98	2.08
2 1/2	63.50	1.50	14.04	2.92	14.05	4.42	2.19

TUBERÍA

ANEXO H Fichas aplicadas en el protocolo de pruebas




		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN "SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN"							
1. Operatividad de la silla de ruedas				RESPUESTA SI NO		OBSERVACIONES			
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra				<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>					
Necesita ajustarse la reclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso				<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
Necesita ajustar la altura del reposapiés				<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento				<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>		Considera muy separadas las ruedas			
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie				<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>					
2. Condiciones fisiológicas						3. Actividades complementarias			
Posición sedente 				Posición de pie 					
SO %	RC PUL/MI N	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MI N	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta	
94	67	123	83	95	66	125	85		
4. Parámetros funcionales									
Tiempo de ascenso [s] 55.6s_				Tiempo de descenso [s] _____ 47.8 _____				Angulo de reclinación [°]: _____ 15° _____	
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc) La silla debería ser un poco más angosta para mejorar el alcance de los brazos a las ruedas y los apoya brazos tendrían que estar en una posición más baja.									

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”					
1. Operatividad de la silla de ruedas		RESPUESTA		OBSERVACIONES			
		SI	NO				
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Necesita ajustarse la inclinación del respaldo para condiciones del cuerpo o de descanso		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Necesita ajustar la altura del reposapiés		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	No existe mayor movilidad por lesión presentada por el usuario.			
2. Condiciones fisiológicas				3. Actividades complementarias			
Posición sedente				Posición de pie			
							
							
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg
95	73	163	96	92	76	161	79
Aplicación: Acceso a motor de auto para reparaciones							
4. Parámetros funcionales							
Tiempo de ascenso [s] _____55.1s aprox				Tiempo de descenso [s] _____50s____aprox_		Angulo de inclinación [°]: 18°_____	
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc). Mejorar el sistema para reclinarse la silla y un sistema de prevención de vuelco hacia atrás de la silla de ruedas.							



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS
AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE
RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”








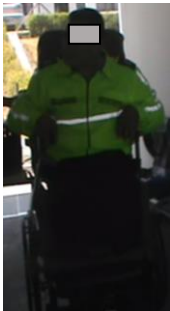

1. Operatividad de la silla de ruedas				RESPUESTA SI NO				OBSERVACIONES	
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Necesita ajustarse la reclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Necesita ajustar la altura del reposapiés				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			El usuario considera que la silla es muy ancha.	
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
2. Condiciones fisiológicas							3. Actividades complementarias		
Posición sedente 				Posición de pie 					
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a lugares altos como estanterías en su hogar	
85	106	119	82	88	104	115	78		
4. Parámetros funcionales									
Tiempo de ascenso [s] _____47.4 s_____				Tiempo de descenso [s] _____43.6s aprox_____				Angulo de reclinación [°]: _20°_____	
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc).									













UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS
AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE
RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”













1. Operatividad de la silla de ruedas				RESPUESTA				OBSERVACIONES	
				SI	NO				
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Necesita ajustarse la inclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Necesita ajustar la altura del reposapiés				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			Considera incomoda la posición de los apoya brazos.	
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>			El usuario sugiere tener un soporte de pecho permanente para la silla.	
2. Condiciones fisiológicas								3. Actividades complementarias	
Posición sedente				Posición de pie					
									
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta	
94	69	159	85	94	75	131	61		
4. Parámetros funcionales									
Tiempo de ascenso [s] _____55.7 s_____				Tiempo de descenso [s] _____52.5s aprox_____				Angulo de inclinación [°]:_10° máximo_____	
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc). La silla necesita un sujetador de pecho para darle más confianza al paciente por el hecho de no tener fuerza en cintura.									






 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”																							
1. Operatividad de la silla de ruedas				RESPUESTA SI NO				OBSERVACIONES															
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra				<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>															
Necesita ajustarse la inclinación del respaldo para condiciones del cuerpo o de descanso				<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>															
Necesita ajustar la altura del reposapiés				<input type="checkbox"/>				<input checked="" type="checkbox"/>															
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento				<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>															
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie				<input checked="" type="checkbox"/>				<input type="checkbox"/>															
2. Condiciones fisiológicas								3. Actividades complementarias															
Posición sedente 								Posición de pie 								Actividades complementarias 							
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm /Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm /Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta															
85	64	125	75	86	65	123	78																
4. Parámetros funcionales																							
Tiempo de ascenso [s] _____ 54.6s _____				Tiempo de descenso [s] _____ 49.8s _____				Angulo de inclinación [°]: _____ 20° _____															
<p>Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc). La silla debería ser un poco más angosta en la parte del reposapiés para mejorar la posición de bipedestación. El paciente solicita que la elevación del respaldo de la silla de ruedas aumente alrededor de 5 grados más con respecto a la horizontal.</p>																							

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”						
1. Operatividad de la silla de ruedas		RESPUESTA SI NO				OBSERVACIONES		
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Necesita ajustarse la inclinación del respaldo para condiciones del cuerpo o de descanso		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Necesita ajustar la altura del reposapiés		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>				
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento		<input type="checkbox"/>		<input checked="" type="checkbox"/>		Incomodidad con los apoyabrazos.		
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie		<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
2. Condiciones fisiológicas				3. Actividades complementarias				
Posición sedente				Posición de pie				
								
								
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta
89	101	125	74	90	108	130	85	
Parámetros funcionales								
Tiempo de ascenso [s] _____58.7s_____			Tiempo de descenso [s] _____56.0s_____			Angulo de inclinación [°]: _____12°_____		
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc).								

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”							
1. Operatividad de la silla de ruedas			RESPUESTA				OBSERVACIONES		
			SI		NO				
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Necesita ajustarse la inclinación del respaldo para condiciones del cuerpo o de descanso			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Necesita ajustar la altura del reposapiés			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie			<input checked="" type="checkbox"/>		<input type="checkbox"/>				
2. Condiciones fisiológicas						3. Actividades complementarias			
Posición sedente			Posición de pie				Actividades complementarias		
									
SO %	RC PUL/MI N	PS mm/H g	PD mm/H g	SO %	RC PUL/MI N	PS mm/H g	PD mm/H g	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta	
93	64	143	84	95	65	126	87		
4. Parámetros funcionales									
Tiempo de ascenso [s] _____ 55.1 s _____			Tiempo de descenso [s] _____ 42.9 s _____				Angulo de inclinación [°]: _____ 20° _____		
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc).									

	UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”							
1. Operatividad de la silla de ruedas	RESPUESTA SI NO	OBSERVACIONES						
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra	<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>							
Necesita ajustarse la reclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
Necesita ajustar la altura del reposapiés	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie	<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>							
2. Condiciones fisiológicas	3. Actividades complementarias							
Posición sedente 	Posición de pie 	Actividades complementarias 						
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta
93	83	122	83	93	88	121	78	
4. Parámetros funcionales								
Tiempo de ascenso [s] _____ 58.2 s _____			Tiempo de descenso [s] _____ 54.1s _____			Angulo de reclinación [°]: _____ 15° _____		
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc). El paciente recomienda que hace falta altura en la elevación de la silla de ruedas para que la posición de bipedestación y apela a que la silla de ruedas necesariamente debería ser fabricada a su medida.								

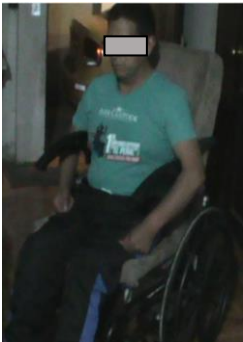

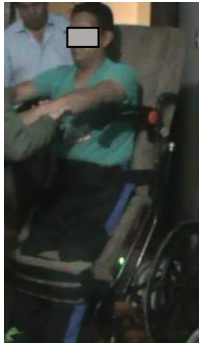
 UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”								
1. Operatividad de la silla de ruedas		RESPUESTA SI NO	OBSERVACIONES					
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>						
Necesita ajustarse la inclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>						
Necesita ajustar la altura del reposapiés		<input type="checkbox"/> <input checked="" type="checkbox"/>						
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>						
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie		<input checked="" type="checkbox"/> <input type="checkbox"/>						
2. Condiciones fisiológicas		3. Actividades complementarias						
Posición sedente 		Posición de pie 						
								
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta
94	84	124	78	91	91	140	99	
4. Parámetros funcionales								
Tiempo de ascenso [s] _____56.3s_____			Tiempo de descenso [s] _____56.7s_____			Angulo de inclinación [°]: _____8°_____		
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc). La silla debe tener un sistema de movimiento para las ruedas en el momento de la bipedestación para lograr realizar actividades sin necesidad de terceras personas para moverla.								

		UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”						
1. Operatividad de la silla de ruedas		RESPUESTA		OBSERVACIONES				
		SI	NO					
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Necesita ajustarse la inclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
Necesita ajustar la altura del reposapiés		<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>					
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie		<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>					
2. Condiciones fisiológicas				3. Actividades complementarias				
Posición sedente				Posición de pie				
								
								
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta
87	99	144	84	91	96	126	73	
4. Parámetros funcionales								
Tiempo de ascenso [s] _____58.7s_____			Tiempo de descenso [s] _____54.3s aprox_____			Angulo de inclinación [°]: _____5°_____		
Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc). El usuario recomienda mejorar el sistema de seguridad al momento de la bipedestación.								

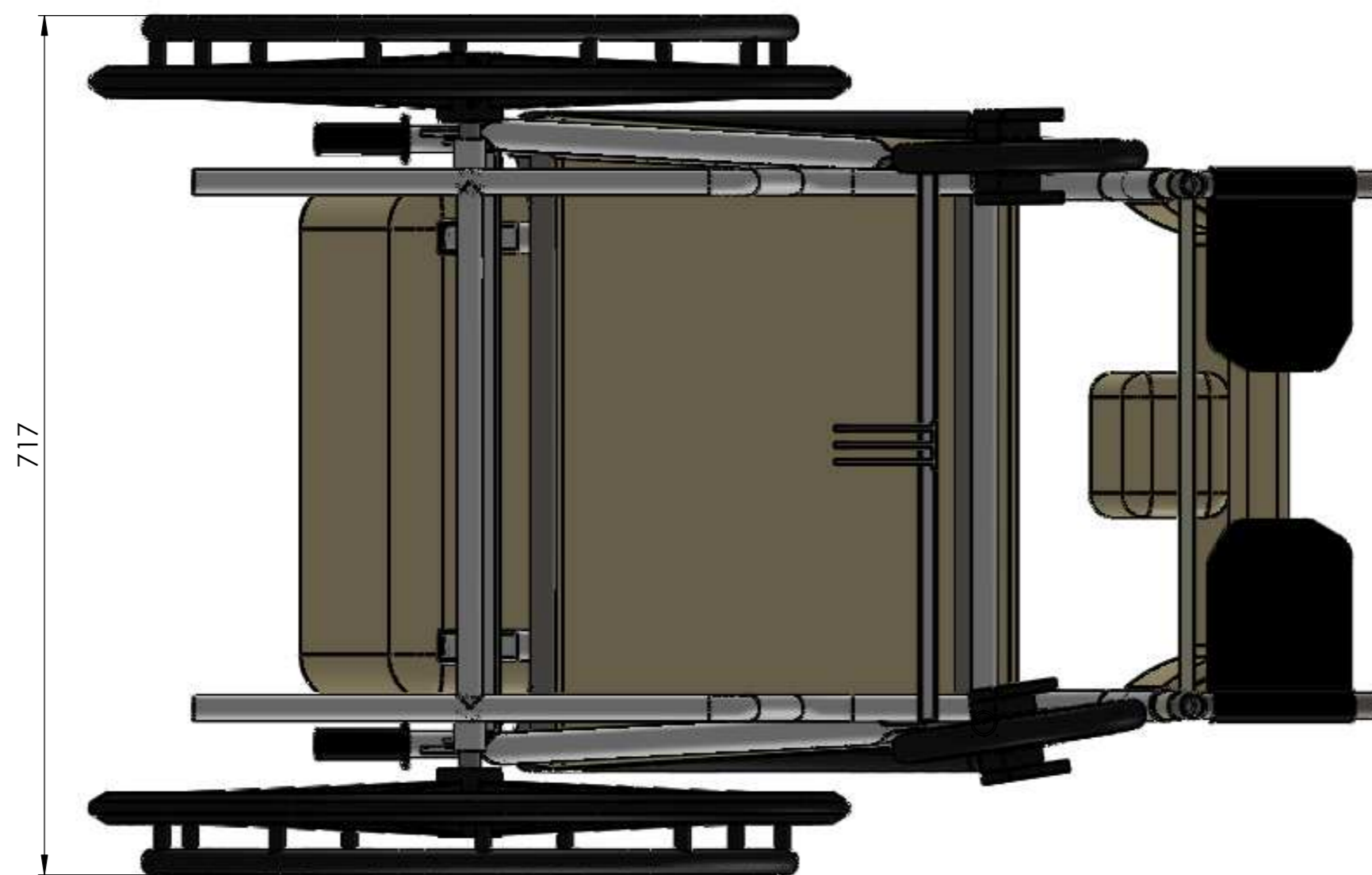
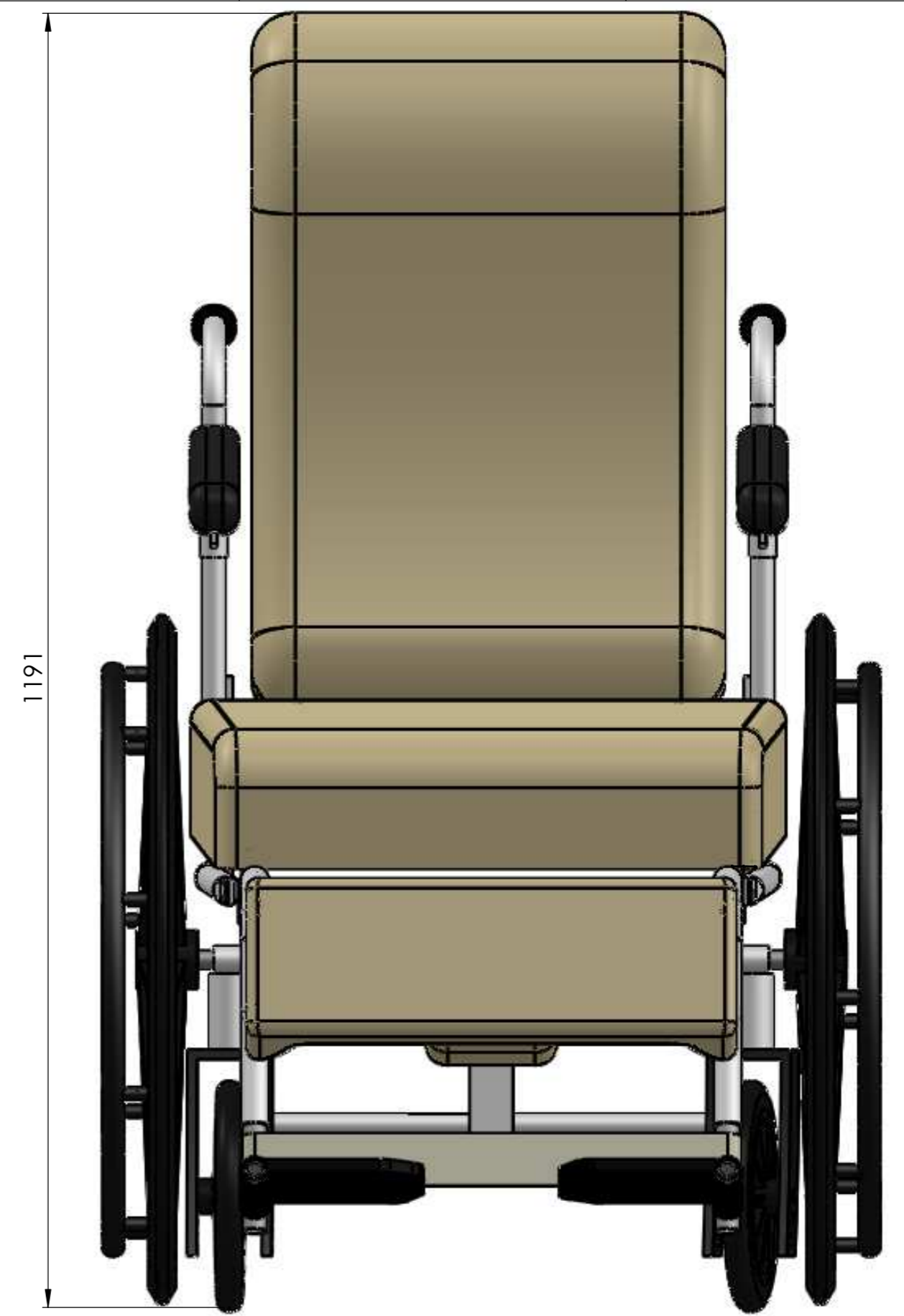
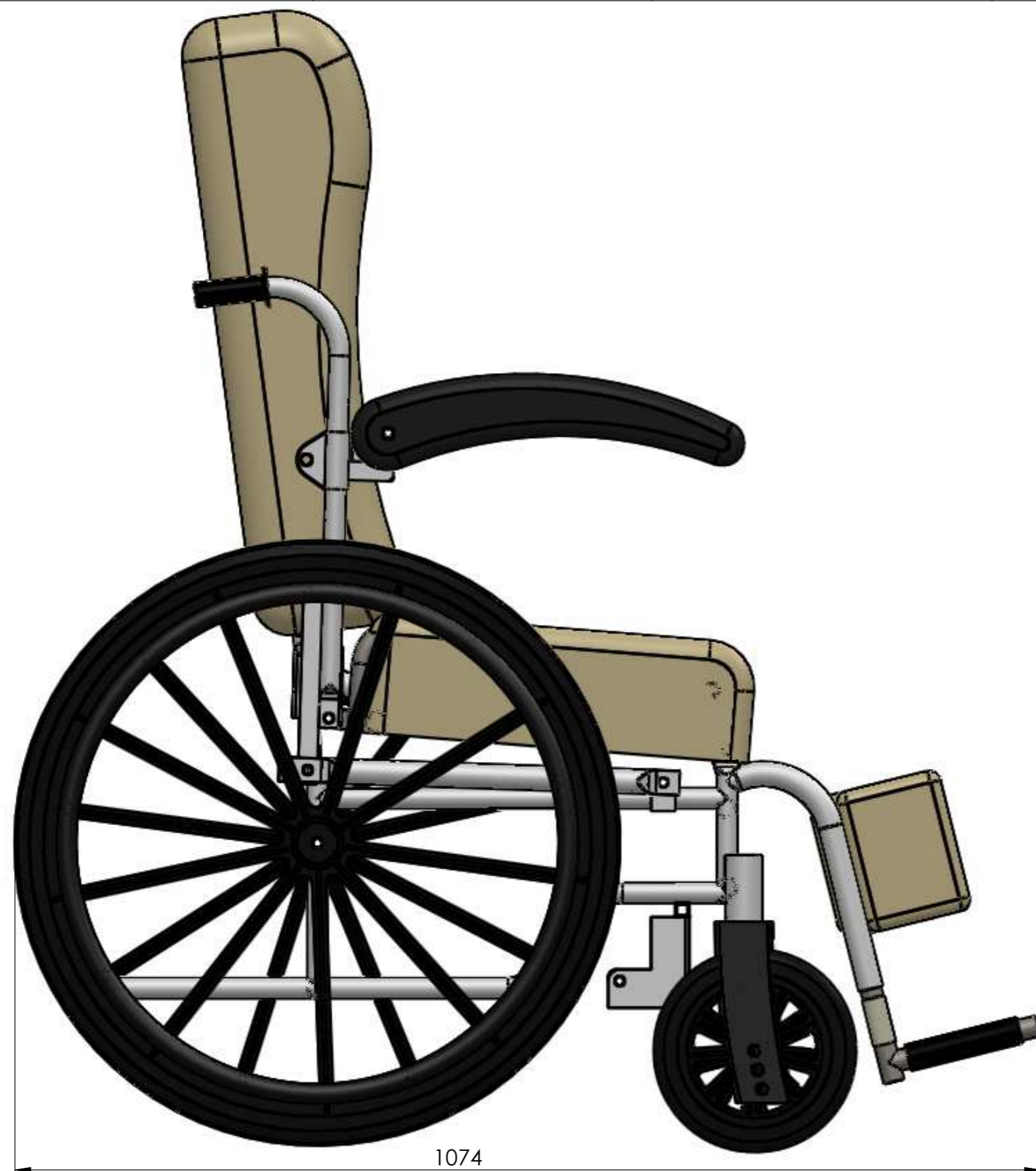


UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO Y FISIOLÓGICAS
AL PROYECTO DE INVESTIGACIÓN “SILLA DE
RUEDAS CON SISTEMA DE BIPEDESTACIÓN”



1. Operatividad de la silla de ruedas				RESPUESTA SI NO				OBSERVACIONES	
Requiere asistencia en la transferencia de una silla a otra				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Necesita ajustarse la reclinación del espaldar para condiciones del cuerpo o de descanso				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Necesita ajustar la altura del reposapiés				<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>				
Fácil Maniobrabilidad de la silla para desplazamiento				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
Movilidad y sensación de seguridad en posición de pie				<input checked="" type="checkbox"/>	<input type="checkbox"/>				
2. Condiciones fisiológicas								3. Actividades complementarias	
Posición sedente				Posición de pie					
									
SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	SO %	RC PUL/MIN	PS mm/Hg	PD mm/Hg	Aplicación: Acceso a stand para la adquisición de productos de venta	
90	56	145	91	88	67	136	88		
4. Parámetros funcionales									
Tiempo de ascenso [s] _____ 51.7s _____				Tiempo de descenso [s] _____ 49.6s_ aprox _____				Angulo de reclinación [°]: _____ 7° _____	
<p>Recomendaciones generales luego de usarla (comodidad, facilidad de uso, ajuste, etc).</p> <p>El usuario recomienda un sistema de movilidad para cuando la silla está en la posición de bipedestación para poder realizar labores sin ayuda de terceros.</p>									

ANEXO I PLANOS



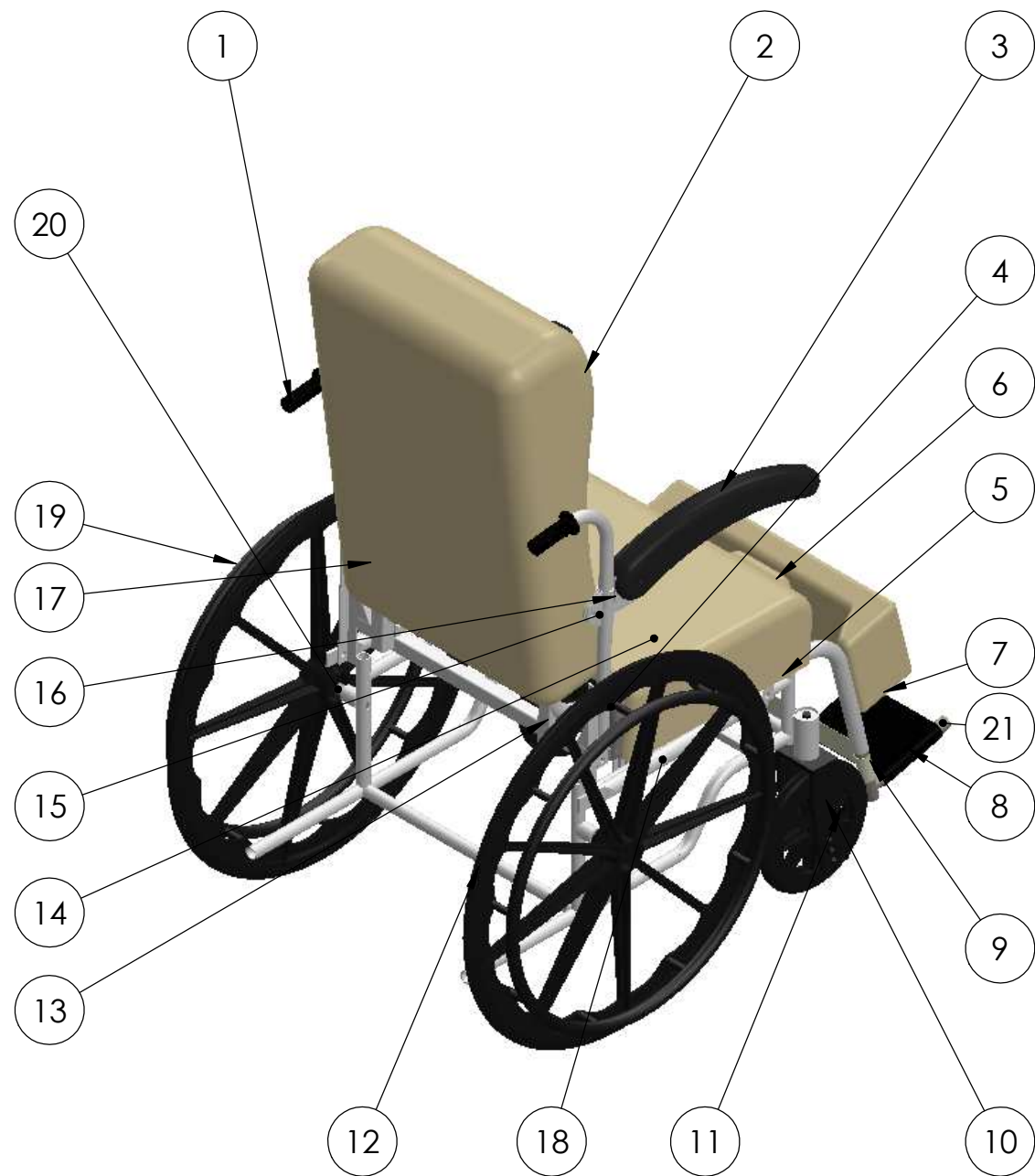
Silla de ruedas de bipedestacion con sistema de verticalizacion

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

Denominacion	Valor
Ancho Maximo	717 mm
Largo Maximo	1074 mm
Profundidad	1191 mm
Potencia Actuador	50 W
Voltage	24 VDC
Fuerza Maxima	4000 N
Longitud de carrera	200 mm

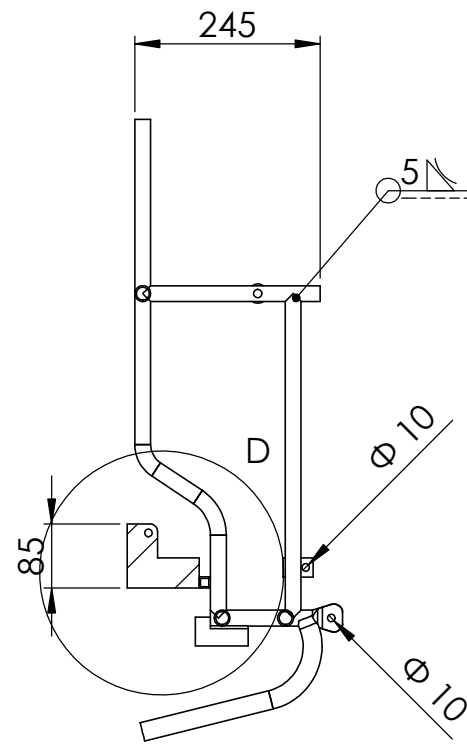
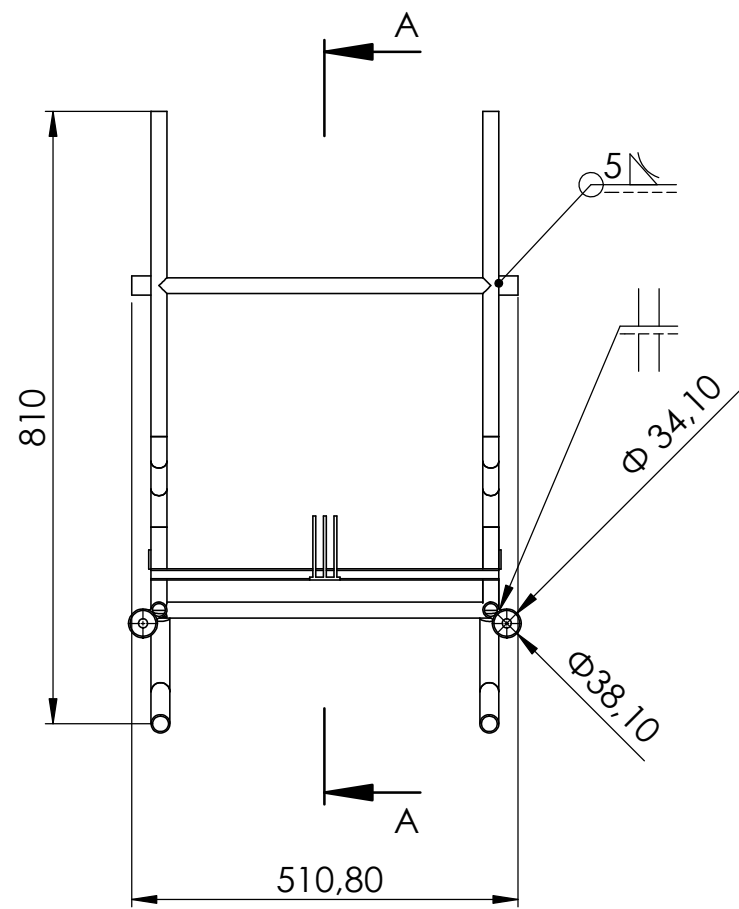
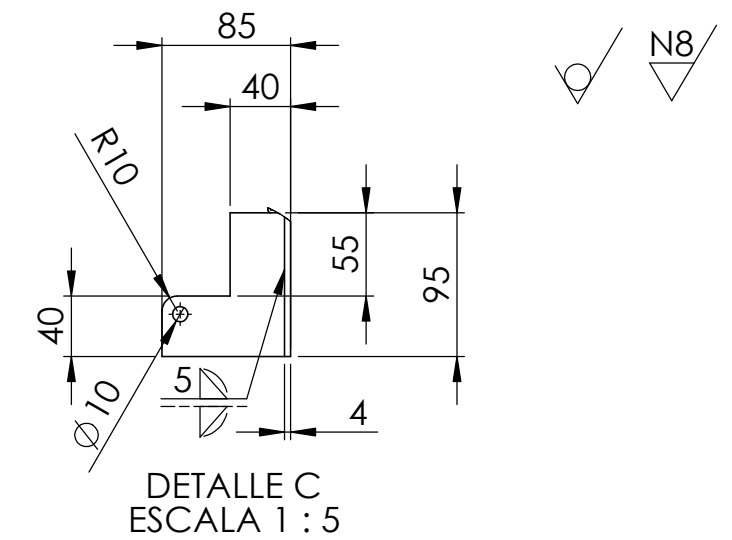
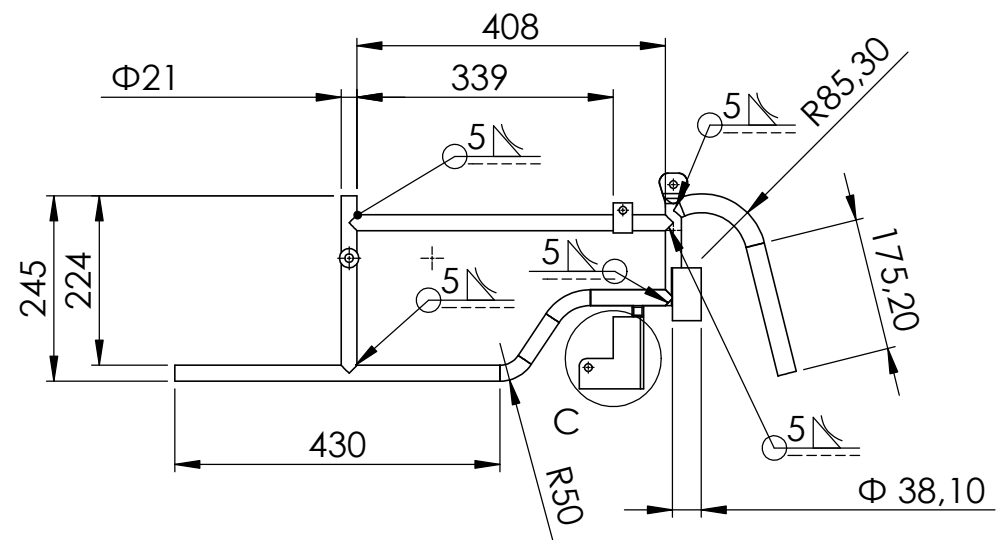
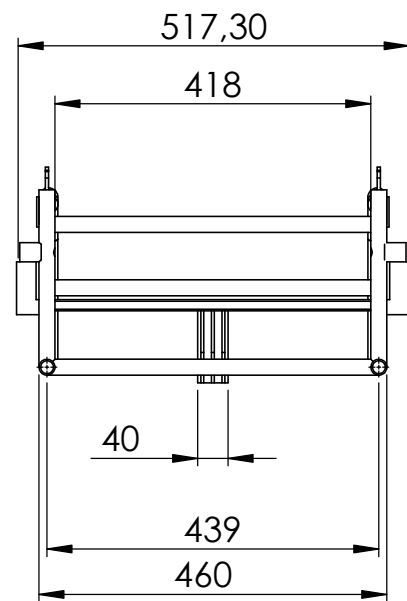
Tolerancia:	Peso:	Material:	
±1.0			
Fecha:	Nombre:	Título:	Escala:
Dib. 02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	SILLA DE RUEDAS DE BIPEDESTACIÓN CON SISTEMA DE VERTICALIZACIÓN	1:5
Rev. 02/01/18	Thalía San Antonio Ph.D		
Apr. 23/02/18	Thalía San Antonio Ph.D		
UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERIA MECÁNICA		Número de lámina: 1 de 11	
		MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	



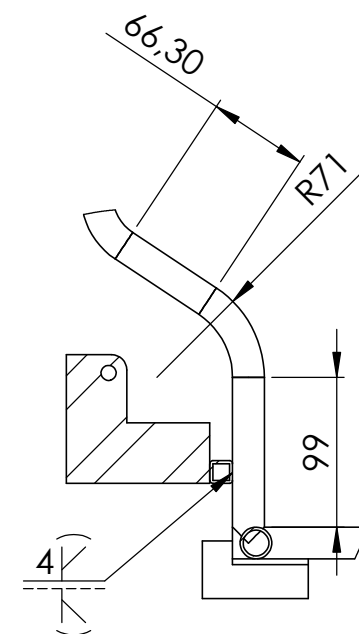


2	Apoya Pies	10		21			
2	Bocin rueda	8		20			
2	Rueda impulso			19			Comprado
2	Eslabon	7		18			
1	Espaldar	6		17			
2	Oreja apoya brazos	11		16			
2	Soporte Apoya Brazos	11		15			
1	Cobertor			14			Comprado
1	Soporte espaldar	5		13			
2	Rueda			12			Comprado
2	Soporte Ruedas delanteras	9		11			
2	Rueda delantera			10			Comprado
1	Banda			9			Comprado
2	Base Apoya Pies	11		8			
1	Soporte Piernas			7			Comprado
1	Separacion piernas			6			Comprado
1	Estructura inferior	3		5			
1	Asiento	4		4			
2	Apoya brazos			3			Comprado
1	Esponja Espaldar			2			Comprado
2	Manija			1			Comprado

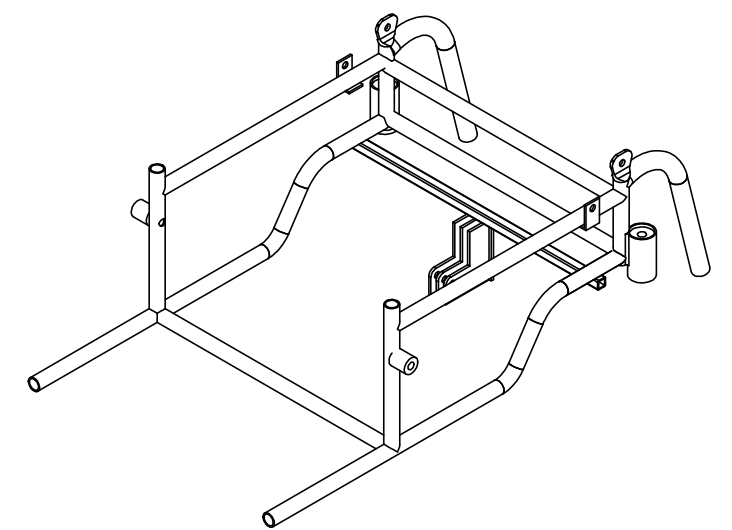
Nº de pieza.	Denominacion	Nº de Norma/Dibujo	Material	Nº de orden	Nº del Modelo/semiproducto	Peso kg/pieza	Observaciones
			Tolerancia:	Peso:	Material:		
					ACERO ASTM A513		
			Fecha:	Nombre:	Título:		Escala:
			Dib. 02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	ELEMENTOS Y SISTEMAS DE LA SILLA DE RUEDAS DE BIPEDESTACIÓN		1:10
			Rev. 02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D			
			Apr. 23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D			
			UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO		Número de lámina: 2 de 11		
			INGENIERIA MECÁNICA		MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				



SECCIÓN A-A
ESCALA 1 : 10

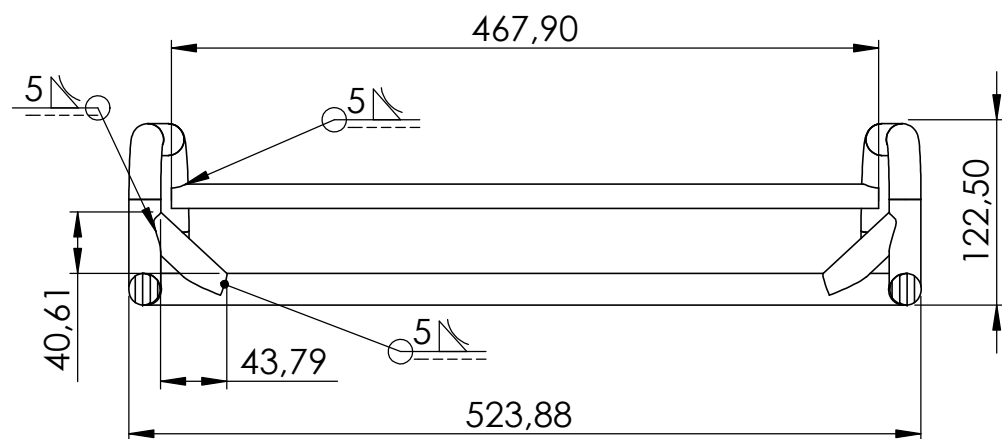
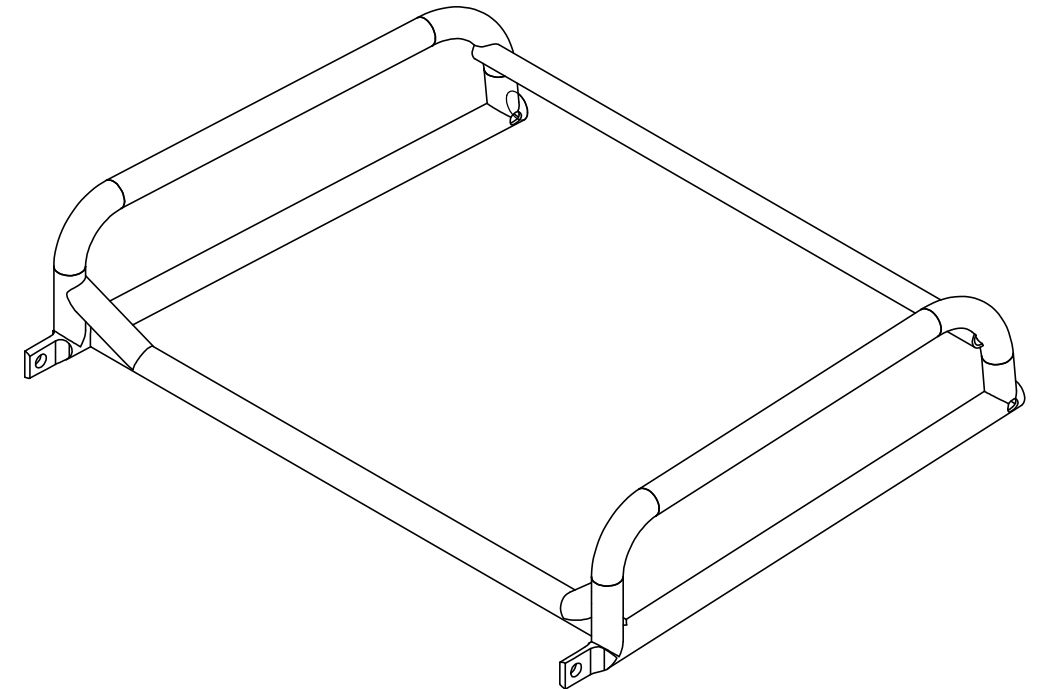
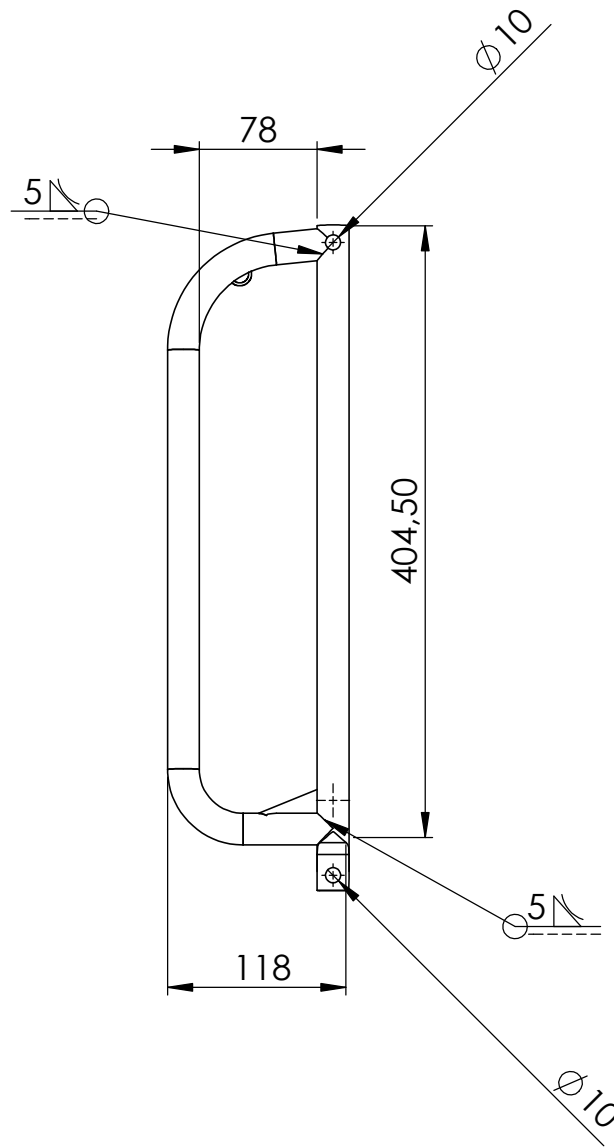
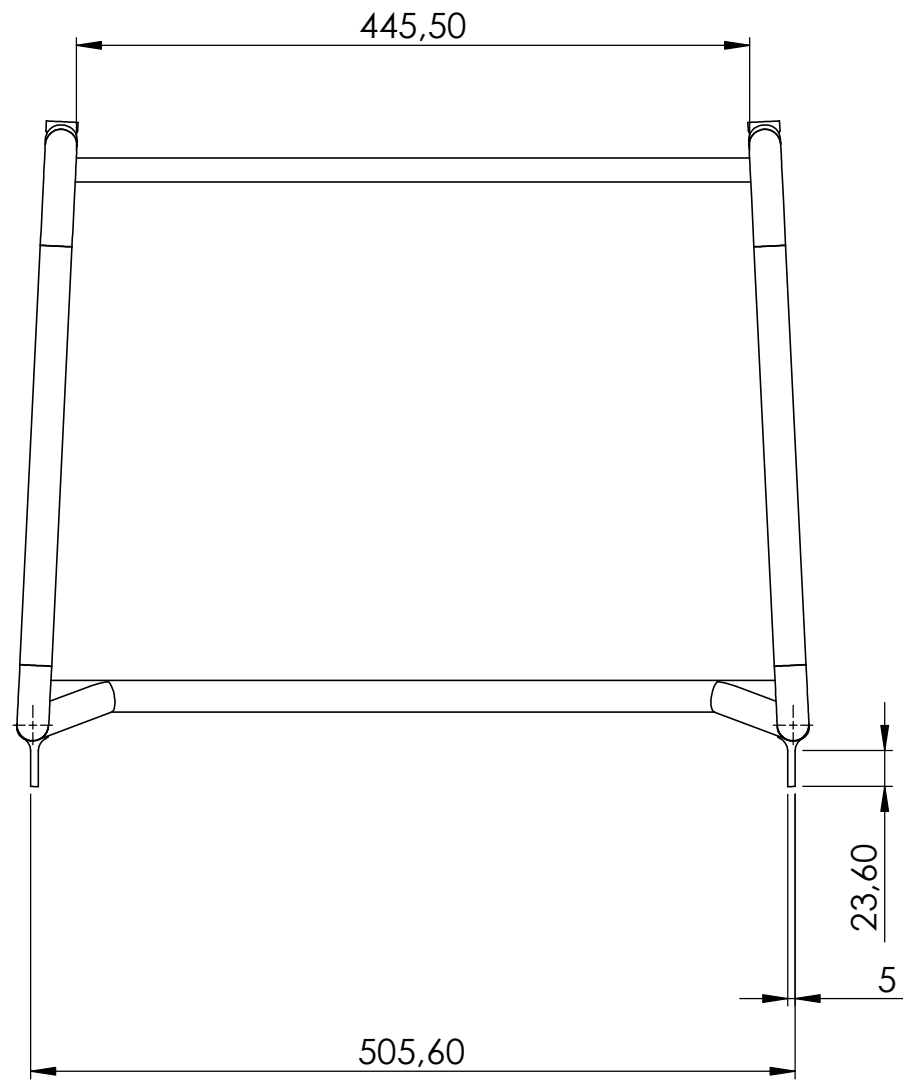


DETALLE D
ESCALA 1 : 5

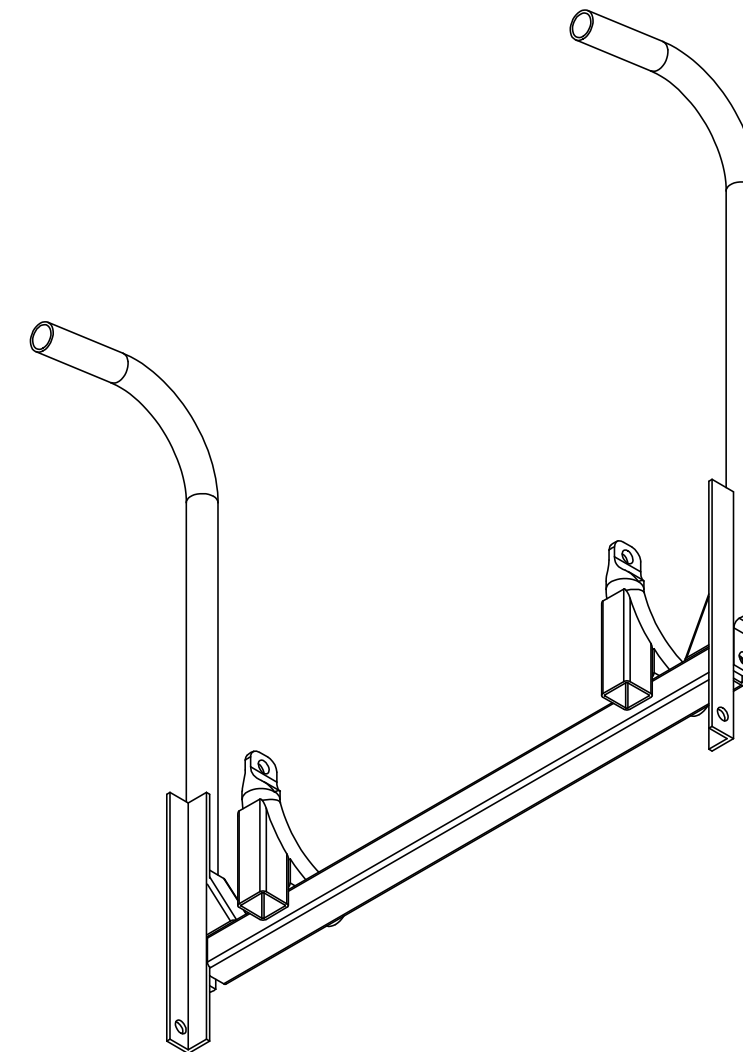
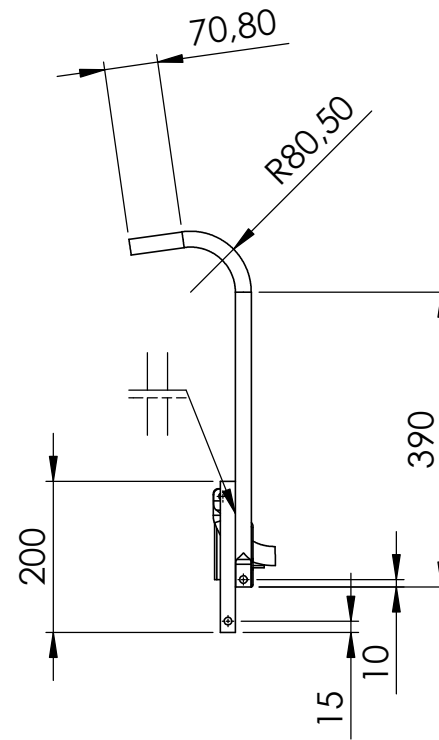
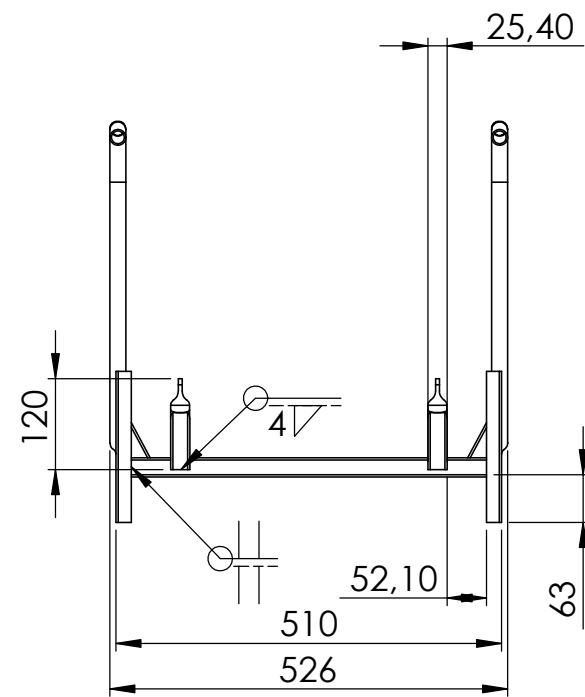


				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.1		ACERO ASTM A 513	
				Fecha:	Nombre:	Título:	Escala:
				Dib. 02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	ESTRUCTURA INFERIOR	1:10
				Rev. 02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				Apr. 23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERIA MECÁNICA		Número de lámina:	3 de 11
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	

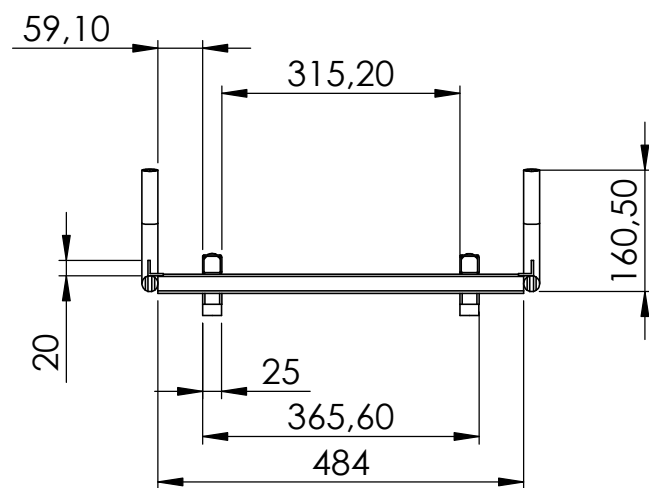




				Tolerancia: ±0.1	Peso:	Material: ACERO ASTM A513	
				Fecha:	Nombre:	Título: ESTRUCTURA ASIENTO	Escala: 1:5
				Dib. 02/01/18	Espín R. Víctor Ing.		
				Rev. 02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				Apr. 23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 4 de 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	



ESCALA 1:5

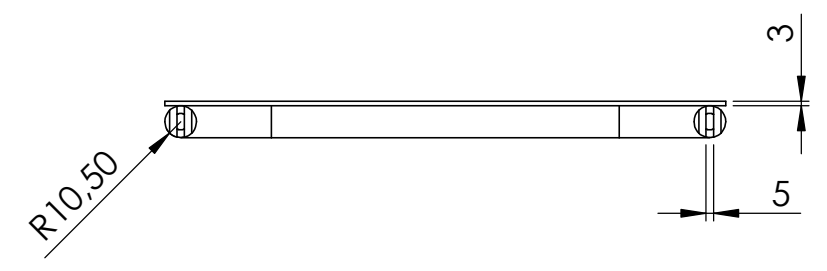
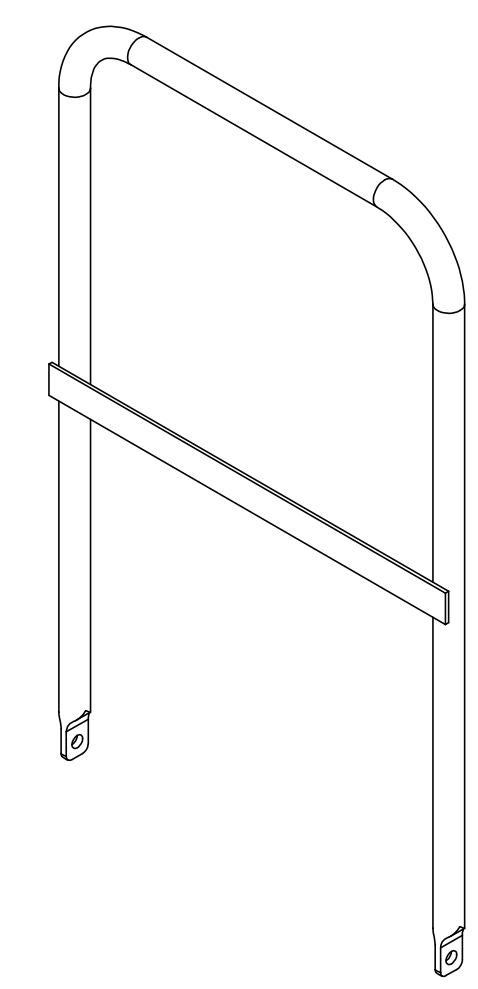
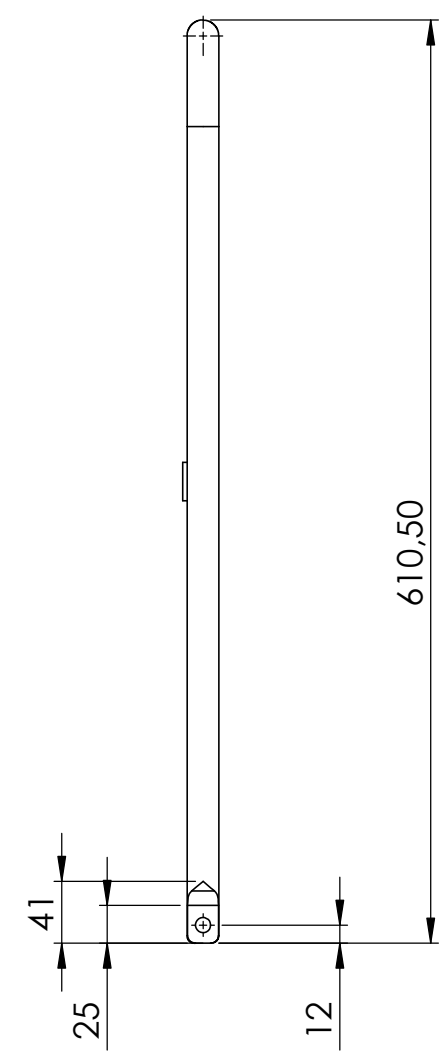
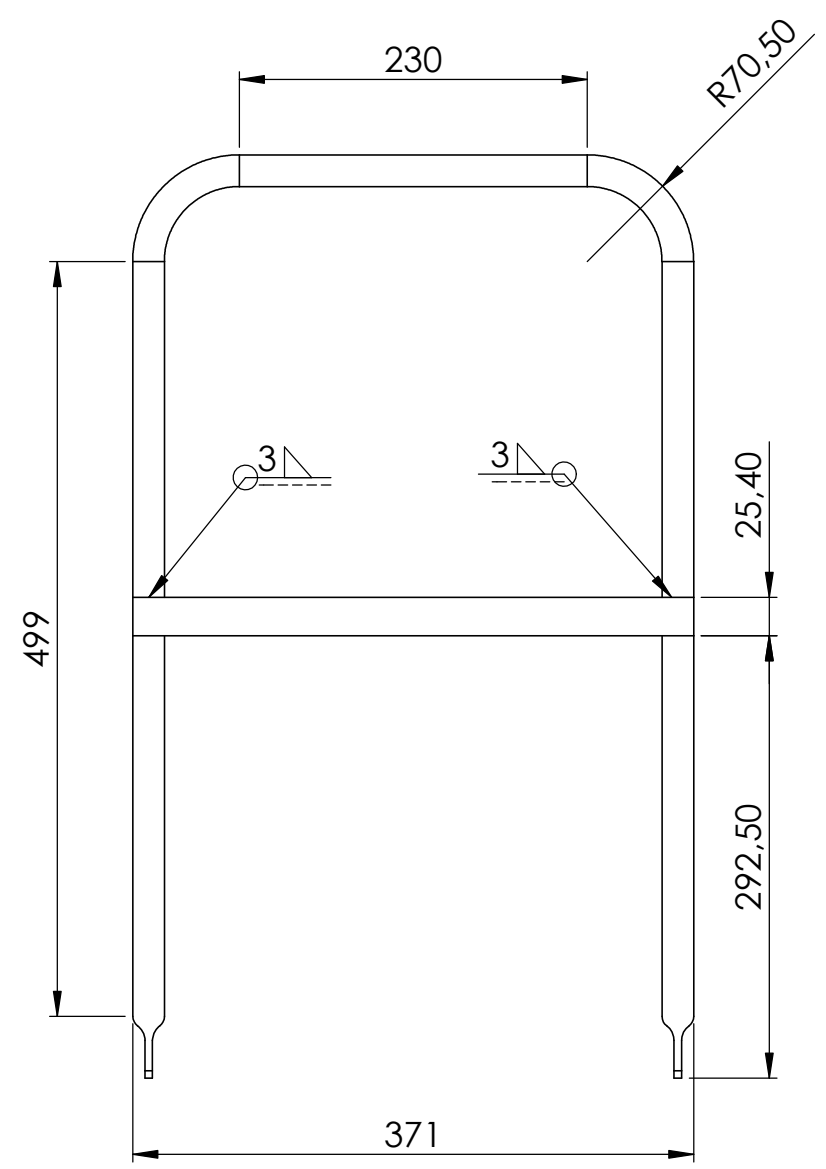


N8

				Tolerancia: ±0.1	Peso:	Material: ACERO ASTM A 513	
				Fecha:	Nombre:	Título: SOPORTE MANIJA	Escala: 1:10
				Dib. 02/01/18	Espín R. Víctor Ing.		
				Rev. 02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				Apr. 23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 5 de 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	

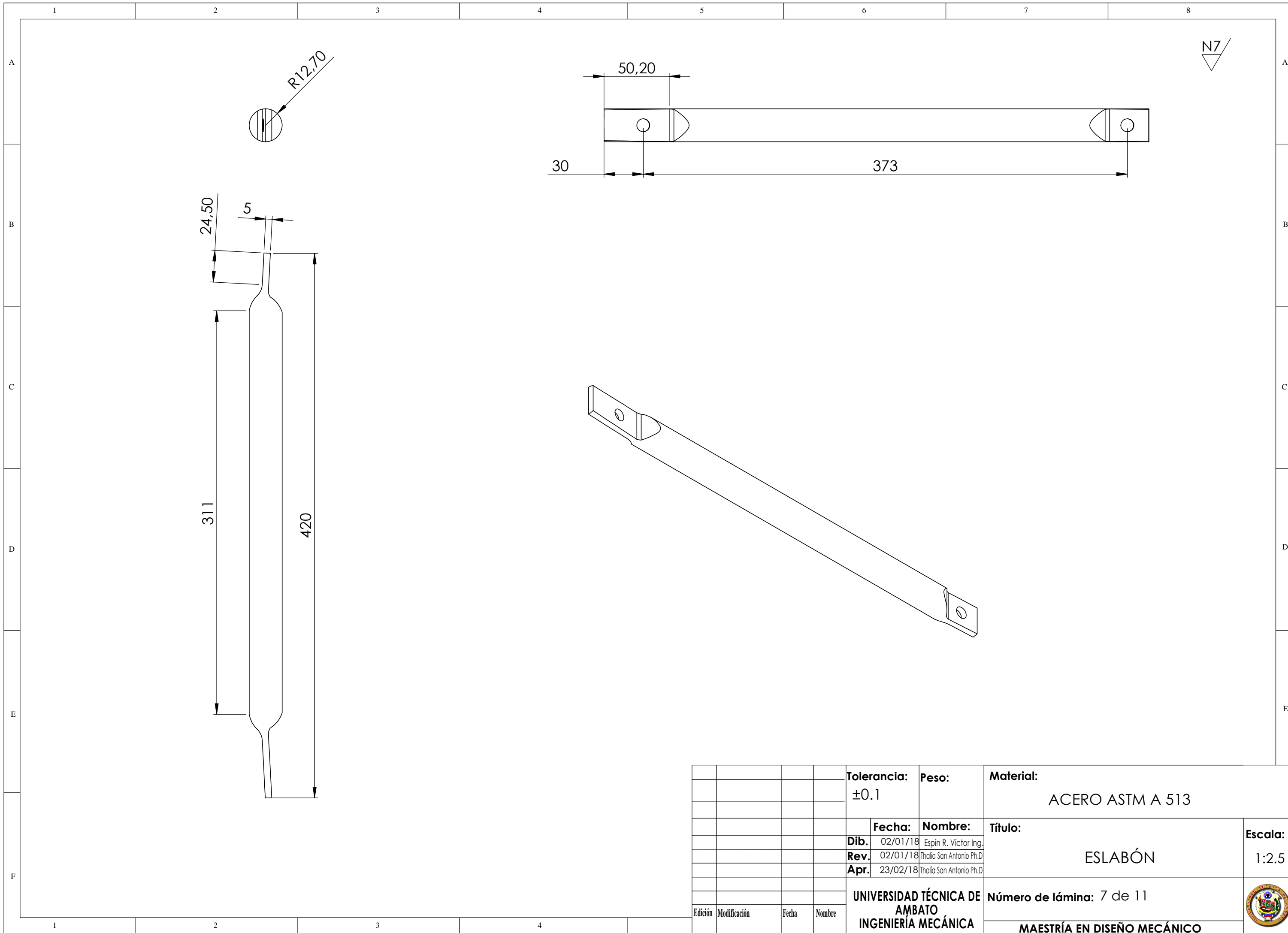


N8



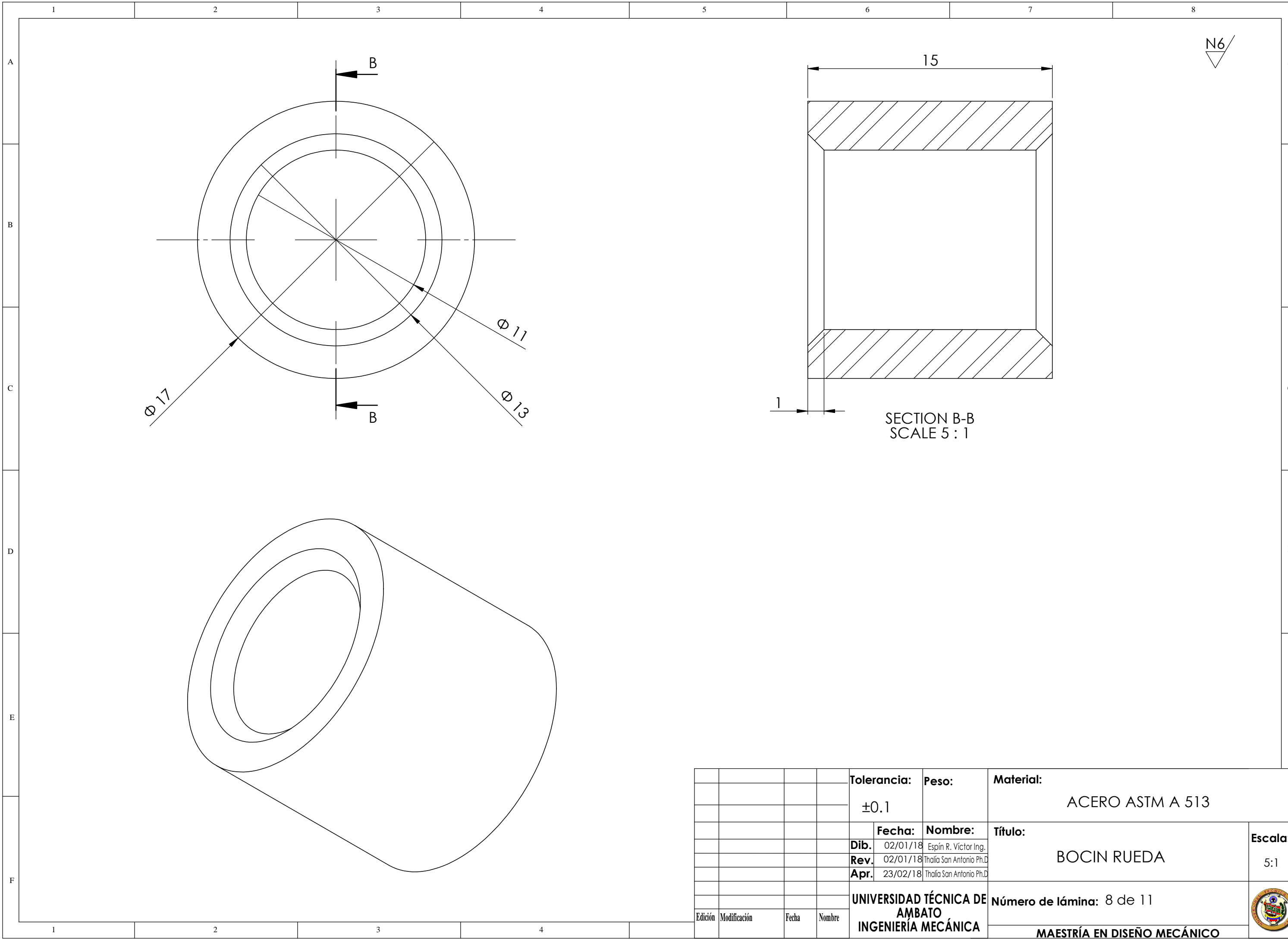
				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.1		ACERO ASTM A 513	
				Fecha:	Nombre:	Título:	
				Dib. 02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	ESPALDAR	
				Rev. 02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D	Escala:	
				Apr. 23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D	1:5	
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 6 de 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	





				Tolerancia: ±0.1	Peso:	Material: ACERO ASTM A 513	
					Fecha:	Nombre:	Título:
				Dib.	02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	ESLABÓN
				Rev.	02/01/18	Thalía San Antonio Ph.D	
				Apr.	23/02/18	Thalía San Antonio Ph.D	
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 7 de 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	

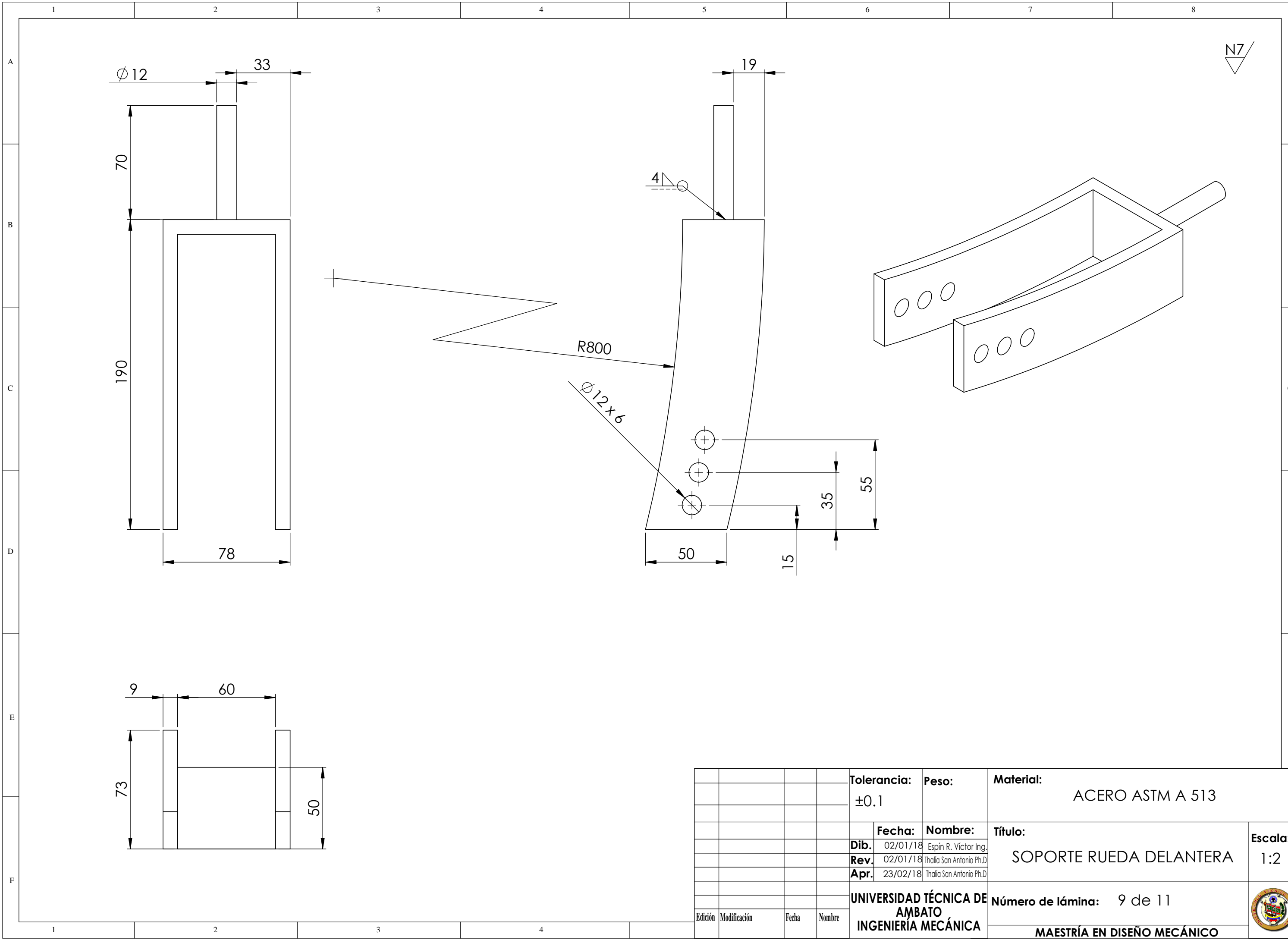




N6

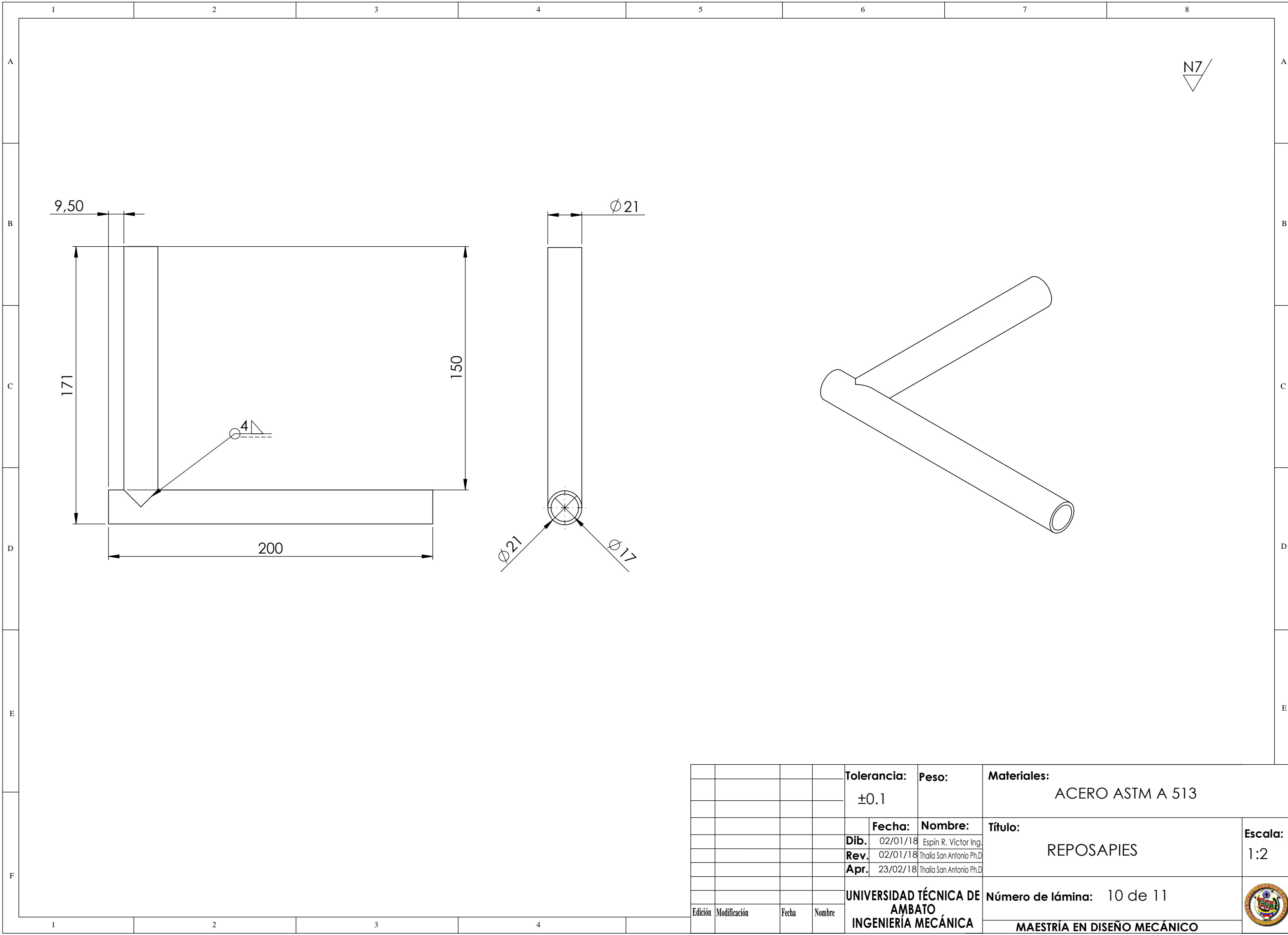
SECTION B-B
SCALE 5 : 1

				Tolerancia:	Peso:	Material:	
				±0.1		ACERO ASTM A 513	
					Fecha:	Nombre:	Título:
				Dib.	02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	BOCIN RUEDA
				Rev.	02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D	
				Apr.	23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D	
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina: 8 de 11
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				Escala: 5:1
							 MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO

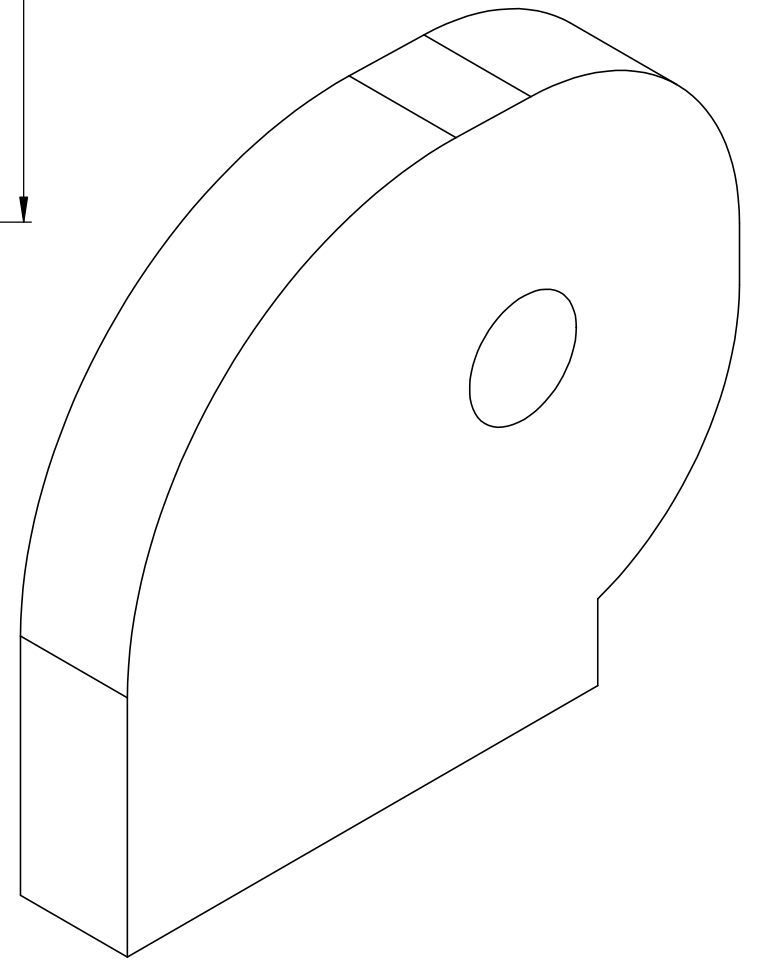
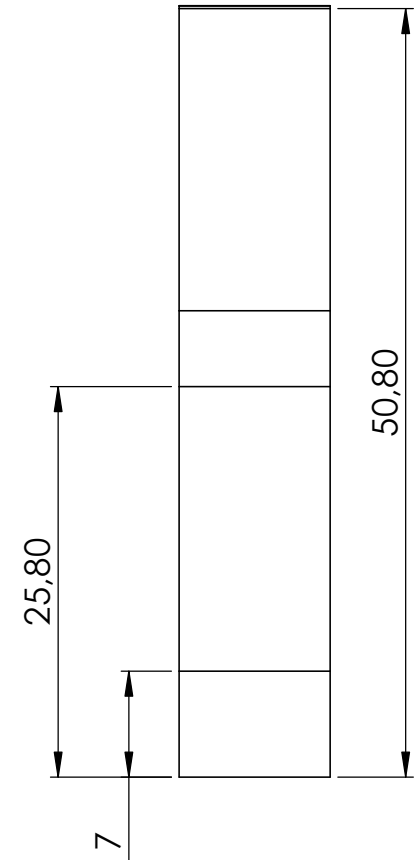
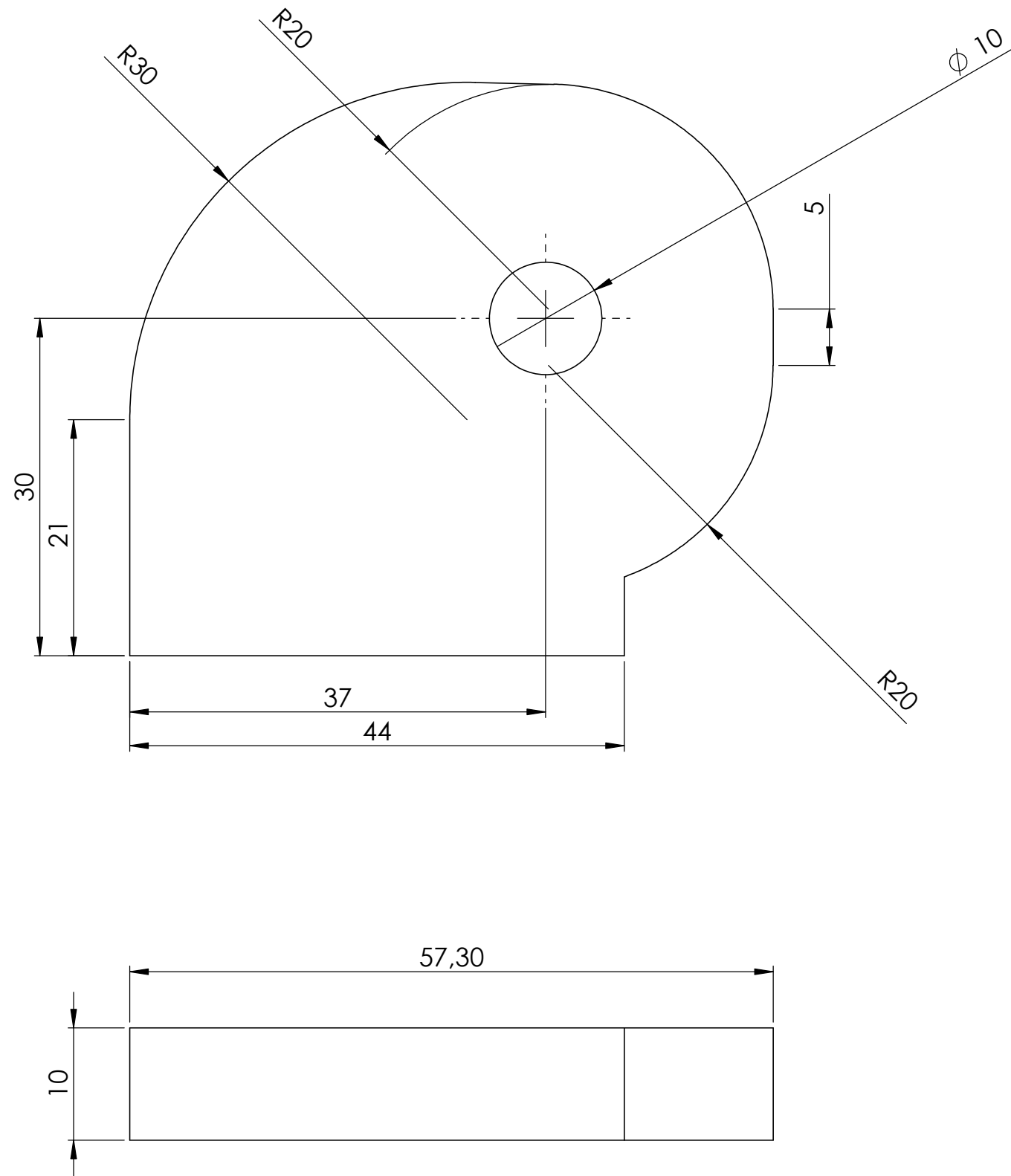


N7

				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				± 0.1		ACERO ASTM A 513		
				Fecha:	Nombre:	Título:		Escala:
				Dib. 02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	SOPORTE RUEDA DELANTERA		1:2
				Rev. 02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D			
				Apr. 23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D			
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA		Número de lámina: 9 de 11		
Edición	Modificación	Fecha	Nombre			MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO		



				Tolerancia:	Peso:	Materiales:		
				±0.1		ACERO ASTM A 513		
					Fecha:	Nombre:	Título:	Escala:
				Dib.	02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	REPOSAPIES	1:2
				Rev.	02/01/18	Thaila San Antonio Ph.D		
				Apr.	23/02/18	Thaila San Antonio Ph.D		
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina: 10 de 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	



N7

				Tolerancia:	Peso:	Material:		
				± 0.1		ACERO ASTM A 513		
					Fecha:	Nombre:	Título:	Escala:
				Dib.	02/01/18	Espín R. Víctor Ing.	SOPORTE APOYA BRAZOS	1:10
				Rev.	02/01/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				Apr.	23/02/18	Thalia San Antonio Ph.D		
				UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO INGENIERÍA MECÁNICA			Número de lámina: 11 de 11	
Edición	Modificación	Fecha	Nombre				MAESTRÍA EN DISEÑO MECÁNICO	

