



# **ESPE**

**UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS**  
**INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA**

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y  
MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**TRABAJO DE TITULACIÓN PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO  
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN  
DE BIPEDESTACIÓN AUTÓNOMO PARA ADULTOS MAYORES CON  
DISCAPACIDAD MOTRIZ**

**AUTORES: PÉREZ JORDÁN, ANDRÉS GUSTAVO**

**LLANO MONTESDEOCA, EDISON JAVIER**

**DIRECTOR: MSC. ING. TERÁN HERRERA, HÉCTOR COCHISE**

**LATACUNGA**

**2019**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

i

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

### CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE BIPEDESTACIÓN AUTÓNOMO PARA ADULTOS MAYORES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ**” fue realizado por los señores **Llano Montesdeoca Edison Javier** y **Pérez Jordán Andrés Gustavo**, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo tanto cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Latacunga, 09 de enero del 2019

Ing. Héctor Cochise Terán Herrera

C.C.: 050268046-5



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

ii

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIA DE RESPONSABILIDAD**

Nosotros, **Llano Montesdeoca Edison Javier**, con cédula de identidad N°1720763612 y **Pérez Jordán Andrés Gustavo** con cédula de identidad N°1804590592, declaramos que este trabajo de titulación “**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE BIPEDESTACIÓN AUTÓNOMO PARA ADULTOS MAYORES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ**” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas.

Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Latacunga, 09 de enero del 2019

---

**Llano Montesdeoca Edison Javier**

---

**Pérez Jordán Andrés Gustavo**

C.C.: 1720763612

C.C.: 1804590592



**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA**  
**CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**AUTORIZACIÓN**

Nosotros, **Llano Montesdeoca Edison Javier** y **Pérez Jordán Andrés Gustavo**, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación **“DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE ESTACIÓN DE BIPEDESTACIÓN AUTÓNOMO PARA ADULTOS MAYORES CON DISCAPACIDAD MOTRIZ”** cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Latacunga, 09 de enero del 2019

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser "Llano Montesdeoca Edison Javier".

---

**Llano Montesdeoca Edison Javier**

C.C.: 1720763612

Una firma manuscrita en tinta azul que parece ser "Pérez Jordán Andrés Gustavo".

---

**Pérez Jordán Andrés Gustavo**

C.C.: 1804590592

**DEDICATORIA**

A mi Dios, la Virgencita y mis padres, por ser las personas que siempre guiaron mis pasos, inculcándome siempre la responsabilidad y respeto ante todas las cosas que realice, por la paciencia y sacrificio que tuvieron hacia mi persona al entender las necesidades que como estudiante las tuve pues fue lo más importante para poder culminar mis estudios.

Andrés Gustavo

## **DEDICATORIA**

Dedico este trabajo de titulación a Dios por ser mi luz y mi guía por proporcionarme la fuerza necesaria para superar varios obstáculos y permitirme el haber llegado hasta este momento tan importante de mi formación profesional. Mis padres, pilares fundamentales personas ejemplares, trabajadores y luchadoras, por su sacrificio, constancia y amor en todos estos años que fueron necesarios para poder alcanzar tan anhelada meta.

Edison Javier

## AGRADECIMIENTO

Agradezco a mi Dios y a la Virgencita Dolorosa por siempre protegerme y bendecirme durante mis estudios hasta adquirir mi carrera de Ingeniería Mecatrónica.

A mis padres Gustavo e Isabel que fueron y son mi fortaleza, mi guía, mi camino desde el inicio de mis estudios para seguir adelante, a ellos les dedico este triunfo, su dedicación hacia mí es única por eso les agradezco de corazón por ser esos padres abnegados, únicos e inigualables.

A mis abuelitos Papá Jordán y Mamá Rosa ya que desde el cielo nos cuidan a toda la familia, guiaron mis pasos que día a día los di en la universidad, será un orgullo para ustedes que otro nieto más sea un profesional.

A mi familia por brindarme ese cariño inigualable, siempre estuvieron presentes en momentos duros, alegres y sé que podré contar con su apoyo toda la vida.

A mis amigos por su amistad brindada dentro y fuera de la Universidad pues siempre fuimos un pequeño grupo buscando nuestros propósitos de ser alguien en la vida.

A nuestros docentes de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE, gracias por siempre, por vuestra ayuda inigualable y por los conocimientos brindados hacia nosotros pues de esta querida universidad salen grandes profesionales formados por Ustedes.

A mi estimado tutor, Ingeniero Héctor Terán por brindarnos su amistad y guiarnos durante la elaboración de nuestro proyecto de titulación pues sus conocimientos fueron muy importantes para culminar con éxito nuestra meta.

Andrés Gustavo

## **AGRADECIMIENTO**

En primer lugar, agradezco a Dios por darme las fuerzas y sabiduría necesarias, por levantarme después de varios tropezones y continuar firme por el sendero correcto y poder culminar la carrera de Ingeniería Mecatrónica.

A mis padres pilares fundamentales en mi formación, por cada consejo que fueron importantes en cada decisión durante el transcurso de mi vida universitaria.

A mi familia por su apoyo y cariño incondicional que mostraron en cada paso que daba diariamente.

A la Universidad de las Fuerzas Armadas Espe-L, por permitirme convertirme en un profesional en lo que tanto me apasiona, A cada maestro, tutor que de alguna u otra manera hizo parte de este proceso de formación.

Edison Javier



## ÍNDICE DE CONTENIDO

### CARÁTULA

CERTIFICACIÓN .....i

AUTORIA DE RESPONSABILIDAD ..... ii

AUTORIZACIÓN..... iii

DEDICATORIA .....iv

DEDICATORIA ..... v

AGRADECIMIENTO .....vi

AGRADECIMIENTO ..... vii

ÍNDICE DE CONTENIDO ..... viii

ÍNDICE DE TABLAS.....xvi

ÍNDICE DE FIGURAS.....xix

RESUMEN.....xxv

ABSTRACT .....xxvi

### CAPÍTULO I

#### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

1.1 Antecedentes ..... 1

1.2 Planteamiento del problema ..... 1

1.3 Justificación e importancia..... 2

1.4 Objetivos de proyecto..... 2

1.4.1	Objetivo general .....	2
1.4.2	Objetivos específicos.....	2
1.4.3	Hipótesis.....	3
1.4.4	Variables de la investigación.....	3
1.5	Marco Teórico .....	3
1.5.1	Diagnóstico de enfermedades de las extremidades inferiores.....	3
A.	Epidemiología .....	4
B.	Etiología.....	4
1.5.2	Minusvalidad de las extremidades inferiores .....	5
A.	Minusvalías motoras.....	5
B.	Minusvalías fisiológicas .....	6
1.5.3	Antropometría de las extremidades inferiores .....	8
A.	La localización de los puntos antropométricos básicos.....	11
B.	Medidas antropométricas.....	13
C.	Medidas extremidades inferiores.....	15
1.5.4	Estaciones bipedestales .....	17
A.	Los beneficios de la bipedestación .....	18
1.5.5	Estructura de bipedestación.....	21
A.	Camilla bipedestadora .....	22
B.	Bipedestador fijo pediátrico.....	22

		x
C.	Bipedestador infantil.....	23
D.	Plano inclinado y bipedestador.....	24
E.	Bipedestador con tabla de variación posicional.....	24
F.	Levo LCEV: Silla eléctrica con función de bipedestación .....	25
G.	Bipedestador infantil CAT .....	26
H.	Sistema de bipedestación Infantil con mesa.....	27
1.5.6	Medidas de seguridad.....	28
A.	Postura en la estación bipedestal .....	28
B.	Normas de uso .....	28

## **CAPÍTULO II**

### **DISEÑO MECATRONICO**

2.1	Matriz de la calidad .....	30
2.1.1	Definición de las necesidades .....	30
2.1.2	Definición de características técnicas .....	31
2.1.3	QFD.....	32
2.2	Factibilidad y planeación .....	35
2.2.1	Estructura funcional .....	35
2.3	Subsistema mecánico .....	36
2.3.1	Estructura .....	36
A.	Alternativas de diseño .....	36

		xi
B.	Evaluación y selección de alternativas .....	37
2.4	Subsistema electrónico .....	41
2.4.3	Medio de transmisión de datos .....	41
A.	Alternativas de diseño .....	41
B.	Evaluación y selección de alternativas .....	43
2.5	Subsistema de control.....	46
2.5.1	Tarjeta de control .....	46
A.	Alternativas de diseño .....	46
B.	Evaluación y selección de alternativas .....	48
2.6	Conclusiones del listado de métricas .....	51
2.7	Generación de conceptos.....	52
2.7.1	Aclarar el problema.....	52
2.7.2	Explorar sistemáticamente .....	52
2.8	Conceptos generados.....	55
2.8.1	Concepto 1.....	55
2.8.2	Concepto 2.....	56
2.8.3	Concepto 3.....	57
2.9	Selección de concepto .....	57
2.9.1	Matriz de selección.....	57
2.9.2	Calificación y evaluación de los conceptos.....	58

		xii
2.9.3	Evaluación de los resultados .....	60
2.10	Análisis dimensional .....	60
2.11	Dimensionamiento motores plataforma .....	63
2.12	Cálculo de reacciones.....	68
2.13	Diseño de perfiles rectangulares .....	78
2.14	Diseño eje.....	81
A.	Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga.....	83
B.	Factor de superficie $k_a$ .....	84
C.	Factor de superficie $k_b$ .....	85
D.	Concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca .....	86
E.	Esfuerzos en ejes.....	86
F.	ED-Goodman .....	88
G.	Factor de seguridad .....	88
2.15	Diseño CAD .....	93
A.	Barra FC .....	93
B.	Barra BD.....	94
C.	Actuador .....	95
D.	Motores Llantas.....	95
E.	Protección de los motores .....	96
F.	Soporte rodilla.....	96

		xiii
G.	Estructura base .....	97
H.	Tapizado pechera.....	98
I.	Mando .....	99
J.	Botonera de control.....	99
K.	Ensamble bipedestador .....	100
2.16	Análisis y simulación CAE .....	101
2.16.1	Barra FC .....	101
2.16.2	Barra BD .....	107
2.16.3	Barra BO .....	112
2.16.4	Análisis estático estructura.....	117
2.17	Análisis dinámico.....	120
A.	Análisis dinámico estructura .....	120

### **CAPÍTULO III**

#### **CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN**

3.1	Construcción soporte base.....	126
3.2	Construcción apoyos rodillas .....	128
3.2	Construcción apoyo pecho .....	129
3.3	Instalación llantas .....	132
3.4	Instalación motores .....	132
3.5	Instalación actuador lineal.....	134

		xiv
3.6	Protección circuitería.....	135
3.7	Instalación mando .....	135
3.9	Estructura final .....	137

## CAPÍTULO IV

	<b>PRUEBAS Y RESULTADOS.....</b>	<b>138</b>
4.1	Desarrollo del protocolo de pruebas.....	138
4.2	Pruebas desplazamiento autosuficiente.....	139
4.2.1	Resultados pruebas del desplazamiento autosuficiente.....	142
4.3	Pruebas ejercitación muscular inferior.....	147
4.3.1	Resultados pruebas de ejercitación muscular inferior.....	150
4.3.2	Resultados pruebas de ejercitación muscular inferior en la rampa normalizada. ..	152
4.4	Pruebas de elevación vertical .....	154
4.5	Pruebas de sujeción de la persona.....	157
4.5.1	Sistema de calificación de las pruebas de sujeción de la persona.....	159
4.5.1	Resultados pruebas de sujeción de la persona.....	159
4.6	Pruebas de arranque suave .....	161
4.6.1	Sistema de calificación pruebas de arranque suave .....	162
4.6.2	Resultados de las pruebas de arranque suave.....	163
4.7	Validación hipótesis .....	165
4.8	Análisis económico .....	168

**CAPÍTULO V**

	<b>CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES .....</b>	<b>173</b>
5.1	Conclusiones .....	173
5.2	Recomendaciones .....	174
<b>6.</b>	<b>BIBLIOGRAFÍA .....</b>	<b>175</b>



## INDICE DE TABLAS

<b>Tabla 1.</b> <i>Requerimientos o necesidades del consumidor</i> .....	31
<b>Tabla 2.</b> <i>Especificaciones técnicas del proyecto</i> .....	32
<b>Tabla 3.</b> <i>Escala japonesa de correlación entre requerimientos</i> .....	34
<b>Tabla 4.</b> <i>Resultados de la matriz QFD</i> .....	34
<b>Tabla 5.</b> <i>Subsistemas definidos para el diseño</i> .....	35
<b>Tabla 6.</b> <i>Alternativas material estructura</i> .....	37
<b>Tabla 7.</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación del material de la estructura</i> .....	39
<b>Tabla 8.</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas del material de la estructura</i> .....	39
<b>Tabla 9.</b> <i>Ponderación de peso para las alternativas del material de la estructura</i> .....	40
<b>Tabla 10.</b> <i>Ponderación de implementación para las alternativas del material de la estructura</i> ..	40
<b>Tabla 11.</b> <i>Conclusión en la selección del material de la estructura</i> .....	41
<b>Tabla 12.</b> <i>Alternativas para la selección del medio de transmisión de datos</i> .....	43
<b>Tabla 13.</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para el medio de transmisión de datos</i> .....	44
<b>Tabla 14.</b> <i>Ponderación de costo para las alternativas del medio de transmisión de datos</i> .....	45
<b>Tabla 15.</b> <i>Ponderación de velocidad para las alternativas del medio de transmisión de datos</i> ...45	
<b>Tabla 16.</b> <i>Ponderación de seguridad para las alternativas del medio de transmisión de datos</i> ..45	
<b>Tabla 17.</b> <i>Ponderación de implementación para las alternativas del medio de transmisión de datos</i> .....	46
<b>Tabla 18.</b> <i>Conclusión en la selección de diseño del medio de transmisión de datos</i> .....	46
<b>Tabla 19.</b> <i>Alternativas para la selección de la tarjeta de control</i> .....	48
<b>Tabla 20.</b> <i>Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la tarjeta de control</i> .....	49
<b>Tabla 21.</b> <i>Ponderación de la velocidad para alternativas de la tarjeta de control</i> .....	49

<b>Tabla 22.</b> <i>Ponderación de durabilidad de operación para alternativas de la tarjeta de control</i>	50
<b>Tabla 23.</b> <i>Ponderación de costo para alternativas de la tarjeta de control</i>	50
<b>Tabla 24.</b> <i>Conclusión en la selección de la tarjeta de control</i>	51
<b>Tabla 25.</b> <i>Conclusión del listado de métricas</i>	51
<b>Tabla 26.</b> <i>Sistema de calificación</i>	58
<b>Tabla 27.</b> <i>Alternativas para la selección de conceptos</i>	59
<b>Tabla 28.</b> <i>Medidas antropométricas hombres y mujeres al 2.5`percentil</i>	61
<b>Tabla 29.</b> <i>Datos de la persona para dimensionamiento de motores</i>	67
<b>Tabla 30.</b> <i>Datos motor SF7152</i>	68
<b>Tabla 31.</b> <i>Reacciones sistema</i>	78
<b>Tabla 32.</b> <i>Propiedad material AISI 1020</i>	83
<b>Tabla 33.</b> <i>Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín</i>	85
<b>Tabla 34.</b> <i>Datos Longitud Vs Deformación Barra FC</i>	105
<b>Tabla 35.</b> <i>Datos Longitud Vs Esfuerzo de Von Misses Barra FC</i>	106
<b>Tabla 36.</b> <i>Datos Longitud Vs Deformación Barra BD</i>	110
<b>Tabla 37.</b> <i>Datos Longitud Vs Esfuerzo de Von Misses Barra BD</i>	111
<b>Tabla 38.</b> <i>Datos Longitud Vs Deformación Barra BO</i>	115
<b>Tabla 39.</b> <i>Datos Longitud Vs Esfuerzo de Von Misses Barra BD</i>	116
<b>Tabla 40.</b> <i>Protocolo de pruebas elevación</i>	139
<b>Tabla 41.</b> <i>Protocolo de pruebas elevación</i>	142
<b>Tabla 42.</b> <i>Protocolo de desplazamiento autosuficiente</i>	144
<b>Tabla 43.</b> <i>Protocolo de pruebas de ejercitación muscular inferior</i>	147
<b>Tabla 44.</b> <i>Resultados prueba de ejercitación muscular inferior</i>	150

<b>Tabla 45.</b> <i>Resultados prueba de ejercitación muscular inferior en la rampa normalizada</i> .....	152
<b>Tabla 46.</b> <i>Protocolo de pruebas de elevación vertical</i> .....	154
<b>Tabla 47.</b> <i>Resultado pruebas de elevación vertical</i> .....	156
<b>Tabla 48.</b> <i>Resultado pruebas de alcance máximo</i> .....	157
<b>Tabla 49.</b> <i>Protocolo de pruebas de sujeción de la persona</i> .....	158
<b>Tabla 50.</b> <i>Sistema de calificación pruebas de sujeción de la persona</i> .....	159
<b>Tabla 51.</b> <i>Sistema de calificación pruebas de sujeción de la persona</i> .....	160
<b>Tabla 52.</b> <i>Protocolo de pruebas de arranque suave</i> .....	161
<b>Tabla 53.</b> <i>Sistema de calificación prueba arranque suave</i> .....	162
<b>Tabla 54.</b> <i>Resultados prueba de arranque suave</i> .....	163
<b>Tabla 55.</b> <i>Índice porcentual</i> .....	164
<b>Tabla 56.</b> <i>Sistema de calificación validación hipótesis</i> .....	166
<b>Tabla 57.</b> <i>Sistema de calificación validación hipótesis</i> .....	167
<b>Tabla 58.</b> <i>Costos Materia Prima</i> .....	168
<b>Tabla 59.</b> <i>Costos Mano de Obra</i> .....	170
<b>Tabla 60.</b> <i>Costos Herramientas y Materiales</i> .....	170
<b>Tabla 61.</b> <i>Costos Equipos</i> .....	172
<b>Tabla 62.</b> <i>Costos Total</i> .....	172

## INDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Monoplejía.....	5
<i>Figura 2.</i> Diaplejía.....	6
<i>Figura 3.</i> Paraplejía .....	6
<i>Figura 4.</i> Cifosis.....	7
<i>Figura 5.</i> Lordosis .....	7
<i>Figura 6.</i> Escoliosis .....	8
<i>Figura 7.</i> Antropómetro.....	9
<i>Figura 8.</i> Cinta Antropométrica .....	10
<i>Figura 9.</i> Calibres de ramas curvas .....	10
<i>Figura 10.</i> Banco antropométrico.....	11
<i>Figura 11.</i> Planos antropométricos.....	12
<i>Figura 12.</i> Alturas proyectadas desde el suelo .....	13
<i>Figura 13.</i> Medida de talla ileocrestal .....	15
<i>Figura 14.</i> Medición de la altura trocantérea – caja.....	16
<i>Figura 15.</i> Medición de la altura tibial lateral .....	16
<i>Figura 16.</i> Medición de la longitud segmentaria tibial medialmaleolar.....	17
<i>Figura 17.</i> Bipedestador Básico .....	19
<i>Figura 18.</i> Bipedestador estático .....	20
<i>Figura 19.</i> Bipedestador automático .....	21
<i>Figura 20.</i> Camilla bipedestadora .....	22
<i>Figura 21.</i> Bipedestador fijo pediátrico.....	23

	xx
<b>Figura 22.</b> Bipedestador Infantil .....	23
<b>Figura 23.</b> Plano inclinado y bipedestador .....	24
<b>Figura 24.</b> Bipedestador con tabla de variación posicional.....	25
<b>Figura 25.</b> Silla eléctrica con función de bipedestación.....	26
<b>Figura 26.</b> Bipedestador infantil CAT.....	27
<b>Figura 27.</b> Sistema de bipedestación infantil con mesa .....	28
<b>Figura 28.</b> Matriz QFD del bipedestador .....	33
<b>Figura 29.</b> Tipos de ruedas .....	53
<b>Figura 30.</b> <i>Llantas de tracción</i> .....	53
<b>Figura 31.</b> <i>Reposapiés</i> .....	54
<b>Figura 32.</b> <i>Soporte rodillas</i> .....	54
<b>Figura 33.</b> <i>Soporte para tronco</i> .....	55
<b>Figura 34.</b> Análisis antropométrico de los miembros inferiores-dimensiones.....	61
<b>Figura 35.</b> Análisis antropométrico de los miembros inferiores .....	62
<b>Figura 36.</b> Análisis antropométrico de los miembros inferiores .....	63
<b>Figura 37.</b> Cargas presentes en el reposo del bipedestador.....	64
<b>Figura 38.</b> Cargas presentes en el desplazamiento del bipedestador .....	65
<b>Figura 39.</b> Estructura.....	69
<b>Figura 40.</b> Diagramas de fuerzas.....	70
<b>Figura 41.</b> Tramo FD.....	71
<b>Figura 42.</b> Tramo CA .....	72
<b>Figura 43.</b> Tramo FD.....	73
<b>Figura 44.</b> Tramo FDC.....	75

<b>Figura 45.</b> Tramo GO.....	76
<b>Figura 46.</b> Diagrama de cuerpo libre de la barra FD.....	79
<b>Figura 47.</b> Resultado de la fuerza cortante en la barra <i>FD</i> .....	79
<b>Figura 48.</b> Resultado del momento flector en la barra <i>FD</i> .....	79
<b>Figura 49.</b> <i>Catálogo perfiles rectangulares</i> .....	81
<b>Figura 50.</b> Diagrama de cuerpo libre del eje del tramo GO .....	82
<b>Figura 51.</b> Tramo GO.....	82
<b>Figura 52.</b> Resultado de diagrama de momentos flectores del tramo GO .....	83
<b>Figura 53.</b> Eje redondo con filete en el hombro en flexión.....	89
<b>Figura 54.</b> <i>Eje redondo en torsión con agujero transversal</i> .....	90
<b>Figura 55.</b> Sensibilidad a la muesca de aceros sometidos a flexión inversa .....	90
<b>Figura 56.</b> Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa .....	91
<b>Figura 57.</b> <i>Diseño CAD Barra FC</i> .....	94
<b>Figura 58.</b> <i>Diseño CAD Barra BD</i> .....	94
<b>Figura 59.</b> <i>Diseño CAD Actuador</i> .....	95
<b>Figura 60.</b> <i>Diseño CAD Llantas delanteras</i> .....	95
<b>Figura 61.</b> <i>Diseño CAD de las protecciones de los motores</i> .....	96
<b>Figura 62.</b> <i>Diseño CAD estructura soporte de la rodilla</i> .....	97
<b>Figura 63.</b> <i>Diseño CAD estructura rodilla</i> .....	97
<b>Figura 64.</b> <i>Diseño CAD estructura base</i> .....	98
<b>Figura 65.</b> <i>Diseño CAD tapizado pechera</i> .....	98
<b>Figura 66.</b> <i>Diseño CAD del mando de control</i> .....	99
<b>Figura 67.</b> <i>Diseño CAD de la palanca de control</i> .....	99

<b>Figura 68.</b> Sub ensamble bipedestador.....	100
<b>Figura 69.</b> Análisis de elementos finitos Barra FC .....	102
<b>Figura 70.</b> Deformación barra FC .....	103
<b>Figura 71.</b> Esfuerzo de Von Misses barra FC .....	104
<b>Figura 72.</b> Análisis de elementos finitos Barra BD.....	107
<b>Figura 73.</b> Deformación barra FC .....	108
<b>Figura 74.</b> Esfuerzo de Von Misses barra BD.....	109
<b>Figura 75.</b> Análisis de elementos finitos Barra BO.....	112
<b>Figura 76.</b> Deformación barra BO .....	113
<b>Figura 77.</b> Esfuerzo de Von Misses barra BD.....	114
<b>Figura 78.</b> Análisis estático bipedestador.....	117
<b>Figura 79.</b> Análisis de elementos finitos bipedestador.....	118
<b>Figura 80.</b> Deformación bipedestador .....	119
<b>Figura 81.</b> Esfuerzo de Von Misses bipedestador .....	119
<b>Figura 82.</b> Factor de seguridad bipedestador .....	120
<b>Figura 83.</b> Junta 1 .....	121
<b>Figura 84.</b> Comportamiento Junta 1 .....	121
<b>Figura 85.</b> Junta 2 .....	122
<b>Figura 86.</b> Comportamiento Junta 2.....	123
<b>Figura 87.</b> Junta 3 .....	123
<b>Figura 88.</b> Comportamiento Junta 3.....	124
<b>Figura 89.</b> Junta 4.....	125
<b>Figura 90.</b> Comportamiento Junta 4.....	125

<b>Figura 91.</b> Perfiles base .....	126
<b>Figura 92.</b> Soldadura base plataforma.....	127
<b>Figura 93.</b> Soldadura estructura apoyo rodillas.....	127
<b>Figura 94.</b> Apoyo rodillas .....	128
<b>Figura 95.</b> Instalación apoyo rodillas .....	128
<b>Figura 96.</b> Estructura apoyo pechera.....	129
<b>Figura 97.</b> Instalación estructura de sujeción pechera-mando .....	130
<b>Figura 98.</b> Estructura instalación apoyo pechera – rodillas .....	130
<b>Figura 99.</b> Soldadura estructura pechera .....	131
<b>Figura 100.</b> Soldadura perfiles auxiliares.....	132
<b>Figura 101.</b> Instalación llantas .....	132
<b>Figura 102.</b> Instalación motores.....	133
<b>Figura 103.</b> Instalación llantas .....	133
<b>Figura 104.</b> Instalación motores – llantas .....	134
<b>Figura 105.</b> Instalación actuador lineal .....	134
<b>Figura 106.</b> Instalación protección circuitería.....	135
<b>Figura 107.</b> Doblado tubo mando.....	136
<b>Figura 108.</b> Soldadura del acople del mando a la estructura.....	136
<b>Figura 109.</b> Estructura final.....	137
<b>Figura 110.</b> Ángulo mínimo.....	141
<b>Figura 111.</b> Ángulo máximo .....	141
<b>Figura 112.</b> Errores sistema de elevación .....	143
<b>Figura 113.</b> Voltaje, Corriente, Potencia y Torque .....	145



<b>Figura 114.</b> Eficiencia Vs Torque .....	146
<b>Figura 115.</b> Ángulo de inclinación simulado .....	149
<b>Figura 116.</b> Obtenciones coordenadas del centro de masa .....	149
<b>Figura 117.</b> Coordenadas Centro de Masa .....	151
<b>Figura 118.</b> Ejercitación muscular rampa normalizada.....	153
<b>Figura 119.</b> Dimensiones bipedestador .....	155
<b>Figura 120.</b> Dimensiones bipedestador .....	156
<b>Figura 121.</b> Comparación Bipedestador-Silla de ruedas.....	165
<b>Figura 122.</b> Validación hipótesis test Chi cuadrado.....	167
<b>Figura 123.</b> Validación hipótesis análisis medias .....	168

## **RESUMEN**

En el actual trabajo de titulación, se orienta a un análisis enfocado a las discapacidades motrices del ser humano, con el diseño y construcción de una máquina mecatrónica donde actuara la bipedestación ayudándoles a mantenerse de pie sobre sus extremidades inferiores para tener un mejor movimiento y coordinación del cuerpo. Este acontecimiento se presenta debido a que los seres humanos no pueden adaptarse rápidamente a un ambiente desconocido cuando sufren algún tipo de accidente dejándoles con la mayoría de discapacidad de su cuerpo pues este tipo de estación bipedestal resolverá la capacidad de convivir en cualquier medio. La ergonomía se ha considerado para el diseño de la máquina ajustándonos a los diferentes percentiles que presentan los ecuatorianos con sus características fisiológicas, anatómicas y psicológicas. Nuestro percentil ecuatoriano es muy variado por lo tanto la máquina esta sincronizada con medidas antropométricas ajustables a cada usuario permitiendo el desplazamiento autosuficiente con una capacidad máxima de 100 Kg optimizando los elementos humanos, máquina y ambiente. Al hacer uso del bipedestador continuamente la persona que sufre de discapacidad motriz podrá disminuir su gasto energético ayudando a mejorar su actividad física en sus extremidades inferiores y también no sufriendo cambios imprevistos en su cuerpo.

## **PALABRAS CLAVE**

- **BIPEDESTACIÓN**
- **PARAPLÉGICOS - ERGONOMÍA**
- **ACTUADORES LINEALES**

**ABSTRACT**

In the current titling work, it is oriented to an analysis focused on the motor disabilities of the human being, with the design and construction of a mechatronic machine where the standing would act helping them to stand on their lower extremities to have a better movement and coordination of the body. This event occurs because human beings can not adapt quickly to an unknown environment when they suffer some type of accident leaving them with the majority of disability in their body because this type of bipedal station will resolve the ability to coexist in any environment. Ergonomics has been considered for the design of the machine adjusting to the different percentiles presented by Ecuadorians with their physiological, anatomical and psychological characteristics. Our Ecuadorian percentile is very varied therefore the machine is synchronized with adjustable anthropometric measurements to each user allowing the self-sufficient displacement with a maximum capacity of 100 Kg optimizing the human, machine and environment elements. By using the standing stent continuously, the person suffering from motor disability can reduce their energy expenditure by helping to improve their physical activity in their lower extremities and also not suffering unforeseen changes in their body giving a better balance to their life by supporting their user's weight in a bipedal position.

**KEYWORDS**

- **BIPEDESTATION**
  
- **PARAPLEGICS- ERGONOMICS**
  
- **LINEAR ACTUATORS**

## CAPÍTULO I

### FUNDAMENTACIÓN TEÓRICOS E INVESTIGACIÓN

#### 1.1 Antecedentes

Las discapacidades físicas existen por diferentes causas y afecciones produciendo deficiencias motrices y dificultades para desplazarse originándose por defectos congénitos, enfermedades, envejecimiento o accidentes. Presentar deficiencias motrices el desplazamiento es muy difícil para poder realizar ocupaciones tanto en lo social y físico.(Jesucristo, 2018).

Las sillas de ruedas en sus inicios utilizaban motores fuertes e incómodos dando un trato violento a la persona logrando con el pasar de los tiempos evolucionar a motores más livianos y eficientes permitiendo el diseño de silla de ruedas con motores con progresiones suaves. (López Celi, 2013).

Los prototipos de silla de ruedas bipedestadoras ayudaran a mejorar la calidad de vida a personas con paraplejia que tengan una apropiada fuerza en las extremidades superiores facilitando la ubicación más cómoda de la maquina teniendo en cuenta las diferentes enfermedades neuromusculares que pueden presentar los usuarios. (Campaña Olmos, 2017).

#### 1.2 Planteamiento del problema

Dentro de diferentes mercados internacionales nos ofrecen variedades de tipos de estaciones bipedestadoras con un costo muy elevado, pero no adaptándose en su totalidad a los diferentes parámetros de nuestro cuerpo tanto en el contrapeso, centro de masa y un perfecto amortiguamiento para las extremidades inferiores. Todas las estaciones poseen una fuerza muy

elevada al ponerle verticalmente a la persona causando daños principalmente lesiones y restringiendo movimientos ocasionando que la persona se sienta físicamente incapacitado y a la vez obteniendo lesiones mentales, sociales y económicas produciendo traumatismos dañando al riñón, sus tejido y pérdida del gasto energético total requerido a una baja termogénesis por actividad.

### **1.3 Justificación e importancia**

El uso de las estaciones bipedestales se debe a la discapacidad de las extremidades inferiores de las personas generando ambientes desconocidos dentro de su organización produciendo desconfianza e inseguridades para poder adaptarse, por eso el diseño y construcción de la estación bipedestal presenta una ergonomía que sea comfortable para que la persona discapacitada donde pueda desarrollar sus actividades dentro de su vida cotidiana tomando muy en cuenta los percentiles de nuestro país para que puedan sincronizarse a las diferentes medidas antropométricas de nuestra población en relación al género y auto identificación étnica.

### **1.4 Objetivos de proyecto**

#### *1.4.1 Objetivo general*

Diseñar y construir un prototipo de estación de bipedestación autónomo para adultos mayores con discapacidad motriz.

#### *1.4.2 Objetivos específicos*

- Investigar sobre las distintas medidas de posición de la población ecuatoriana basados en el estudio del percentil (ergonomía).

- Conocer y describir la anatomía, fisiología de las personas con discapacidad, tomando en cuenta su peso, centro de masa, funciones y tipo de esfuerzos ejercidos en una estación bipedestadora.
- Diseñar y modelar la estación de bipedestación con elevación vertical a través del uso de software CAD CAE.
- Construcción de la estación de bipedestación con elevación vertical.
- Realizar evaluaciones experimentales de la estación de bipedestación q desplazamiento autosuficiente, ejercitación muscular inferior y elevación vertical.

#### *1.4.3 Hipótesis*

Mediante la construcción de una estación de bipedestación con elevación vertical se facilitará el desplazamiento de la persona discapacitada alcanzando objetos a la altura promedio de una persona de pie.

#### *1.4.4 Variables de la investigación*

##### **a. Variable independiente**

- Desplazamiento de personas con discapacidad motriz en sus extremidades inferiores.

##### **b. Variable dependiente**

- Estación de bipedestación con elevación vertical.

### **1.5 Marco Teórico**

#### *1.5.1 Diagnóstico de enfermedades de las extremidades inferiores de la persona por permanecer colocado en una silla de ruedas.*

En el momento de aconsejar a utilizar una silla de ruedas, es brindar un mejor movimiento, confort y aumentar la funcionalidad hacia las personas con Distrofia Muscular, siendo una

vinculación directa con la silla de ruedas que se encuentra a las órdenes del paciente donde se la empleara según sus necesidades. Se encuentra una escala grande de enfermedades donde existe mayor debilidad y su ocupación se distingue con más dificultad siendo el uso fijo de ella cumpliendo con las demandas posturales por lo tanto existirán dos tipos de silla de ruedas, la primera con el paciente circular y la segunda la silla con un uso permanente del usuario no ambulante. (Dra.Zgaga, 2011).

### *A. Epidemiología*

Todas las enfermedades neuromusculares están clasificadas como dolencias raras, lastimando a una pequeña parte de la localidad con un alcance parcialmente bajo, por lo tanto el ánimo de investigación y desarrollo son minúsculos comparados con otras anomalías, sin embargo la financiación de recursos materiales como sillas de ruedas electrónicas o bipedestadoras se han puesto en tendencia ayudando a realizar estudios epidemiológicos para obtener una idea de las diferentes patologías a nivel nacional. (Loureiro Pereira, 2011).

### *B. Etiología*

Las distintas causas de las enfermedades son abundates originalmente causados por origen genético y principio adquirido, dependiendo del origen de la enfermedad, el paciente tendrá un proceso de cura diferente. Enfermedades de origen genético se presenta por la alteración de un gen determinado. (Loureiro Pereira, 2011). Puede ser por las siguientes causas:

- La existencia de una irregularidad cromosómica.
- El daño y/o exceso de una fracción de cromosoma.
- El defecto de un gen (mutación). (Loureiro Pereira, 2011).

### 1.5.2 Minusvalidad de las extremidades inferiores

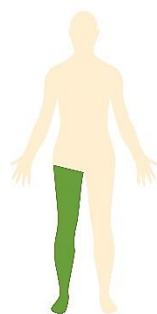
En la actualidad muchas personas son las que exhiben los problemas de minusvalidad primordialmente en las extremidades inferiores que pueden ser originadas en dos campos motoras y fisiológicas.

#### A. Minusvalías motoras

“Las Minusvalías Motoras son una alteración del aparato motor causada por un funcionamiento deficiente del sistema nervioso central, del sistema muscular, del sistema óseo o una interrelación de los tres sistemas que dificulta o imposibilita la movilidad de una o diversas partes corporales.” (Basil, 1997).

- **Monoplejía**

Enfermedad que solo afecta a una sola extremidad. (Cruzado, 2007)



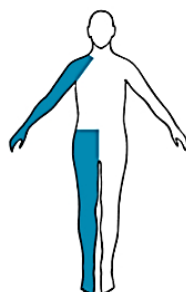
**Figura 1.** Monoplejía

Fuente: (Tipos de Discapacidad, 2018)

- **Diaplejía**

Cuando a la persona la enfermedad afecta las dos extremidades. (Cruzado, 2007)



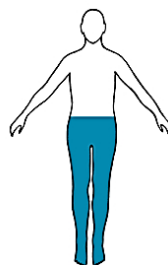


**Figura 2.** Diaplejía

Fuente: (Tipos de Discapacidad, 2018)

- **Paraplejía**

La enfermedad afecta a la persona en sus dos extremidades inferiores. (Cruzado, 2007)



**Figura 3.** Paraplejía

Fuente: (Rehabilitación e Intervención Especializada, 2018)

### *B. Minusvalías fisiológicas*

En este tiempo no son admitidas como minusvalías si no más conocidas como cambios de la columna vertebral.

- **Cifosis**

La columna vertebral expone una ligera curvatura hacia adelante en las vértebras de la parte superior de la espalda.



**Figura 4.** Cifosis

Fuente: (Cruzado, 2007)

- **Lordosis**

Esta dolencia se trata de una convexidad y progresiva de la curva lumbar de la columna vertebral.



**Figura 5.** Lordosis

Fuente: (Cruzado, 2007)

- **Escoliosis**

En la columna vertebral se exhibe una curvatura hacia los lados.



**Figura 6.** Escoliosis

Fuente: (Cruzado, 2007)

### *1.5.3 Antropometría de las extremidades inferiores*

La antropometría es aquella que destina un grupo de medidas que podemos realizar en el cuerpo humano, empleando equipos de evaluación adecuados, ajustándose a modelos internacionales con la intención de explicar aspectos referentes al aumento o disminución de la masa (cantidad de cuerpo), conocer el tamaño de ritmo y prontitud de crecimiento de un sujeto en un momento dado o en una serie gradual de momentos.

Las mediciones antropométricas deben ser exactas, precisas y de forma simétrica, para lo cual se utilizan los siguientes aparatos de medición que previamente deben estar correctamente calibrados:

- **Tallímetro (ó estadiómetro)**

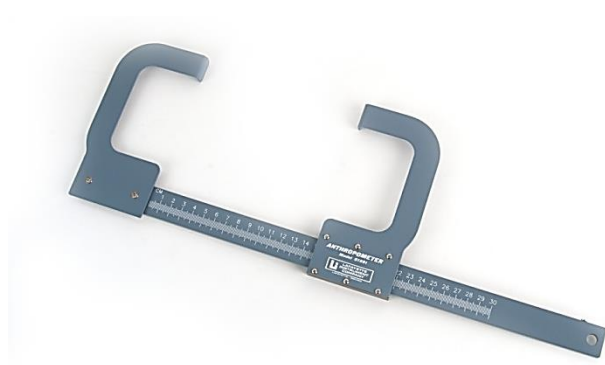
Sirve para evaluar la estatura y la talla sentado. Puede ser una cinta milimétrica sostenida en la pared y con un cursor escurridizo para indicar la medición, o bien un aparato diseñado específicamente para tomar medidas. La precisión debe ser de 1 mm.

- **Báscula**

Sirve para calcular el peso y debe tener una importancia entre 0 y 150 Kg. Podrá ser mecánica o digital, pero obligadamente tendrá una precisión de menos 100 gr, aunque es aconsejable que tenga una exactitud de 50 gr.

- **Antropómetro.**

Es una barra metálica con un cursor resbaladizo y comúnmente puede alargarse gracias a una serie de ramas desarmables. Sirve para medir longitudes y tiene una precisión de 1 mm. El rango va de pocos centímetros hasta 2 metros. Por lo tanto, puede calcular desde diámetros a longitudes y alturas.



*Figura 7.* Antropómetro

Fuente: (TAQ Sistemas Médicos, 2018)

- **Cinta Antropométrica**

Ayuda a medir perímetros y ubicar los puntos medios de la sección corporal. Tiene que ser de un material flexible y no extensible y de una anchura máxima de 7 milímetros. Es

conveniente que la proporción no comience justo en el extremo de la misma para permitir el sondeo de los perímetros.



**Figura 8.** Cinta Antropométrica

Fuente: (Tramontina, 2018)

- **Calibres de ramas curvas**

Para la medición del espesor antero-posterior del tórax es necesario esta herramienta, el que tiene dos brazos o secciones curvas. Permite que las mismas se ubiquen por arriba del hombro para localizar las posiciones anatómicas correctos.

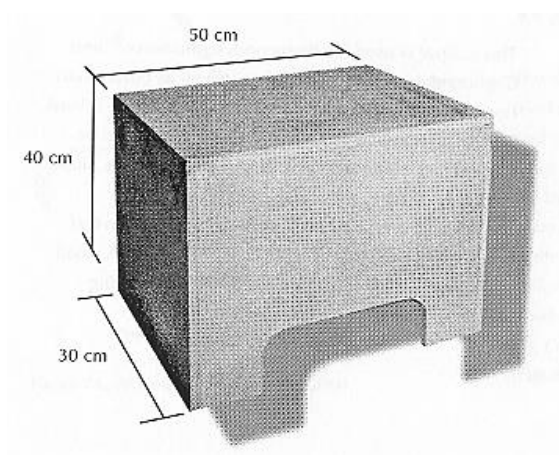


**Figura 9.** Calibres de ramas curvas

Fuente: (Galeon, 2018)

- **Banco antropométrico**

Sirve para medir la estatura sentada y para permitir la toma de medidas al poder colocarse el sujeto en él o apoyar los pies y que de esta forma el antropometrista no se incline para realizar la evaluación. Lo considerable es que sea horizontal, con una superficie lisa y homogénea, y de una altura conocida. (Norton & Olds, 1996).



**Figura 10.** Banco antropométrico

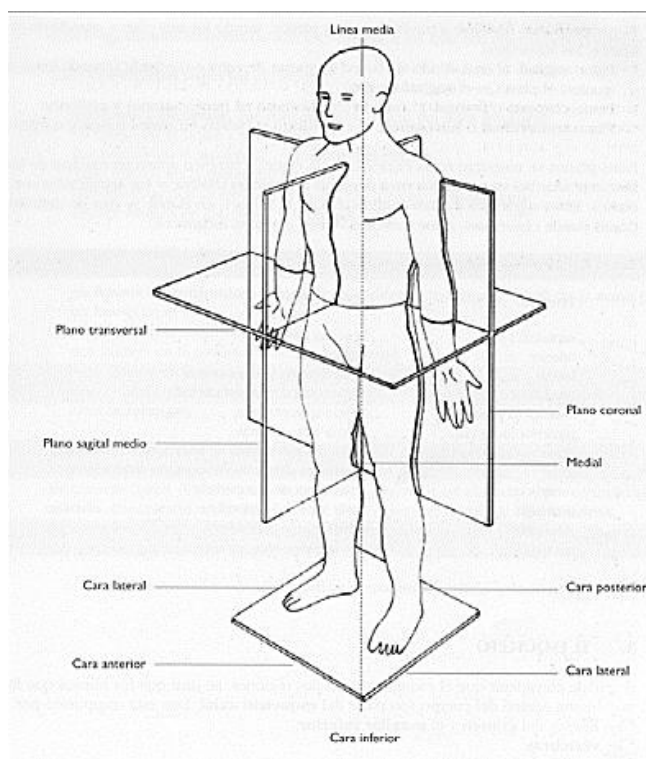
Fuente: (Phoenix Technology, 2018)

#### *A. La localización de los puntos antropométricos básicos*

Las medidas se ejecutan con el sujeto en la postura antropométrica de alusión. El sujeto se localiza de pie, con la cabeza y ojos dirigidos al frente y las extremidades superiores e inferiores distendidas a lo largo del cuerpo y dedos alargados. Las palmas de las manos estarán situadas hacia

el cuerpo, mientras que en la posición morfológica de referencia están en supinación. El peso del cuerpo tiene que estar apoyado por igual en ambas piernas, mientras que los pies se sitúan con los talones juntos y formando un ángulo de 45° entre sí.

Según esta posición básica se definen tres planos y tres ejes: (ISAK, 2001)



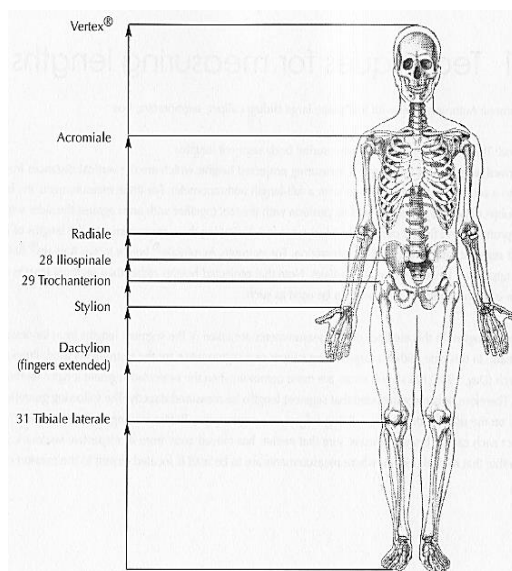
**Figura 11.** Planos antropométricos

Fuente: (Instituto Educativa Dulce Nombre de Jesús, 2017)

- El plano sagital o antero-posterior.
- El plano frontal o coronal.
- El plano Transversal
- El eje lateral, transversal u horizontal. También conocido como eje “X”.
- El eje longitudinal, vertical, cráneo-caudal, o eje “Y”.

- Sagital, ventro- dorsal, antero-posterior, o eje “Z”.

### *B. Medidas antropométricas*



**Figura 12.** Alturas proyectadas desde el suelo

Fuente: (Quintana, 2017)

- **Peso(P)**

Se valora con una balanza, sin que la persona mire el registro de la misma. Se apunta el peso del sujeto en kilogramos con la diferencia de una décima de kilo, aunque es recomendable una precisión de 50 gr.



- **Talla (T o H)**

Se utiliza el tallímetro o el antropómetro y es la longitud del suelo al vértex. El sujeto debe estar de pie, con los talones unidos y los pies creando un ángulo de 45°. Los talones, glúteos, espalda y región occipital deben de estar en contacto con la superficie vertical del antropómetro. El registro se toma en centímetros, en un entusiasmo forzado el sujeto y con una ligera tensión del antropometrista desde el maxilar inferior.

- **Talla Sentado (Ts)**

Es la distancia desde el vértex a la superficie horizontal donde está sentado el sujeto, expresada en centímetros. Se puede tomar la altura desde el suelo al banco y luego restar la altura del banco, o bien, tomar la altura desde el banco al vértex directamente (Figura 24). El ángulo entre piernas y tronco debe ser de 90°. La espalda y la cabeza deben de estar verticales y se realiza la medición durante una inspiración forzada y con la cabeza en el plano de Frankfort. El resultado se registra en cm. (Norton & Olds, 1996)

- **Radial (Rd)**

Es la distancia desde el punto radial al plano de apoyo.

- **Trocantérea (Tr)**

Es el recorrido desde el punto trocánteres al plano de soporte.

- **Tibial lateral (Tb)**

Es el trayecto desde el punto tibial lateral al plano de afirmación.

### *C. Medidas extremidades inferiores*

- **Extremidad Inferior ( $T - T_s$ )**

Es la desigualdad entre la talla  $T$  y la talla  $T$  sentado. Pero en algunas fuentes se considera esta longitud la altura ileocrestal o la altura trocantérea.

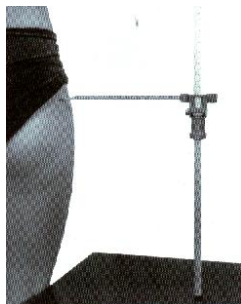


**Figura 13.** Medida de talla ileocrestal

Fuente: (Antropometria , 2018)

- **L. Muslo 1 ( $T - T_s - T_b$ )**

Es el producto de restar a la talla del sujeto a la talla sentado y la altura tibial.

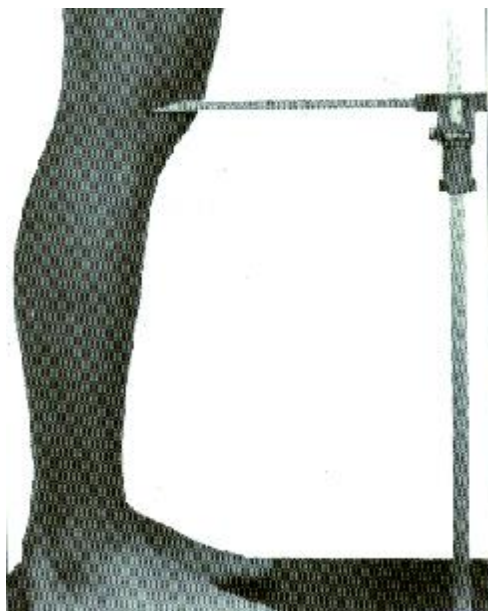


**Figura 14.** Medición de la altura trocantérea – caja

Fuente: (Antropometria , 2018)

- **L. Muslo 2 (Tr - Tb)**

Se consigue la diferencia entre la altura trocánteres y la tibial, de manera directa será la distancia entre el punto trocantéreo y el tibial.

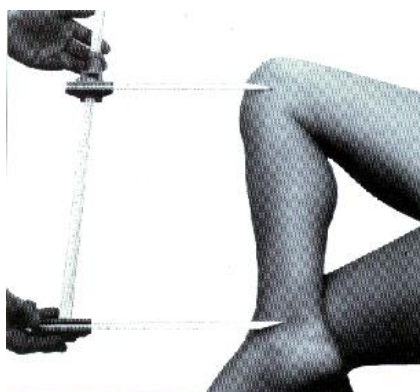


**Figura 15.** Medición de la altura tibial lateral

Fuente: (Antropometria , 2018)

- **L. Tibia**

Es el cálculo directo desde el punto tibial medial al punto maleolar tibial. Para medirle a la persona debe cruzar la pierna derecha sobre la izquierda dejando la cara medial de la pierna tendida.



**Figura 16.** Medición de la longitud segmentaria tibial medialmaleolar

Fuente: (Antropometria , 2018)

Determinadas variables antropométricas producen las evaluaciones en los individuos, se califican por clases, como patrón será el peso corporal de un remador la cual podría ser clasificada como “peso pesado” o “peso liviano”. Las variantes de este tipo son llamadas peculiares. Las capacidades analizadas en este capítulo son apropiadas sólo para variables cuantitativas, para las cuales los valores son números. Las técnicas son apropiadas para variables cuantitativas, que tienen muchos valores posibles, o que pueden asumir cualquier valor dentro de un rango específico. (MacDougall, J.D., Wenger, & H.A, 1991).

#### *1.5.4 Estaciones bipedestales*

- **Estación**

Conjunto de instalaciones en los que se realiza una actividad determinada.

- **Bipedestador**

Aparato que permite elevar a una persona hasta la posición vertical.

Los bipedestadores para adultos se utilizan en terapias de rehabilitación y ayuda a la movilidad. El bipedestador bloquea las rodillas contra las almohadillas, posiciona los pies en la placa para el pie y al elevar la pelvis, el usuario puede cambiar de una posición sentada a una de pie paso a paso, dependiendo de su habilidad y capacidad.

Existen bipedestadores manuales que han de ser usados con ayuda de otra persona y bipedestadores eléctricos en los que el propio usuario puede ponerse de pie de manera autónoma. (Marck, 1995).

El acto de estar de pie ayuda a alargar los músculos y tendones; impide las lesiones, mejora la circulación, extiende la cavidad abdominal para respirar, previene la osteoporosis y facilita la función de los procesos digestivos ayudando en la evacuación. Permite estar de pie seguro, estable e independiente.

*A. Los beneficios de la bipedestación*

- Permite la inhalación
- Apoya a la resistencia cardiovascular
- Prosperidad en el drenaje urinario
- Modera el riesgo de úlceras
- Mejora la digestión y las funciones intestinales
- Mejora el tono muscular y reduce la espasticidad

- Incrementa la circulación
- Facilita almacenar peso en los miembros inferiores
- Beneficia el desarrollo óseo
- Modificar la asimetría postural
- Ayuda a obtener equilibrio físico

Actualmente existe una amplia propuesta de productos para la discapacidad, y en este caso los bipedestadores o parapodiums pueden variar mucho de precio, por las marcas y accesorios.

En ocasiones se puede pensar que, al no contar con el dinero suficiente, no se puede conseguir un bipedestador básico, pero se pueden mandar a reizar, en una carpintería, como la imagen que se presenta a continuación:



**Figura 17.** Bipedestador Básico

Fuente: (Espina Bifida, 2017)

Radica en un cajón opaco cerrado, se aloja al niño con su órtesis y estabilizador para evitar el arqueamiento de la rodilla. La reglamentación de la altura se logra a través de una bandeja móvil

interior. En la parte inferior un gran bloque compacto para lograr la estabilidad. Además, se coloca una bandeja en la parte superior frontal para diferentes usos.



**Figura 18.** Bipedestador estático

Fuente: (Ortopediasilvio, 2017)

Los bipedestadores estáticos que se consiguen en el mercado, por lo general las extremidades inferiores están sujetas con firmeza con cintas acolchadas. El bipedestador puede estar arriba de un apoyo con ruedas, lo que permite que el niño se translade a distancias cortas. De preferencia son necesarias las ortesis para mejorar la alineación del tobillo y del pie. (Marck, 1995).

El nivel de restricción motriz se cuenta con complementos necesarios para mantenerse de pie a una persona, como bandas de sujeción con terminación en velcro o correas ajustables.

Generalmente van colocadas a nivel de los tobillos, las rodillas, la cintura, la espalda y en algunos casos en el nivel de los hombros.

La mayoría de discapacitados cuenta con una mesa ocupacional ajustable, conveniente para los usuarios que tienen buen dominio de sus miembros superiores y les permite realizar actividades sobre ella.

Existen bipedestadores para niños, para adultos o eléctricos de traslado.



*Figura 19.* Bipedestador automático

Fuente: (Struzzo, 2018)

La ocupación de un bipedestador debe ser indicado por el médico tratante, ya sea fisioterapeuta o rehabilitador físico, de la elección dependerá de las limitaciones actuales del paciente y de las metas a alcanzar.

El tiempo de uso diario también varía, y se requiere de hacerlo en forma gradual para que los músculos, los huesos y demás sistemas corporales se vayan adoptando poco a poco. Revisar regularmente los medios de sujeción para evitar que se produzcan puntos de presión en la piel del paciente, de ser así suspender su uso hasta hacer los ajustes necesarios. (Marck, 1995).

### *1.5.5 Estructura de bipedestación*

Los bipedestadores encontrados van desde procedimientos de madera toscos que sirven únicamente como seguros posturales, pero que no reflejan realmente el perfil psicológico de las



personas aún más tratándose cuando son diseñados para niños; hasta nuevos sistemas de un muy elevado precio.

#### *A. Camilla bipedestadora*

Aparato mecánico que con correas nos ayuda a colocar al enfermo en una posición bípeda. La estructura está hecha de un tubo de acero cuadrado y tabla bipedestadora tapizada acolchada, con correas de sujeción con cierre de velcro a nivel del tórax, la cadera y las rodillas. Cuatro ruedas dobles para facilitar su movimiento.



**Figura 20.** Camilla bipedestadora

Fuente: (Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina, 2015)

#### *B. Bipedestador fijo pediátrico.*

El armazón está confeccionada por su base de madera con varillas de tubo de acero pintado, manteniendo los pies ajustables. Apoyo posterior para piernas regulable en altura. Sujeciones pélvicas y torácicas con correas con ceñidor de velcro, regulables en altura



**Figura 21.** Bipedestador fijo pediátrico

Fuente: (Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina, 2015)

### *C. Bipedestador infantil.*

Bipedestador con principio de apoyo ordenada en sus cuatro fases conservando la línea de gravedad.

- Orden posicional para facilitar el desplazamiento de la mesa de apoyo.
- Mesa con abertura funcional.
- Contenedor infrarotuliano de acero inoxidable con escotaduras acolchadas
- Talonera de contención con cierre en belcro.



**Figura 22.** Bipedestador Infantil

Fuente: (Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina, 2015)

#### *D. Plano inclinado y bipedestador*

Permite una inclinación de 0° a 40° y un alejamiento de piernas de 48° respetando el punto de apoyo fisiológico de la cadera

- El soporte del tronco está formado por varias piezas regulables.
- Los soportes de rodillas tienen un agujero central para disminuir la presión sobre las rótulas.
- Los reposapiés son regulables en altura, profundidad e inclinación.



**Figura 23.** Plano inclinado y bipedestador

Fuente: (Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina, 2015)

#### *E. Bipedestador con tabla de variación posicional*

- Armado telescópicamente y regulable.

- Accionamiento de elevación posicional a manivela.
- Tabla bipedestadora con base para pies con reposapiés
- Estabilizadores laterales a nivel costal.
- Separador de entrepiernas.
- Base con cuatro ruedas de bloqueo individual.
- Mesa de contención y juego, con guía posicional regulable.



**Figura 24.** Bipedestador con tabla de variación posicional

Fuente: (Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina, 2015)

#### *F. Levo LCEV: Silla eléctrica con función de bipedestación*

Es una silla eléctrica con función de bipedestación, lleva incorporado un pequeño mando, por medio del cual se adquiere la bipedestación apretando un botón.

Tanto la altura de los apoyabrazos, la profundidad de asiento, así como el plegado de los apoyapiés y el ajuste del ángulo del respaldo se pueden regular.



**Figura 25.** Silla eléctrica con función de bipedestación

Fuente: (GeriatríaSCI, 24)

### *G. Bipedestador infantil CAT*

- Sistema de madera para bipedestación de niños con seguros posteriores.
- Base rectangular igualmente en madera
- Ruedas con seguro individual
- Objeto decorativo lateral
- Fijación costal



**Figura 26.** Bipedestador infantil CAT

Fuente: (Andadores Infantiles, 2017)

#### *H. Sistema de bipedestación Infantil con mesa*

- Sistema mixto con piezas en madera y piezas en tubo metálico
- Sujetador de rotula frontal
- Base de madera plana
- Sistema con ruedas con seguro individual
- Mesa funcional de altura regulable
- Espaldar plano
- Sujetador de pies con aseguro en velcro
- Seguro poplíteo de correa



**Figura 27.** Sistema de bipedestación infantil con mesa

Fuente: (Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina, 2015)

### *1.5.6 Medidas de seguridad*

#### *A. Postura en la estación bipedestal*

Para el correcto uso de la maquina bipedestadora se debe adquirir una posición adecuada y confortable principalmente para los beneficiarios pues resulta muy apropiado ajustar la estación de acuerdo a la necesidad que presenta cada usuario.

- Conservar una apropiada alineación de pelvis y de columna.
- Sostener un buen equilibrio cuando se encuentra el usuario en posición vertical.
- Conservar la función respiratoria.
- Permitir el movimiento de los brazos.
- Simplificar el trabajo del operario.

#### *B. Normas de uso*

- Para el primer uso, librarse de caídas y situaciones peligrosas, es preferible ensayar en lugares planos y de una persona que le esté acompañando durante su trayectoria.

- Al momento de usar la silla bipedestadora verificar que todas las seguridades se encuentren ubicadas correctamente y se encuentren en perfectas condiciones.
- Durante el trayecto la maquina en las partes tapizadas pueden generar una temperatura alta en relación al cuerpo del usuario causándoles lesiones en la piel, razón por la cual la maquina debe pasar protegida de los rayos solares.
- La estación bipedestal no puede trasladar a más de una persona y que no posea el peso requerido para que pueda trasladarse sin ningún problema.
- Evitar los obstáculos principalmente con los baches en el camino, al no existir la manera de eludirlos, se debe cruzar con un ángulo de 90 grados.
- No realizar movimientos bruscos que cambien el punto de equilibrio de la bipedestadora y pueda presentarse un accidente.
- Obviar el empujón hacia la persona discapacitada antes del frenado en un escalón o bordillo pues podría rodar hacia delante.
- El usuario para ascender una rampa debe asegurarse que sean normalizadas (10 grados de elevación y 1 metro de distancia).
- No conducir la maquina con algún efecto de alcohol o medicamentos.



## CAPÍTULO II

### DISEÑO MECATRONICO

El capítulo se basa en el diseño del bipedestador. Se inicia con el diseño conceptual en el que se realiza la matriz de la calidad para definir las principales necesidades del usuario y sus respectivas características técnicas. En base a los resultados se establecen los subsistemas correspondientes y se plantean alternativas para el diseño de cada uno de los elementos y se realiza la evaluación de las ventajas y desventajas de cada uno a fin de seleccionar la mejor alternativa. Finalmente se realizan los cálculos y dimensionamiento de cada uno de los elementos que formarán parte del bipedestador.

#### **2.1 Matriz de la calidad**

En la matriz de la calidad se establecen las necesidades del cliente lo que permite identificar los requerimientos técnicos del diseño y sus niveles de importancia, a fin de hallar los subsistemas correspondientes.

##### *2.1.1 Definición de las necesidades*

Las necesidades son aquellos requerimientos del usuario para que el producto final sea funcional y cumpla con las características planteadas. De esta forma se puede realizar un diseño óptimo del producto.

Las necesidades planteadas para el diseño del Bipedestador se establecen en la Tabla 1, mostrada a continuación. Estas necesidades permitirán establecer posibles soluciones en la elaboración del proyecto y constituye el punto de inicio para el diseño del bipedestador con la

finalidad de crear diversos conceptos factibles y finalmente seleccionar el mejor de ellos que brinde una mejor funcionalidad sea económica y eficiente.

**Tabla 1.**

*Requerimientos o necesidades del consumidor*

No.	Requerimiento
1	Que sea liviano
2	De fácil montaje, operación y mantenimiento
3	Que la velocidad de traslado permita un movimiento rápido
4	Agradable a la vista
5	Que la estructura cargue 100 kg
6	Que evite obstáculos, paredes y detecte desniveles del suelo
7	Que el tiempo de uso sea de aproximadamente 2 horas

*2.1.2 Definición de características técnicas*

Después de haber analizados las necesidades del usuario, se puede establecer un lenguaje técnico para cada requerimiento como se muestra en la Tabla 2.

**Tabla 2.***Especificaciones técnicas del proyecto*

<b>No.</b>	<b>Característica Técnica</b>
1	Dimensiones, peso de materiales
2	Manual de usuario
3	Velocidad de motores
4	Acabados superficiales
5	Tipo de actuador
6	Sensores y tarjeta de control
7	Tipo de Batería

**2.1.3 QFD**




La función de desarrollo de la calidad “Quality Function Deployment”, permite relacionar las necesidades del cliente con las características técnicas.



Para el análisis de correlaciones se utiliza la simbología japonesa que se indica en la Tabla 3.

**Tabla 3.**

*Escala japonesa de correlación entre requerimientos*

Muy correlacionado		9
Correlacionado		3
Poco correlacionado		1
Ninguna		0

Fuente:

En la Figura 28 se muestra la Matriz QFD, realizada a partir de las necesidades del consumidor y correlacionando con los requerimientos técnicos. En la Tabla 4, se indican los resultados obtenidos.

**Tabla 4.**

*Resultados de la matriz QFD*

No.	Característica Técnica	Puntuación
1	Velocidad de motores	16.46 %
2	Tipo de actuador	15.43 %
3	Tipo de batería	15.02 %
4	Sensores y Tarjeta de Control	15.84 %

5	Dimensiones y Peso de materiales	15.43 %
6	Manual de usuario	10.91 %
7	Acabados superficiales	10.91 %

## 2.2 Factibilidad y planeación

### 2.2.1 Estructura funcional

Una vez determinadas las características técnicas más importantes se procede a determinar las posibilidades para implementar los diseños. Considerando los siguientes módulos mostrados en la para el diseño del bipedestador

#### Tabla 5.

##### *Subsistemas definidos para el diseño*

No.	Característica Técnica	Función
1	Velocidad de motores	Determina el tipo de motores a utilizar en el diseño.
2	Sensores y Tarjeta de Control	Determina los sensores que se utilizarán para evitar obstáculos y la tarjeta de control para un correcto funcionamiento.
3	Tipo de actuador	Determina el tipo de actuador que se utilizará.
4	Materiales	Determina los materiales que se utilizarán en función de sus características.
5	Tipo de Batería	Determina el tipo de batería que se utilizará.

El proceso de diseño de un producto según (Ulrich & Eppinger,2012), presenta dos etapas:

- **Diseño Preliminar:** en esta etapa se enumeran, evalúan y selecciona las alternativas de diseño.
- **Diseño Final:** en esta etapa se desarrollan las alternativas seleccionadas. Para el presente proyecto, se consideran el diseño mecánico, electrónico, de control y de software.

## **2.3 Subsistema mecánico**

### *2.3.1 Estructura*

#### *A. Alternativas de diseño*

#### **Acero**

El acero es una aleación de hierro con una cantidad de carbono que puede variar entre 0,03% y 1,075% en peso de su composición, dependiendo del grado.

El acero conserva las características metálicas del hierro en estado puro, pero la adición de carbono y de otros elementos tanto metálicos como no metálicos mejora sus propiedades físico-químicas, sobre todo su resistencia.

#### Características

- Densidad media: 7850 kg/m<sup>3</sup>.
- Se puede contraer, dilatar o fundir, según la temperatura.
- Su punto de fusión depende de la aleación y los porcentajes de elementos aleantes.
- Punto de ebullición: alrededor de 3.000 °C.

- Es un material muy tenaz, especialmente en aleaciones usadas para herramientas.

## Aluminio

El aluminio puro es blando y tiene poca resistencia mecánica, pero puede formar aleaciones con otros elementos para aumentar su resistencia y adquirir varias propiedades útiles.

### Características

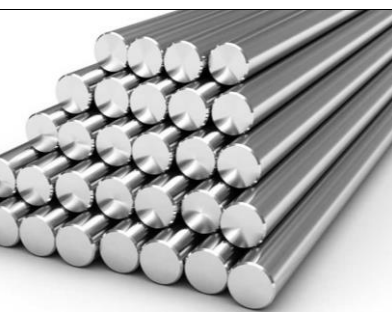
- Ductilidad
- Baja densidad
- Resistencia frente al peso
- Durabilidad

### *B. Evaluación y selección de alternativas*

A continuación, en la Tabla 6 se detallan las alternativas para la selección de la mejor opción.


## Tabla 6.

### *Alternativas material estructura*

Solución	Imagen	Características
Acero  Solución A		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo: \$2</li> <li>- Densidad: 7850 kg/cm<sup>3</sup></li> <li>- Punto de ebullición alrededor de 3000 °C</li> <li>- Material muy tenaz</li> </ul>



---

		<ul style="list-style-type: none"><li>- Es maleable</li><li>- Permite una buena mecanización en máquinas herramientas antes de recibir un tratamiento térmico.</li></ul>
Aluminio		<ul style="list-style-type: none"><li>- Costo: \$4</li><li>- Densidad: 2700 kg/cm<sup>3</sup></li><li>- Alta resistencia a la corrosión</li><li>- Se mecaniza con facilidad</li><li>- Buen conductor de la electricidad y el calor</li></ul>
Solución B		

---

Para la selección del Material de los ejes se considera los siguientes factores:

- Costo
- Peso
- Implementación

En la Tabla 7 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

**Tabla 7.***Ponderación de criterios de evaluación del material de la estructura*

criterio	Costo	Peso	Implementación	<b>TOTAL</b>	
Costo	-	1/10	1	1.10	6%
Peso	10	-	5	15.00	87%
Implementación	1	1/5	-	1.20	7%
				17.30	100%

A continuación se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla 8, Tabla 9, Tabla 10) para optimizar la selección y que el diseño cumpla con los requerimientos del usuario.

**Tabla 8.***Ponderación de costo para las alternativas del material de la estructura*

Costo	A	B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	10	10.00	99%
Solución B	1/10	-	0.10	1%
			10.10	100%

**Tabla 9.***Ponderación de peso para las alternativas del material de la estructura*

Peso	A	B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	5	5.00	96%
Solución B	1/5	-	0.20	4%
			5.20	100%

**Tabla 10.***Ponderación de implementación para las alternativas del material de la estructura*

Implementación	A	B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	1/5	0.20	4%
Solución B	5	-	5.00	96%
			5.20	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 mostrada en la Tabla 11 por ser la que cumple con los criterios planeados.

**Tabla 11.**

*Conclusión en la selección del material de la estructura*

	Costo	Peso	Implementación	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A	0.0630	0.8337	0.0027	90%	1
Solución B	0.0006	0.0333	0.0667	10%	2

## **2.4 Subsistema electrónico**

### *2.4.3 Medio de transmisión de datos*

El medio de transmisión de datos permitirá la comunicación entre el robot y la computadora.

#### *A. Alternativas de diseño*

### **Comunicación Serial**

Un puerto serial es conocido también como RS-232. El término serial se refiere a los datos enviados mediante un solo cable, es decir los bits se envían uno detrás de otro.

#### Características

- La comunicación serial puede ser síncrona o asíncrona
- Fácil administración y configuración
- Se utiliza para transmitir datos en formato ASCII
- Bajo costo
- Permite trabajar en grandes distancias entre el emisor y el receptor (máx. 12000m)

### **Comunicación Bluetooth**

Es un protocolo de comunicación, se basa en una emisión de radiofrecuencia de baja potencia.

#### Características

- Elimina todo tipo de cables para las conexiones entre equipos
- Fácil instalación
- Lenta velocidad de transmisión
- Reducido alcance (máx. 30 m)
- Conexión universal para distintos dispositivos
- Soporta diversos tipos de datos para el envío
- Buffer limitado para transferencia de datos
- Dificultad para emparejar más de dos dispositivos



## B. Evaluación y selección de alternativas

De acuerdo con los requerimientos del proyecto para la comunicación de datos entre la PC y tarjeta de control, se necesita principalmente factores como:

- Debe ser económica
- La comunicación debe ser rápida
- Se debe transmitir cadenas de caracteres
- La distancia de transmisión es corta
- Debe permitir una conexión segura y confiable

**Tabla 12.**

*Alternativas para la selección del medio de transmisión de datos*

Solución	Imagen	Características
Comunicación Serial D-SUN USB a TTL		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Comunicación rápida</li> <li>- Distancia de transmisión corta</li> <li>- Costo: \$5</li> <li>- Velocidad: 112Kbps</li> <li>- Tamaño de datos: 1 bit de inicio + 5 a 8 bits de datos + 1 bit de parada</li> </ul>
Módulo Bluetooth		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo: \$7.50</li> <li>- Velocidad de 2 a 3 Mbps</li> <li>- Tamaño de datos: 8 bits de datos + 1 bit de parada</li> </ul>

Para la selección de los medios de transmisión de datos se considera los siguientes factores:

- Costo
- Velocidad
- Seguridad
- Implementación

En la Tabla 13 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

**Tabla 13.**

*Ponderación de criterios de evaluación para el medio de transmisión de datos*

criterio	Costo	Velocidad	Seguridad	Implementación	<b>TOTAL</b>	
Costo	-	1/10	1	5	1,10	3%
Velocidad	10	-	5	5	15,00	46%
Seguridad	10	1/10	-	1/10	10,20	31%
Implementación	1	1/5	5	-	6,20	19%
					32,50	100%

A continuación se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla 14, Tabla 15, Tabla 16, Tabla 17) para optimizar la selección y que el diseño cumpla con los requerimientos del usuario.

**Tabla 14.***Ponderación de costo para las alternativas del medio de transmisión de datos*

Costo	Solución A	Solución B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	10	10,00	99%
Solución B	1/10	-	0,10	1%
			10,10	100%

**Tabla 15.***Ponderación de velocidad para las alternativas del medio de transmisión de datos*

Velocidad	Solución A	Solución B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	10	10,00	98%
Solución B	1/5	-	0,20	2%
			10,20	100%

**Tabla 16.***Ponderación de seguridad para las alternativas del medio de transmisión de datos*

Seguridad	Solución A	Solución B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	1/5	0,20	4%
Solución B	5	-	5,00	96%
			5,20	100%



**Tabla 17.**

*Ponderación de implementación para las alternativas del medio de transmisión de datos*

Implementación	Solución A	Solución B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	5	5,00	96%
Solución B	1/5	-	0,20	4%
			5,20	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 de la Tabla 18 por ser la que cumple con los criterios planeados. Por lo tanto se selecciona el medio de transmisión serial.

**Tabla 18.**

*Conclusión en la selección de diseño del medio de transmisión de datos*

	Costo	Velocidad	Seguridad	Implementación	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A	0,0335	0,4525	0,0121	0,183431953	68%	1
Solución B	0,0003	0,0090	0,3018	0,007337278	32%	2
					100%	

## **2.5 Subsistema de control**

### *2.5.1 Tarjeta de control*

#### *A. Alternativas de diseño*

## **Arduino**

Arduino es una plataforma de hardware libre, basada en una placa con un microcontrolador y un entorno de desarrollo, diseñada para facilitar el uso de la electrónica en proyectos multidisciplinarios.

### Características

- Velocidad del reloj u oscilador
- Tamaño de palabra
- Memoria: SRAM, Flash, EEPROM, ROM, etc..
- I/O Digitales
- Entradas Analógicas
- Salidas analógicas (PWM)
- DAC (Digital to Analog Converter)
- ADC (Analog to Digital Converter)

## **Raspberry**

Es un sistema embebido que integra una computadora completamente funcional desarrollada por fundación Raspberry Pi.

### Ventajas

- Hasta 256 MB de memoria
- Hasta 700 MHz de velocidad de procesamiento
- Alimentación de 5 voltios
- Soporta distribuciones de Linux

- Bajo costo de adquisición

#### Desventajas


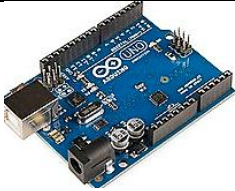
- Funciona sobre un sistema operativo
- Requiere de hardware adicional para la lectura de sensores
- Posee 8 pines digitales

#### *B. Evaluación y selección de alternativas*

A continuación, en la Tabla 19 se detallan las alternativas para la selección de la mejor opción.

**Tabla 19.**

*Alternativas para la selección de la tarjeta de control*

<b>Solución</b>	<b>Imagen</b>	<b>Características</b>
Raspberry Pi 3		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Sistema Operativo GNU/Linux</li> <li>- Capacidad de almacenamiento Tarjeta SD, SDHCM MicroSD</li> <li>- Costo: \$30</li> </ul>
Arduino		<ul style="list-style-type: none"> <li>- Costo: \$20</li> <li>- Voltaje de funcionamiento 5V</li> <li>- Alimentación 7-12 V</li> <li>- Pines digitales I/O 14</li> <li>- Corriente DC por I/O 40Ma</li> <li>- Voltaje máximo de entrada 20V</li> </ul>

Para la selección de la tarjeta de control se considera los siguientes factores:

- Velocidad
- Durabilidad
- Costo

En la Tabla 20 se presenta la ponderación de criterios teniendo en cuenta los factores importantes para la selección.

**Tabla 20.**

*Ponderación de criterios de evaluación para la selección de la tarjeta de control*

Criterio	Velocidad	Durabilidad	Costo	<b>TOTAL</b>	
Velocidad	-	10	1	11.00	40%
Durabilidad	10	-	5	15.00	55%
Costo	1	1/5	-	1.20	4%
				27.20	100%

A continuación se evalúa cada solución teniendo en cuenta los criterios propuestos (Ver Tabla 21, Tabla 22, Tabla 23) para optimizar la selección y que el diseño cumpla con los requerimientos del usuario.

**Tabla 21.**

*Ponderación de la velocidad para alternativas de la tarjeta de control*

Velocidad	A	B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	1/10	0.10	1%

Solución B	10	-	10.00	99%
			10.10	100%

**Tabla 22.**

*Ponderación de durabilidad de operación para alternativas de la tarjeta de control*

Durabilidad	A	B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	10	10.00	67%
Solución B	5	-	5.00	33%
			15.00	100%

**Tabla 23.**

*Ponderación de costo para alternativas de la tarjeta de control*

Costo	A	B	<b>TOTAL</b>	
Solución A	-	1/5	0.20	4%
Solución B	5	-	5.00	96%
			5.20	100%

De acuerdo a las ponderaciones alcanzadas se selecciona la solución con la prioridad 1 mostrada en la Tabla 24 por ser la que cumple con los criterios planeados.

**Tabla 24.***Conclusión en la selección de la tarjeta de control*

	Velocidad	Durabilidad	Costo	TOTAL	PRIORIDAD
Solución A	0.0040	0.3676	0.0017	37%	2
Solución B	0.4004	0.1838	0.0424	63%	1
				100%	

## 2.6 Conclusiones del listado de métricas

A continuación se muestra en la Tabla 25 el listado de métricas a considerar en el desarrollo del proyecto.

**Tabla 25.***Conclusión del listado de métricas*

Característica	Métrica
Tipo de motor	Motor DC
Sensores	Ultrasónico HCSR04
Tarjeta de control	Arduino
Tipo de actuador	Eléctrico
Materiales	Acero
Batería	Plomo Ácido

## 2.7 Generación de conceptos

### 2.7.1 Aclarar el problema

Una vez identificadas las características más importantes a tomar en cuenta en el diseño se procede a descomponer el problema principal, identificando ciertos parámetros que podrían ayudar en la generación de conceptos.

Se tomarán en cuenta los siguientes sub-problemas:

- ¿Qué tipo de ruedas se utilizarán?
- ¿De qué forma se soportarán los pies?
- ¿De qué forma se soportarán las rodillas?
- ¿De qué forma se soportará la cadera?

### 2.7.2 Explorar sistemáticamente

Se realizó un árbol de clasificación para explorar sobre las distintas posibilidades que se pueden utilizar para realizar la prótesis, en base a los sub-problemas seleccionados.

Para las ruedas se puede utilizar ruedas locas o ruedas giratorias como se muestra en la Figura 29.



**Figura 29.** Tipos de ruedas

Para las llantas de tracción se puede utilizar llantas de goma o llantas de naylon como se muestra en la Figura 30.



**Figura 30.** Llantas de tracción

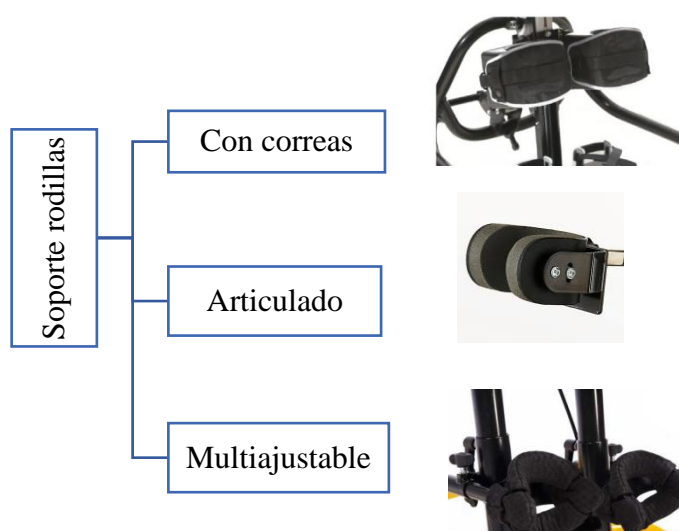
Para el reposapiés se puede utilizar uno con correas o uno con taloneras como se muestra en la Figura 31.





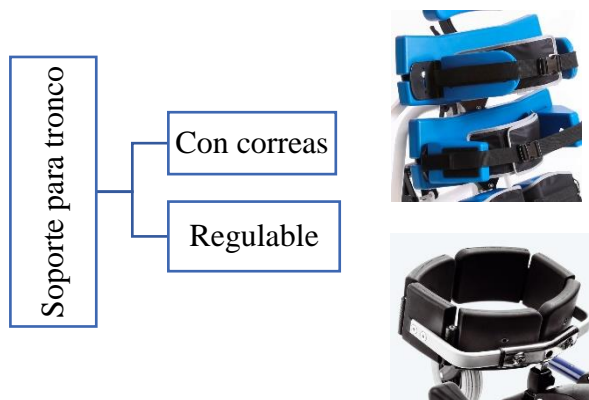
**Figura 31.** *Reposapiés*

Para el soporte de rodillas se presentan las siguientes opciones mostradas en la Figura 32.



**Figura 32.** *Soporte rodillas*

Para el soporte del tronco se presentan las siguientes opciones mostradas en la



**Figura 33.** *Soporte para tronco*

Una vez que se encontró la solución a los sub-problemas se procede a generar los conceptos, en base a las opciones que se tiene en cada sub-problema.

## **2.8 Conceptos generados**

### *2.8.1 Concepto 1*

#### **Características**

- Tipo de rueda: Rueda giratoria poliuretano
- Llantas de tracción: De naylon

- Sistema de elevación: Gata hidráulica
- Reposapiés: Con taloneras
- Soporte rodillas: Articulado
- Soporte para el tronco: Regulable

### **Ventajas**

- Seguro
- Facilidad adherencia
- Fácil montaje

### **Desventajas**

- Diseño complejo para la elevación de la gata hidráulica.
- Complejidad de uso del soporte del tronco.

### *2.8.2 Concepto 2*

### **Características**

- Tipo de rueda: Rueda giratoria poliuretano
- Llantas de tracción: De nylon
- Sistema de elevación: Gata hidráulica
- Reposapiés: Con taloneras
- Soporte rodillas: Multiajustable
- Soporte para el tronco: Con correas

### **Ventajas**

- Facilidad adherencia
- Fácil montaje

## **Desventajas**

- Diseño complejo para la elevación de la gata hidráulica
- Mecanismo inseguro para correcta sujeción de las rodillas

### *2.8.3 Concepto 3*

## **Características**

- Tipo de rueda: Rueda loca
- Llantas de tracción: De goma
- Sistema de elevación: Gata tipo tijera
- Reposapiés: Con correas
- Soporte rodillas: Con correas
- Soporte para el tronco: Con correas

## **Ventajas**

- Llantas absorben los impactos, además de ser resistentes a los químicos, aceites, sales, ácidos, grasa y agua. Poseen una gran durabilidad y facilitan el manejo de cargas pesadas; gracias a esto son ideales para aplicaciones con tracción mecánica.
- Facilidad de movimiento.
- Sujeción segura de la persona

## **2.9 Selección de concepto**

### *2.9.1 Matriz de selección*

Para calificar los conceptos se realizó una matriz de selección en la que se tomaron en cuenta parámetros como la construcción, operación, tamaño, montaje y desmontaje, mantenimiento,

confiabilidad y costo. A continuación se muestra en la Tabla 26 el sistema de calificación empleado.

**Tabla 26.**

*Sistema de calificación*

VALORIZACIÓN DE CRITERIOS	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	1-3	4-7	8-10
Construcción	Costosa	Normal	Económica
Operación	Difícil	Normal	Fácil
Tamaño	Grande	Normal	Pequeño
Montaje y desmontaje	Difícil	Normal	Fácil
Mantenimiento	Difícil	Normal	Fácil
Confiabilidad	Malo	Dudoso	Bueno

*2.9.2 Calificación y evaluación de los conceptos*

A continuación se presenta en la Tabla 27, un estudio para la selección de la mejor propuesta para el diseño del bipedestador, en la cual se analizará dos tipos de propuestas de diferentes funcionalidades, componentes mecánicos y electrónicos, donde se consideran varios criterios de selección.

Una vez que se determinó el sistema de calificación, se procede a calificar cada uno de los parámetros de los conceptos generados.

**Tabla 27.***Alternativas para la selección de conceptos*

Análisis de Alternativa					
No.	Criterio	Primer concepto	Segundo concepto	Tercer concepto	Real
		Calificación	Calificación	Calificación	
1	Construcción	3	8	7	10
2	Operación	5	6	9	10
3	Tamaño	7	7	7	10
4	Montaje y desmontaje	2	6	10	10
5	Mantenimiento	2	6	10	10
6	Confiabilidad	3	8	10	10
	Sumatorio	22	41	53	60
	Índice porcentual	22/60	41/60	53/60	
	Orden de selección	36.67 %	68.3 %	88.3 %	

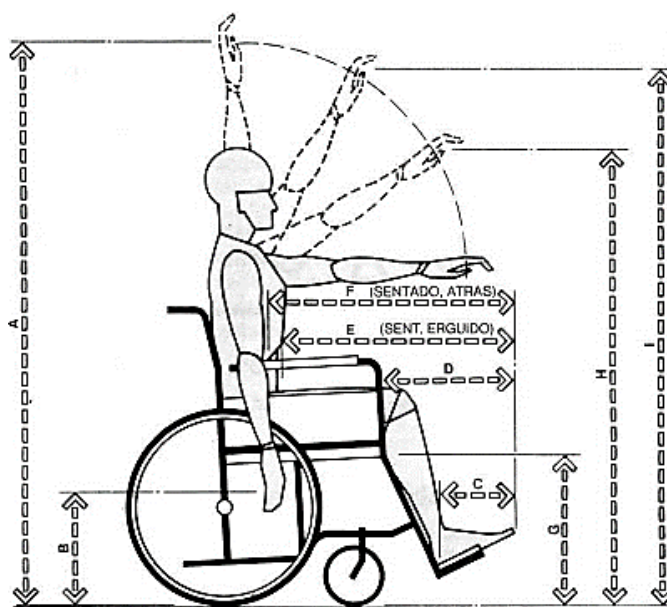
### 2.9.3 Evaluación de los resultados

- Con los resultados obtenidos, se observa que la mejor opción es el tercer concepto, ya que con este se plantea tener un bipedestador que sea de fácil construcción y montaje; que sea hecha con materiales livianos para cubrir con las necesidades anteriormente planteadas.
- Con este concepto se planea tener una construcción sencilla que no requiera de herramientas especiales para su ensamble ni de mano de obra altamente calificada.
- Se pretende que el equipo sea de fácil operación y que funcione de tal manera que no cause molestias al usuario.
- El montaje y desmontaje será fácil y es importante que los elementos del diseño deben ser muy simples, y estar constituidos por pocas piezas para poder reemplazar cualquier pieza y volver el diseño más económico.

### 2.10 Análisis dimensional

La antropometría se define como el estudio del tamaño, proporción, maduración, forma y composición corporal, y funciones generales del organismo, con el objetivo de describir las características físicas, evaluar y monitorizar el crecimiento, nutrición y los efectos de la actividad física.

Para el dimensionamiento de las partes del bipedestador se utilizó como referencia los datos obtenidos mediante análisis antropométricos para el diseño de muebles para personas con discapacidad (Gautibonza, s.f.). En la vista lateral de la Figura 34 se aprecia al usuario y la silla, junto con las medidas antropométricas masculinas y femeninas más importantes (ver Tabla 22).



**Figura 34.** Análisis antropométrico de los miembros inferiores-dimensiones

Fuente: (Gautibonza, s.f.)

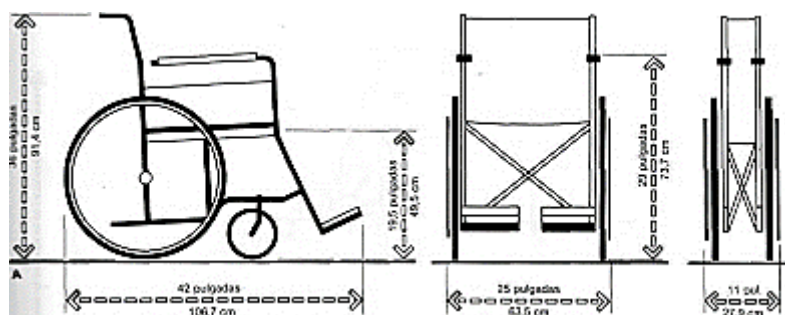
**Tabla 28.**

*Medidas antropométricas hombres y mujeres al 2.5º percentil*

	<b>Hombre</b>		<b>Mujer</b>	
	Pulgada	cm	pulgada	cm
<b>A</b>	62.25	158.1	56.75	144.1
<b>B</b>	16.25	41.3	17.5	44.5
<b>C</b>	8.75	22.2	7.0	17.8
<b>D</b>	18.5	47.0	16.5	41.9
<b>E</b>	25.75	65.4	23.0	58.4
<b>F</b>	28.75	73.0	26.0	66.0
<b>G</b>	19.0	48.3	19.0	48.3



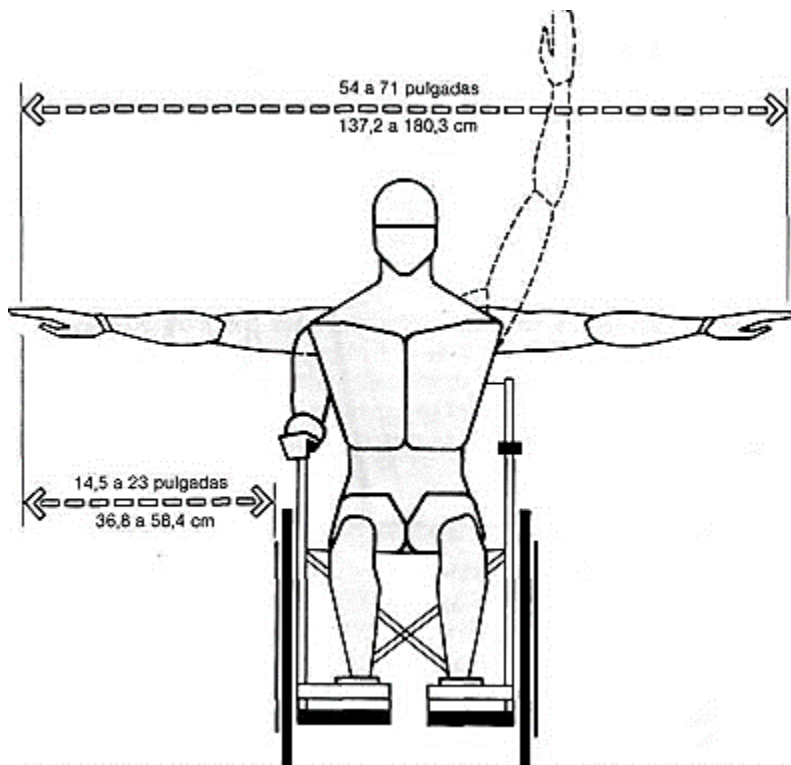
<b>H</b>	51.5	130.8	47.0	119.4
<b>I</b>	58.25	148.0	53.24	135.2



**Figura 35.** Análisis antropométrico de los miembros inferiores

Fuente: (Gautibonza, s.f.)

La totalidad de los datos de alcance corresponden al 2,5° percentil, a fin de acomodar a los usuarios de menor tamaño corporal.



**Figura 36.** Análisis antropométrico de los miembros inferiores

Fuente: (Gautibonza, s.f.)

### 2.11 Dimensionamiento motores plataforma

Para el dimensionamiento de los motores de la plataforma se debe establecer las cargas en estado de reposo que afectan el comportamiento del motor.

El análisis se realizó considerando que la persona se puede desplazar por un plano completamente horizontal como se muestra en la Figura 10.



**Figura 37.** Cargas presentes en el reposo del bipedestador

Para que el bipedestador inicie su movimiento sobre el plano necesita vencer la fuerza de fricción del piso y las llantas. Dicha relación se expresa:

$$f = \mu N \quad (2.1)$$

Donde  $f$  es la fuerza de rozamiento,  $\mu$  el coeficiente de fricción y  $N$  es la fuerza normal o reacción que se produce al estar en contacto las dos superficies, la las llantas y la del piso. La fuerza de rozamiento es la componente que debe ser vencida por el torque del motor como se muestra en la Figura 11.



**Figura 38.** Cargas presentes en el desplazamiento del bipedestador

La sumatoria de momentos respecto del sistema establece la relación de la ecuación 2.2.

$$T = f * R \quad (2.2)$$

Donde  $T$  es el torque del motor,  $f$  es la fuerza de rozamiento y  $R$  es el radio de la rodilla.

Para dimensionar correctamente los motores se debe considerar los límites de funcionamiento del mismo es decir simular el movimiento introduciendo la aceleración como se muestra en la ecuación 2.3.

$$\sum F_x = m * a$$

$$m * a = P + f$$

$$m * a = m * g * f \quad (2.3)$$

De la ecuación 2.3 se tiene que:

$$f = \frac{T}{R}$$

Reemplazando en la ecuación 2.4 se tiene:

$$m * a = m * g - \frac{T}{R} \quad (2.4)$$

Se procede a despejar T de la ecuación 2.5:

$$T = m * R * [g - a] \quad (2.5)$$

La ecuación 2.5 representa el torque necesario para que el bipedestador avance por el plano con velocidad variable utilizando un solo motor. Se debe considerar la eficiencia del motor ( $e$ ) y el factor de seguridad ( $f_s$ ). Obteniendo la ecuación 2.6:

$$T_m = f_s \left( \frac{100}{e} \right) * T \quad (2.6)$$

Con esto se tiene la ecuación 2.7:

$$T_{fm} = f_s \left( \frac{100}{e} \right) \{m * R * [g - a]\} \quad (2.7)$$

Para encontrar el dato numérico del torque se utilizaron los siguientes datos obtenidos en el análisis de marcha de una persona con los siguientes datos mostrados en la Tabla 29.

**Tabla 29.**

*Datos de la persona para dimensionamiento de motores*

<b>Sexo</b>	<b>Masculino</b>
Masa (m)	200 kg
Radio	0.1 m
Gravedad (g)	9.81 m/s <sup>2</sup>
Aceleración (a)	8.86 m/s <sup>2</sup>

Fuente: (Escobar, 2004)

Se calcula el torque que se muestra a continuación al reemplazar los valores en la ecuación 2.7.

$$T_{fm} = 2 \left( \frac{100}{90} \right) \frac{\{200kg * 0.1 m * [9.81 - 8.86 m/s^2 ]\}}{4}$$

$$T_{fm} = 10.44 Nm$$

$$T_{fm} = 106.37 kg * cm$$

A partir de estos datos se hace la selección de los motores el cual presenta los datos mostrados en la Tabla 30.

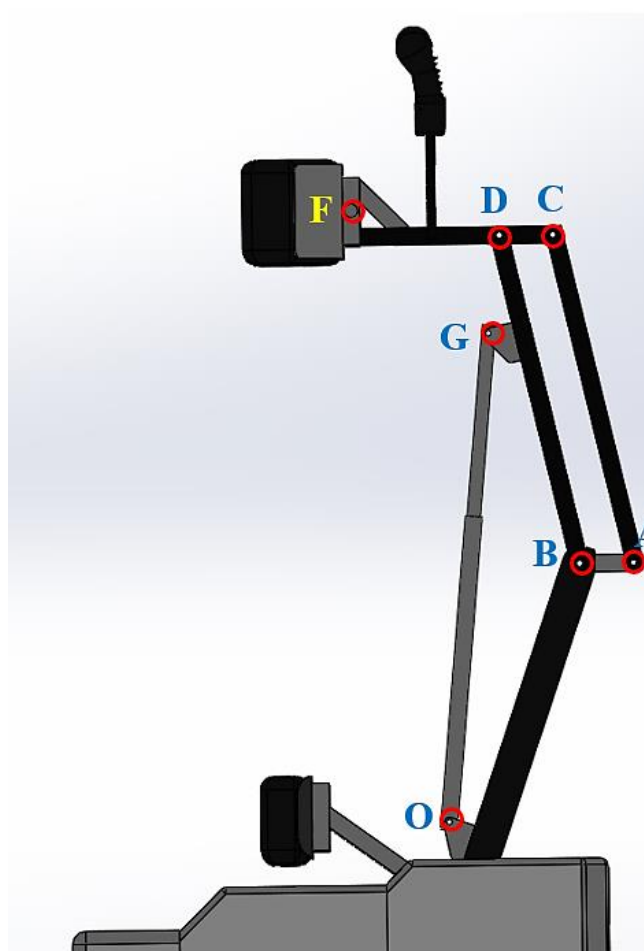
**Tabla 30.***Datos motor SF7152*

MOTOR SF7152	
Par de torsión	125 kg*cm
Velocidad de operación	132 rpm
Corriente	14.26 A
Voltaje	24.06 V

Fuente: (KINGRIGHT, s.f.)

## 2.12 Cálculo de reacciones

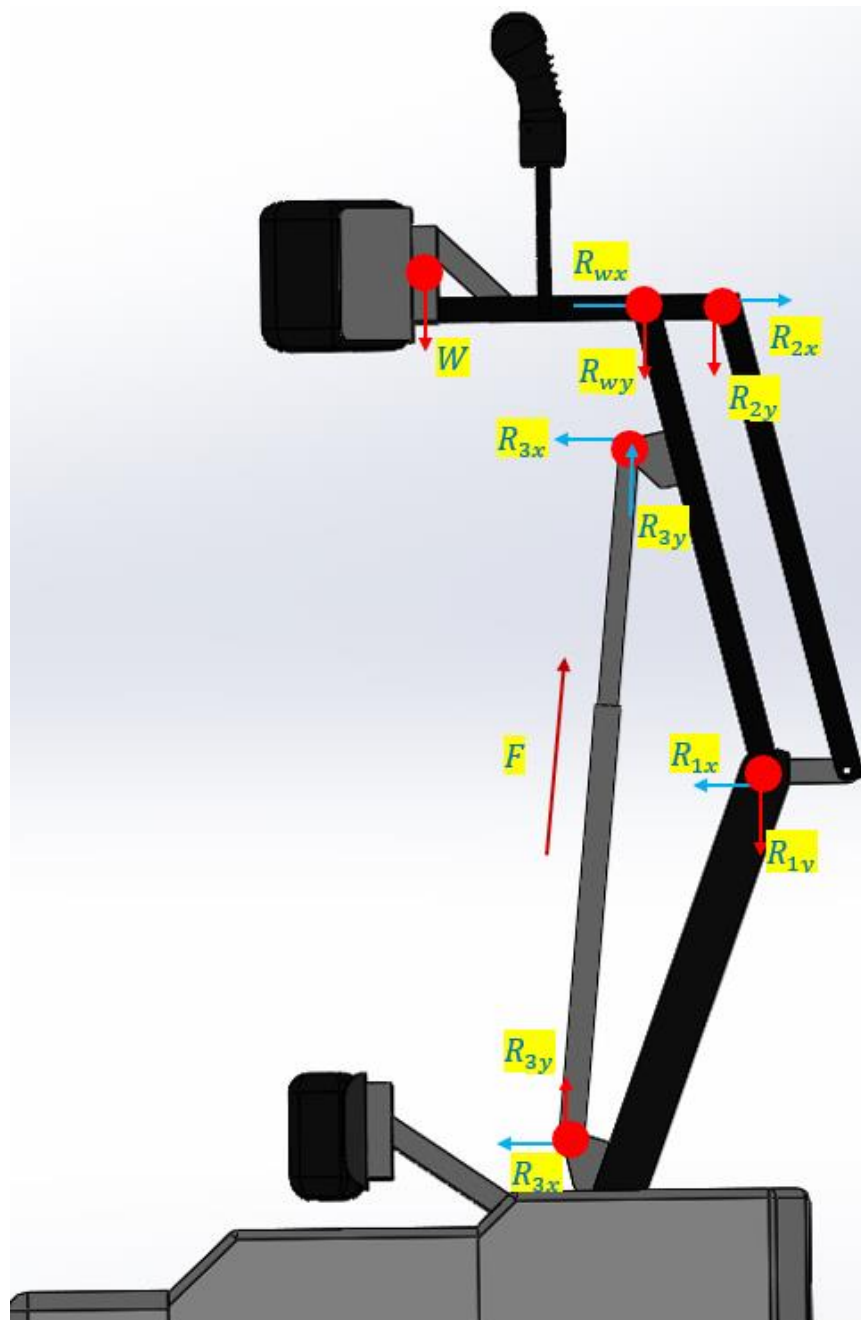
Se realiza el cálculo de las reacciones en cada apoyo basados en el diagrama de fuerzas de la Figura 39 continuación.



*Figura 39.* Estructura

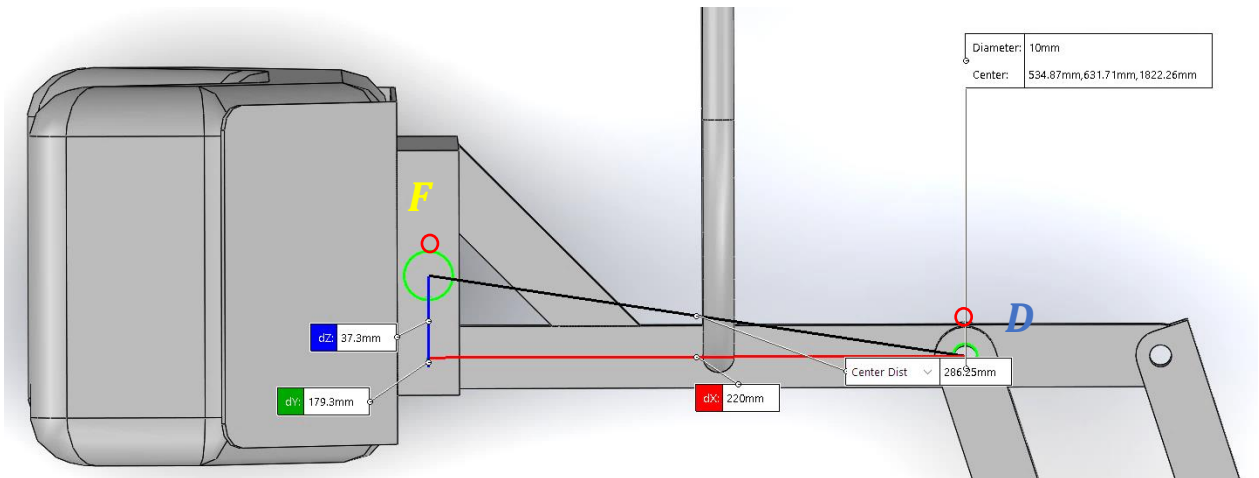
Cada una de las reacciones tiene su componente en el eje  $x$  e  $y$  como se observa en la Figura 13. Se dividió el sistema en 4 nodos importantes para el análisis: el nodo  $F$  es igual que el nodo  $D$ , el nodo  $G$  es el mismo nodo  $O$ , el nodo  $C$  es el mismo nodo  $A$ , y finalmente se tiene el nodo  $B$ .





*Figura 40.* Diagramas de fuerzas

Para realizar el análisis de fuerzas es necesario saber el valor de las longitudes y ángulos importantes dentro de la estructura. Se determina el ángulo  $\theta$  de la ecuación 2.8 basados en las longitudes que se muestran en la Figura 14 para hallar el valor de la Fuerza  $R_w$ .



**Figura 41.** Tramo FD

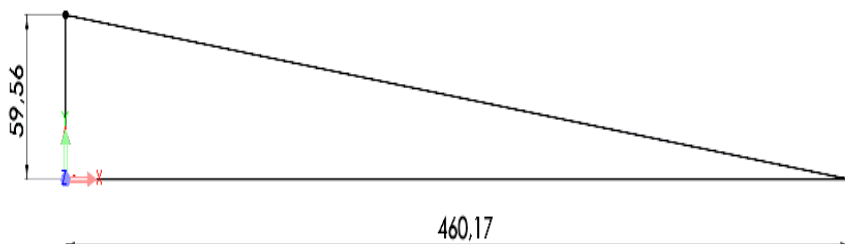
$$\theta = \tan^{-1} \left( \frac{179.3 \text{ mm} - 37.3 \text{ mm}}{220 \text{ mm}} \right) \quad (2.8)$$

$$\theta = 32.84^\circ$$

$$\cos(\theta) = 0.84$$

$$\sin(\theta) = 0.54$$

Se determina el ángulo  $\alpha$  de la ecuación 2.9 basados en las longitudes que se muestran en la Figura 14 para hallar el valor de la Fuerza  $R_2$ .



**Figura 42.** Tramo CA

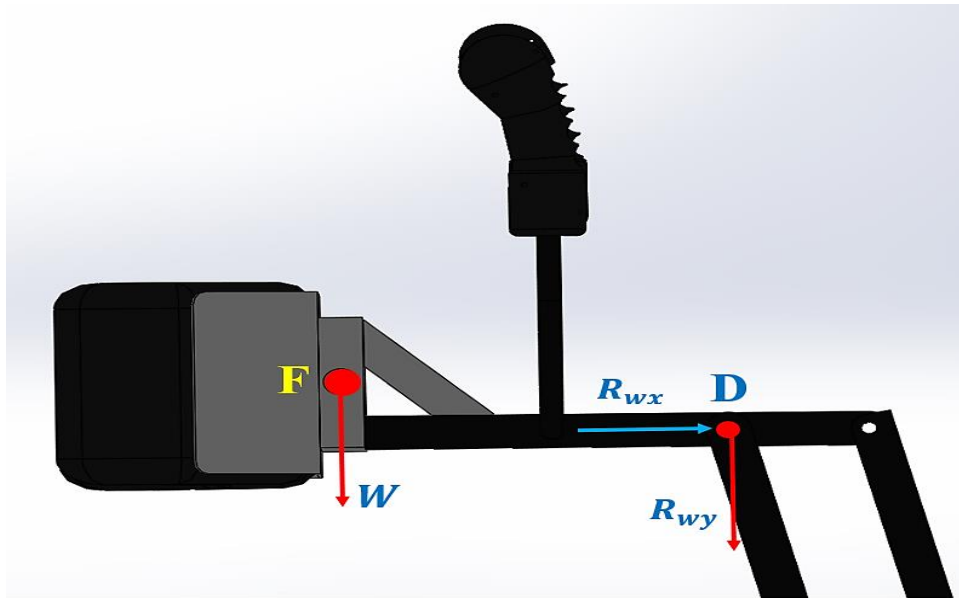
$$\alpha = \tan^{-1} \left( \frac{468.17 \text{ mm}}{84.96 \text{ mm} - 25.4 \text{ mm}} \right) \quad (2.9)$$

$$\alpha = 82.63^{\circ}$$

$$\cos(\alpha) = 0.128$$

$$\sin(\alpha) = 0.991$$

En el siguiente paso se realiza el análisis de la Barra FC, en la ecuación 2.10 y 2.11 se muestran las sumatorias de fuerzas respecto al eje x e y respectivamente.



**Figura 43.** Tramo FD

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{wx} + R_{2x} = 0 \quad (2.10)$$

$$R_w * \cos(\theta) + R_2 * \sin(\alpha) = 0$$

$$R_w * 0.585 + R_2 * 0.991 = 0$$

$$\sum F_y = 0$$

$$W + R_{wy} + R_{2y} = 0 \quad (2.11)$$

$$W + R_w * \sin(\theta) + R_2 * \cos(\alpha) = 0$$

$$981 + R_w * 0.81 + R_2 * 0.128 = 0$$

En base a las ecuaciones obtenidas se genera un sistema de ecuaciones con dos incógnitas, cuyos valores resultantes se muestran a continuación:

$$R_W = -1335.71 \text{ N}$$

$$R_2 = 788.49 \text{ N}$$

$$R_{Wx} = R_W * \cos(\theta)$$

$$R_{Wx} = 781.71 \text{ N}$$

$$R_{Wy} = R_W * \sin(\theta)$$

$$R_{Wy} = 1083.07 \text{ N}$$

Para obtener las demás incógnitas del sistema se realiza la sumatoria de momentos respecto al nodo O que se muestra en la ecuación 2.12. Con esta ecuación se encuentra el valor de la componente de la fuerza  $R_1$  respecto al eje y.

$$\sum M_o = 0$$

$$-R_{1y} * 364\text{mm} - R_{Wy} * 135.20\text{mm} = 0 \quad (2.12)$$

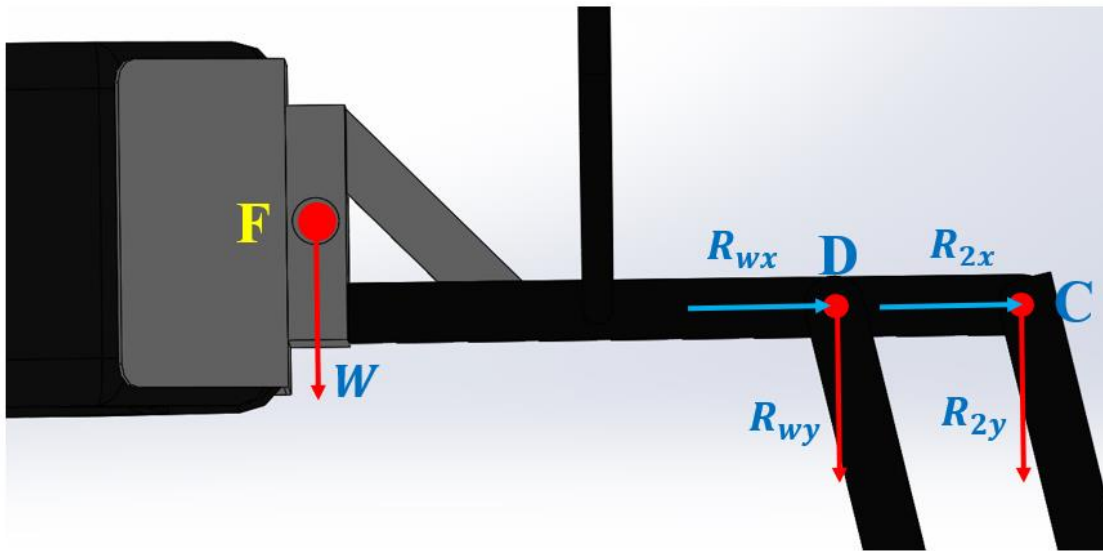
$$R_{1y} = \frac{-R_{Wy} * 135.20\text{mm}}{364 \text{ mm}}$$

$$R_{1y} = \frac{-1083.07 \text{ N} * 135.20\text{mm}}{364 \text{ mm}}$$

$$R_{1y} = -402.28 \text{ N}$$

El segundo análisis a realizar se muestra en la Figura 17 el valor a encontrar es la fuerza

$R_3$ .



*Figura 44.* Tramo FDC

En la ecuación 2.13 se muestra la sumatoria de fuerzas en el eje y de la barra FDC.

$$\sum F_y = 0$$

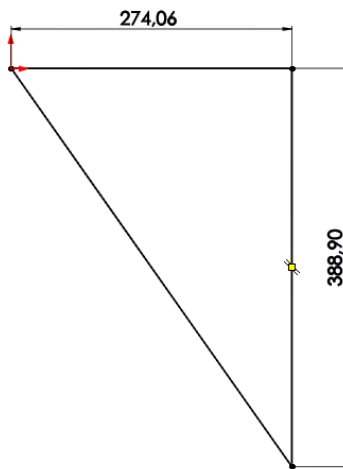
$$R_{wy} + R_{3y} - R_{1y} = 0 \quad (2.13)$$

$$R_{3y} = R_{1y} - R_{wy}$$

$$R_{3y} = -402.28 \text{ N} - 1083.07 \text{ N}$$

$$R_{3y} = -1485.35 \text{ N}$$

Para hallar el valor del módulo de la fuerza  $R_3$  se debe hallar la tangente del ángulo que conforman las longitudes de los perfiles. Basados en la Figura 18 se encuentra el valor del ángulo  $\omega$  de la ecuación 2.14.



**Figura 45.** Tramo GO

$$\omega = \tan^{-1}\left(\frac{388.90}{274.06}\right) \quad (2.14)$$

$$\omega = 54.83^{\circ}$$

Con el valor el ángulo se halla el módulo de la fuerza  $R_3$  de la ecuación 2.15.

$$R_3 = \frac{R_{3y}}{\text{sen}(\omega)} \quad (2.15)$$

$$R_3 = \frac{1485.35 \text{ N}}{0.817}$$

$$R_3 = -18181.05 \text{ N}$$

Para hallar la componente de la fuerza  $R_3$  en el eje x, se multiplica por el coseno del ángulo  $\omega$  mostrado en la ecuación 2.16.

$$R_{3x} = R_3 * \cos(\omega) \quad (2.16)$$

$$R_{3x} = -1818.05N * \cos(54.83^\circ)$$

$$R_{3x} = -1047.20 N$$

Se realiza la sumatoria de fuerzas respecto al eje x a fin de encontrar la componente  $R_{1x}$  que muestra la ecuación 2.17.

$$\sum F_x = 0$$

$$R_{1x} + R_{3x} + R_{wx} = 0 \quad (2.17)$$

$$R_{1x} = R_{3x} - R_{wx}$$

$$R_{1x} = 1047.2N - 781.71 N$$

$$R_{1x} = 265.49 N$$

Finalmente, en la Tabla 31 se detalla los valores de las reacciones calculadas.



**Tabla 31.***Reacciones sistema*

Reacciones	Valor
$R_w$	1335.71 N
$R_{wx}$	781.71 N
$R_{wy}$	1083.07 N
$R_1$	61.47 N
$R_{1x}$	265.49 N
$R_{1y}$	402.28 N
$R_2$	788.49 N
$R_{2x}$	13.64 N
$R_{2y}$	788.37 N
$R_3$	1818.05 N
$R_{3x}$	1047.20 N
$R_{3y}$	1485.35 N

**2.13 Diseño de perfiles rectangulares**

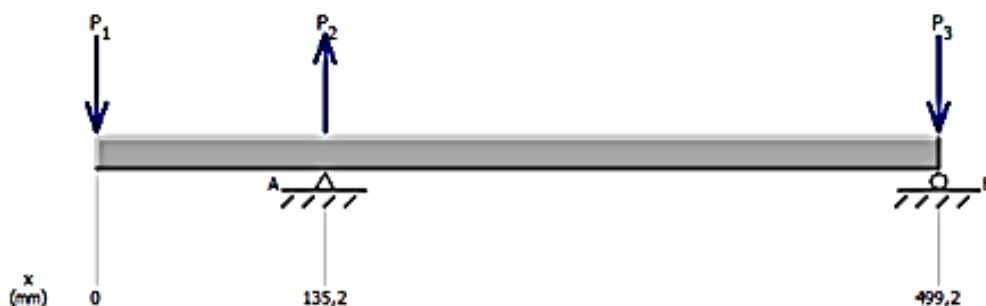
A partir de los datos de la Tabla 31 se procede a calcular las fuerzas cortantes y los momentos flectores en los perfiles mostrados a continuación:

En la Figura 46 se muestra el diagrama de cuerpo libre de las fuerzas presentes en la barra FD.

$$P_1 = 1083.07 N$$

$$P_2 = 402.28 N$$

$$P_3 = 1485.35 N$$



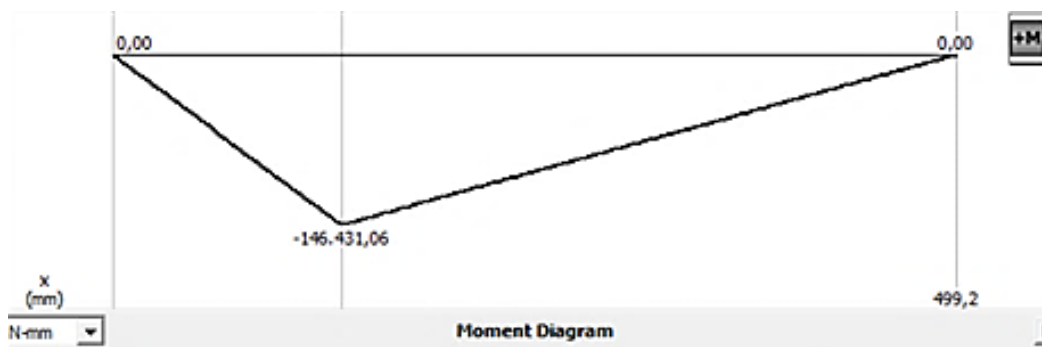
**Figura 46.** Diagrama de cuerpo libre de la barra FD

En la Figura 47 se muestra el diagrama de fuerzas cortantes presentes en la barra FD.



**Figura 47.** Resultado de la fuerza cortante en la barra FD

En la Figura 48 se muestra el diagrama de momentos flectores presentes en la barra FD.



**Figura 48.** Resultado del momento flector en la barra FD

Para el cálculo del espesor mínimo de los perfiles para la estructura es necesario considerar las siguientes variables.

$M_{m\acute{a}x}$ : *Momento flector máximo*

$S_x$ : *Módulo de sección*

$S_y$ : *Resistencia a la fluencia material*

Se considera el criterio de diseño mostrado en la ecuación 2.21.

$$60\% * S_y = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\omega_x} \quad (2.18)$$

$$60\% * 2500 \frac{kg}{cm^2} = \frac{M_{m\acute{a}x}}{\omega_x}$$

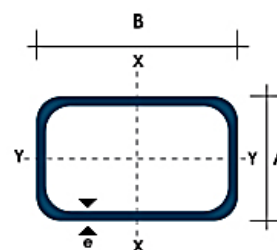
$$\omega_x = \frac{1492.67 kg * cm}{1518 \frac{kg}{cm^2}}$$

$$\omega_x = 1.18 cm^3$$

$$\omega_x \geq 1.18 cm^3$$

Basados en los resultados es necesario tener una inercia de masa mayor a  $1.18 cm^3$ . La selección se realiza de acuerdo al catálogo de aceros y perfiles de Dipac, en el que se selecciona un perfil de 2 mm de espesor a fin de cumplir con el criterio de diseño mencionado.

Dimensiones				Área	Ejes Y-Y			Ejes X-X		
A mm	B mm	Espeor (e) mm	Peso Kg/m	Área cm <sup>2</sup>	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm	I cm <sup>4</sup>	W cm <sup>3</sup>	i cm <sup>3</sup>
20	40	1.2	1.09	1.32	2.61	1.30	1.12	0.88	0.88	0.83
20	40	1.5	1.35	1.65	3.26	1.63	1.40	1.09	1.09	0.81
20	40	2.0	1.78	2.14	4.04	2.02	1.37	1.33	1.33	0.79
25	50	1.5	1.71	2.10	6.39	2.56	1.74	2.19	1.75	1.02
25	50	2.0	2.25	2.74	8.37	3.35	1.75	2.80	2.24	1.01
25	50	3.0	3.30	4.14	12.56	5.02	1.74	3.99	3.19	0.99
30	50	1.5	1.88	2.25	7.27	2.91	1.80	3.32	2.21	1.21
30	50	2.0	2.41	2.94	9.52	3.81	1.80	4.28	2.85	1.21
30	50	3.0	3.30	4.21	12.78	5.11	1.74	5.66	3.77	1.16
30	70	2.0	3.03	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.48	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	60	1.5	2.29	2.91	14.90	4.97	2.26	7.94	3.97	1.65
40	60	2.0	3.03	3.74	18.08	6.13	2.22	9.81	4.90	1.62
40	60	3.0	4.48	5.41	25.31	8.44	2.16	13.37	6.69	1.57
30	70	1.5	2.34	2.91	18.08	5.17	2.49	4.76	3.17	1.28
30	70	2.0	2.93	3.74	22.20	6.34	2.44	5.85	3.90	1.25
30	70	3.0	4.25	5.41	30.50	8.71	2.37	7.84	5.23	1.20
40	80	1.5	2.76	3.74	31.75	7.94	2.91	10.77	5.39	1.70
40	80	2.0	3.66	4.54	37.32	9.33	2.87	12.70	6.35	1.67
40	80	3.0	5.42	6.61	52.16	13.04	2.81	17.49	8.75	1.63
50	100	2.0	4.52	5.74	74.94	14.99	3.61	25.65	10.26	2.11
50	100	3.0	6.71	8.41	106.34	21.27	3.56	35.97	14.39	2.07
50	150	2.0	6.17	7.74	207.45	27.66	5.18	37.17	14.87	2.19
50	150	3.0	9.17	11.41	298.35	39.78	5.11	52.54	21.02	2.15



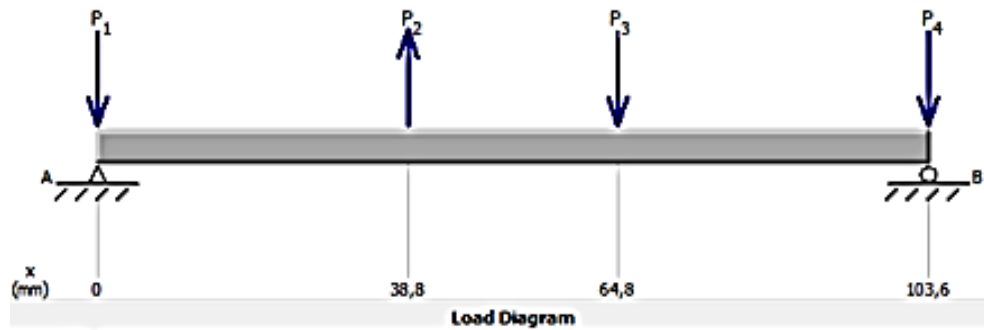
**Figura 49.** Catálogo perfiles rectangulares

Fuente: Fuente especificada no válida.

## 2.14 Diseño eje

Se realiza el diseño de ejes utilizados en la barra GO. En la Figura 50 se muestra el diagrama de cuerpo libre utilizado para el dimensionamiento del eje.

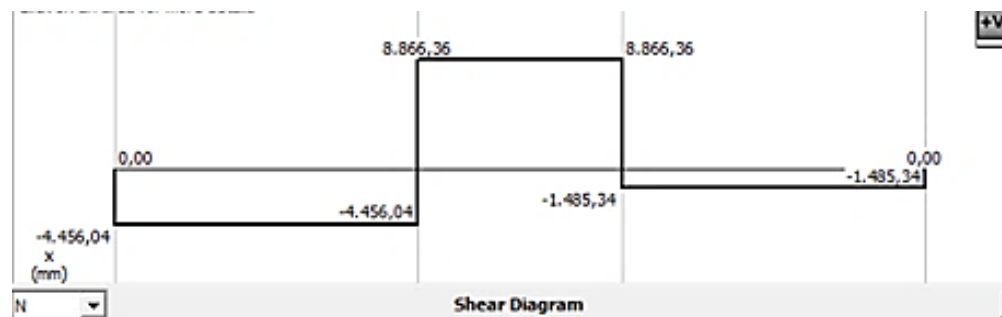




**Figura 50.** Diagrama de cuerpo libre del eje del tramo GO

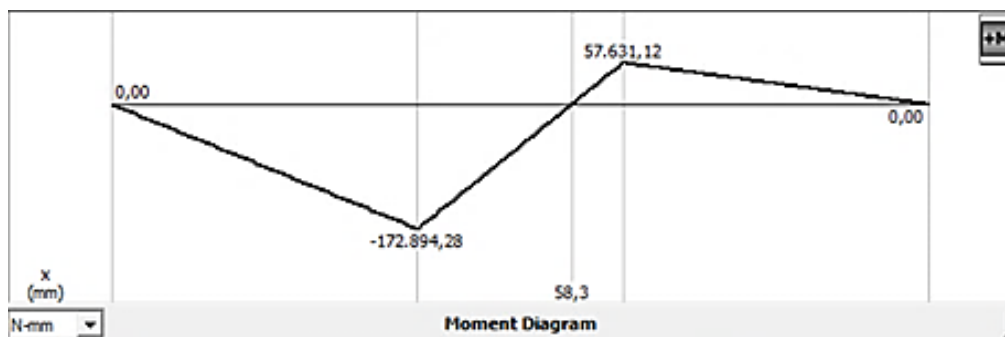
Fuente: Los Autores

En la Figura 51 se muestra el diagrama resultante de fuerzas cortantes del eje del tramo GO.



**Figura 51.** Tramo GO

En la Figura 52 se muestra el diagrama resultante de momentos flectores del eje del tramo GO.



**Figura 52.** Resultado de diagrama de momentos flectores del tramo GO

La selección del material se hizo basados en el Catálogo Aceros Ingeniería al carbono, muestra que el ACERO AISI 1020 es utilizado principalmente para partes de maquinaria que no estén sometidos a grandes esfuerzos mecánicos como: ejes, eslabones para cadenas, pasadores, bujes cementados, tornillería corriente, bridas, piñones para transmisión de cadena a bajo esfuerzo, clavos para ferrocarril, grapas, etc. (Compañía General de Aceros S.A). En la Tabla 32 se muestra las propiedades del material AISI 1020

**Tabla 32.**

*Propiedad material AISI 1020*

MATERIAL	Resistencia a la tensión (MPa)	Resistencia a la fluencia (MPa)
1020 CD (estirado en frío)	$S_{ut} = 470$	$S_y = 390$

#### *A. Factores que modifican el límite de resistencia a la fatiga*

Marín identificó los factores que cuantifican los efectos de la condición superficial, tamaño, la carga, la temperatura y varios otros puntos. La ecuación de Marín se escribe:

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e' \quad (2.19)$$

$$S_e = 0.5 \cdot S_{ut} \quad (2.20)$$

Donde:

$k_a$  = factor de modificación por la condición superficial

$k_b$  = factor de modificación por el tamaño

$k_c$  = factor de modificación por la carga

$k_d$  = factor de modificación por la temperatura

$k_e$  = factor de confiabilidad

$k_f$  = factor de modificación por efectos varios

$S_e'$  = Límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

$S_e$  = Límite de resistencia a la fatiga en la ubicación crítica de una parte de la máquina en la geometría y condición de uso.

$S_{ut}$  = Resistencia a la tensión

### *B. Factor de superficie $k_a$*

La superficie de una muestra de viga rotativa está muy pulida y además se le da un pulido final en la dirección axial para eliminar cualquier ralladura circunferencial. El factor de modificación depende de la calidad del acabado de la superficie de la parte y de la resistencia a la tensión. A fin de determinar expresiones cuantitativas para acabados comunes de parte de máquinas (esmerilada, maquinada o estirada en frío, laminada en caliente y forjada), las coordenadas de los puntos de

datos se recopilaron nuevamente de una gráfica del límite de resistencia a la fatiga contra resistencia última a la tensión. Los datos pueden representarse mediante:

$$k_a = aS_{ut}^b \quad (2.21)$$

Donde  $S_{ut}$  es la resistencia mínima a la tensión y los valores de  $a$  y  $b$  se encuentran en la Tabla 33.

**Tabla 33.**

*Parámetros en el factor de la condición superficial de Marín*

Acabado superficial	Factor a		Exponente b
	$S_{ut}, kpsi$	$S_{ut}, MPa$	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272	-0.995

### C. Factor de superficie $k_b$

El factor de tamaño se evaluó en 133 conjuntos de puntos de datos. Los resultados para flexión y torsión pueden expresarse como:

$$k_b = \begin{cases} (d - 0.3)^{-0.107} = 0.879 d^{-0.107} & 0.11 \leq d \leq 2 \text{ pulg} \\ 0.91d^{-0.157} & 2 < d \leq 10 \text{ pulg} \\ \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107} = 1.24 d^{-0.107} & 2.79 \leq d \leq 51 \text{ mm} \\ 1.51 d^{-0.157} & 51 < d \leq 254 \text{ mm} \end{cases} \quad (2.22)$$



Para carga axial no hay efecto de tamaño, por lo cual

$$k_b = 1$$

#### *D. Concentración de esfuerzos y sensibilidad a la muesca*

Se realiza este análisis de concentración para puntualizar la existencia de irregularidades como orificios, ranuras o muescas que incrementan de manera significativa el esfuerzo.

Se calcula  $K_f$  el factor de concentración del esfuerzo por fatiga de la flexión, se considera el valor de  $K_t$  (o  $K_{ts}$ ) que es un factor de concentración del esfuerzo, debido a la disminución de la sensibilidad a la muesca. El cálculo de  $K_f$  se realiza mediante la ecuación 3.7.

$$K_f = 1 + q \cdot (K_t + 1) \quad (2.23)$$

Donde:

- $K_t$ : es el factor de concentración del esfuerzo.
- $q$ : es la sensibilidad de la muesca.
- $q_s$ : es la sensibilidad de la muesca cortante.
- $K_{ts}$ : es el factor de concentración del esfuerzo cortante.

#### *E. Esfuerzos en ejes*

Los esfuerzos de flexión, torsión o axiales pueden estar presentes tanto medios como alternantes.

Algunas veces es conveniente adaptar las ecuaciones para aplicaciones de ejes. En general las cargas axiales son comparativamente muy pequeñas en ubicaciones críticas donde dominan la flexión y torsión, por lo que pueden dejarse fuera de las siguientes ecuaciones.

Los esfuerzos fluctuantes debidos a la flexión y la torsión están dados por:

$$\sigma_a = K_f \frac{M_a c}{I} \quad (2.24)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{M_m c}{I} \quad (2.25)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{T_a c}{J} \quad (2.26)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{T_m c}{J} \quad (2.27)$$

Dónde:

$M_m$ : Momento flexionante medio

$M_a$ : Momento flexionante alternante

$T_m$ : Par de torsión medio

$T_a$ : Par de torsión alternante

$K_f$ : Factor de concentración de esfuerzos por fatiga de la flexión

$K_{fs}$ : Factor de concentración de esfuerzos por fatiga de la torsión

Si se supone un eje sólido con eje transversal redonda puede introducirse términos geométricos apropiados para  $c$ ,  $J$ ,  $I$  lo que resulta en:

$$\sigma_a = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3} \quad (2.28)$$

$$\sigma_m = K_f \frac{32M_m}{\pi d^3} \quad (2.29)$$

$$\tau_a = K_{fs} \frac{16T_a}{\pi d^3} \quad (2.30)$$

$$\tau_m = K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3} \quad (2.31)$$

#### F. ED-Goodman

Indica que los esfuerzos se combinan mediante la teoría de distorsión (ED) y que la falla por fatiga se usa el criterio de Goodman.

$$d = \left( \frac{16 \cdot n}{\pi} \cdot \left( \frac{1}{S_e} \cdot \left[ 4 \cdot (K_f \cdot M_a)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_a)^2 \right]^{1/2} + \frac{1}{S_{ut}} \left[ 4 \cdot (K_f \cdot M_m)^2 + 3 \cdot (K_{fs} \cdot T_m)^2 \right]^{1/2} \right) \right)^{\frac{1}{3}} \quad (2.32)$$

#### G. Factor de seguridad

El criterio utilizado para el diseño del eje es ED-Goodman que inicia con la selección de un valor de diámetro, se selecciona un valor de diámetro, de 12 mm.

Una relación típica de D/d para el soporte en un hombro es D/d=1.2, así entonces:

$$\frac{D}{d} = 1.2 \quad (2.33)$$

$$D = 1.2(12 \text{ mm})$$

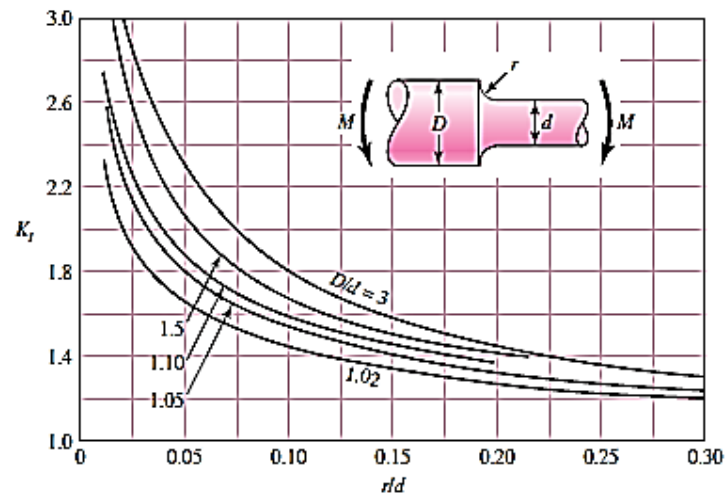
Se supone que el radio del filete

$$\frac{r}{d} = 0.1 \quad (2.34)$$

$$r = \frac{d}{10} = \frac{12 \text{ mm}}{10}$$

$$r = 1.2 \text{ mm}$$

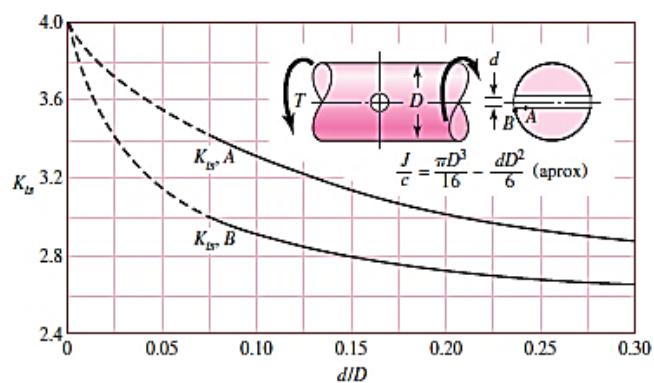
De la Figura 53 se selecciona el valor de  $K_t = 1.6$  en función de la relación  $r/d$



**Figura 53.** Eje redondo con filete en el hombro en flexión

Fuente: (Budynas & Keith, 2008)

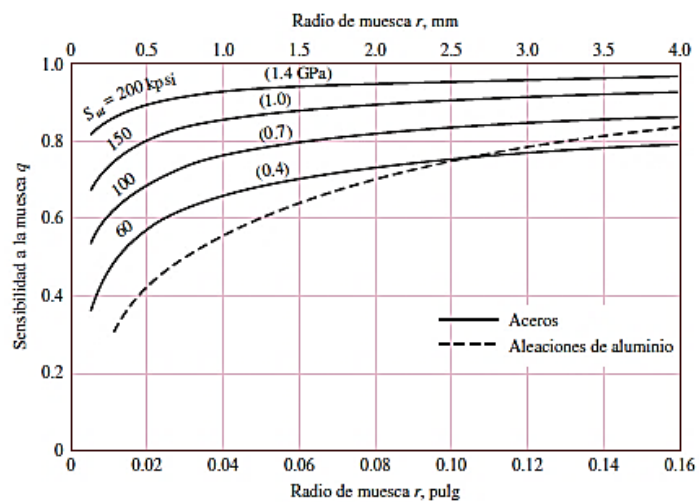
De la Figura 54 se selecciona el valor de  $K_{ts} = 1.35$  en función de la relación  $r/d$ .



**Figura 54.** Eje redondo en torsión con agujero transversal

Fuente: (Budynas & Keith, 2008)

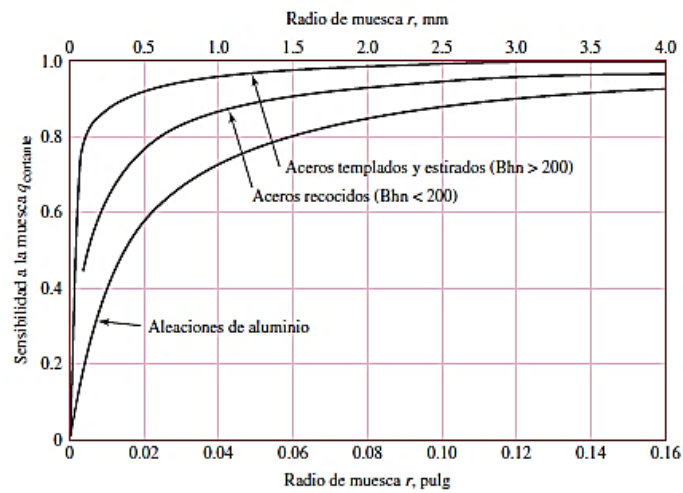
De la Figura 55 se selecciona el valor de  $q = 0.82$  en función del radio de la muesca.



**Figura 55.** Sensibilidad a la muesca de aceros sometidos a flexión inversa

Fuente: (Budynas & Keith, 2008)

De la Figura 56 se selecciona el valor de  $q_s = 0.85$  en función del radio de la muesca.



**Figura 56.** Sensibilidad a la muesca de materiales sometidos a torsión inversa

Fuente: (Budynas & Keith, 2008)

Estos valores se reemplazan en la ecuación 2.23

$$K_f = 1 + q(K_t + 1)$$

$$K_f = 1 + 0.82(1.6 + 1)$$

$$K_f = 1.49$$

$$K_{fs} = 1 + q_{cortante}(K_{ts} + 1)$$

$$K_{fs} = 1 + 0.85(1.35 + 1)$$

$$K_{fs} = 1.30$$

Se verifica los resultados obtenidos al reemplazar los valores correspondientes en las ecuaciones 2.21 y 2.22.

$$k_a = 0.883$$

$$k_b = \left(\frac{d}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = \left(\frac{12}{7.62}\right)^{-0.107}$$

$$k_b = 0.952$$

Se calcula el valor del límite de resistencia a la fatiga a partir de la ecuación 2.19.

$$S_e = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S_e'$$

$$S_e = 0.883(0.961)(235 \text{ MPa})$$

$$S_e = 197.545 \text{ MPa}$$

Se calcula los esfuerzos alternante y medio al reemplazar los valores en las ecuaciones 2.28 y 2.29.

$$\sigma_a' = K_f \frac{32M_a}{\pi d^3}$$

$$\sigma_a' = 1.49 * \frac{32 * 11.07}{\pi(12)^3}$$

$$\sigma_a' = 97.22 \text{ MPa}$$

$$\sigma_m' = \left[ 3 \left( K_{fs} \frac{16T_m}{\pi d^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_m' = \left[ 3 \left( 1.30 * \frac{16 * 4.07}{\pi(12)^3} \right)^2 \right]^{1/2}$$

$$\sigma_m' = 27.01MPa$$

Se calcula el valor del factor de seguridad mostrado en la ecuación

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}} \quad (2.35)$$

$$\frac{1}{n_f} = \frac{97.22}{197.545} + \frac{27.01}{470}$$

$$n_f = 1.82$$

## 2.15 Diseño CAD

A continuación, se detallan los diseños CAD realizados de la estructura que conforma el bipedestador entre ellos: Perfiles, actuador, motores, llantas, pechera, mando de control, rodilleras, base fija, entre otros.

### A. Barra FC

En la Figura 57 se muestra el diseño CAD del perfil FC .





**Figura 57.** *Diseño CAD Barra FC*

*B. Barra BD*

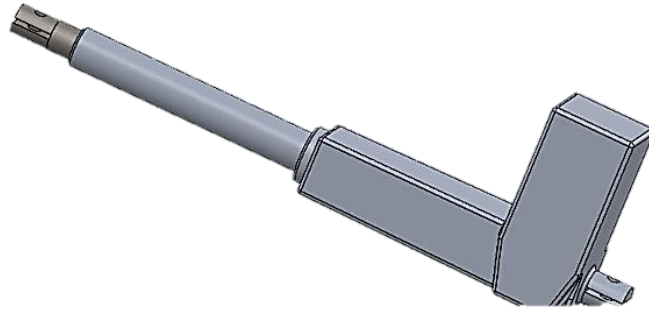
En la Figura 58 se muestra el diseño CAD del perfil BD.



**Figura 58.** *Diseño CAD Barra BD*

### *C. Actuador*

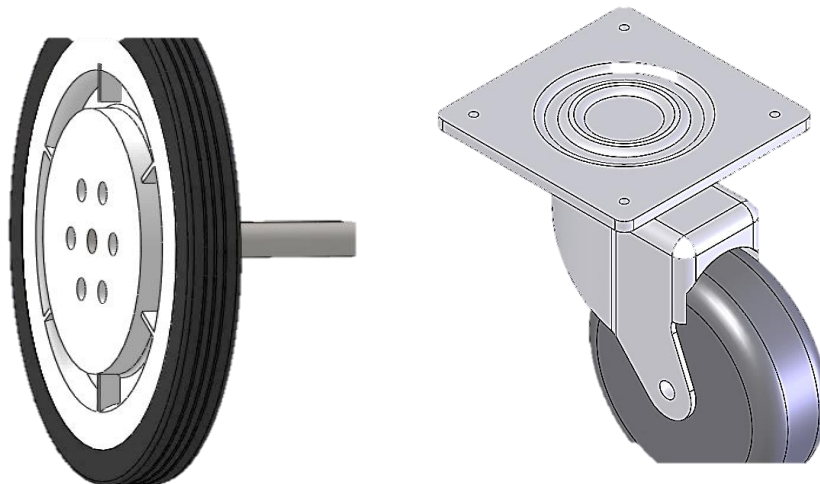
En la Figura 59 se muestra el diseño CAD del actuador.



**Figura 59.** Diseño CAD Actuador

### *D. Motores Llantas*

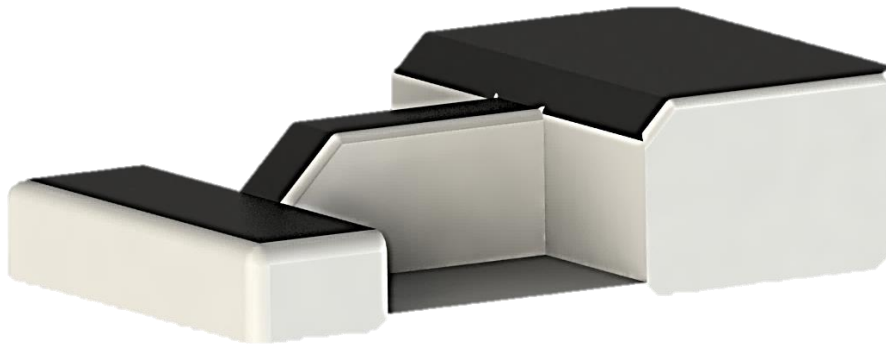
En la Figura 60 se muestra el diseño CAD de las llantas delanteras.



**Figura 60.** Diseño CAD Llantas delanteras

### *E. Protección de los motores*

En la Figura 61 se muestra el diseño CAD de las protecciones de los motores.

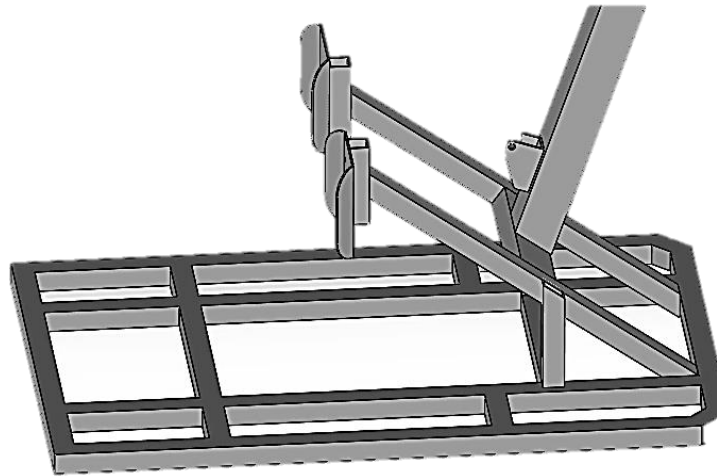


**Figura 61.** Diseño CAD de las protecciones de los motores

### *F. Soporte rodilla*

El soporte de la rodilla está conformado por: la estructura, la regulación, apoyo y correa.

En la Figura 62 se muestra el diseño CAD de la estructura del soporte rodilla.



**Figura 62.** Diseño CAD estructura soporte de la rodilla

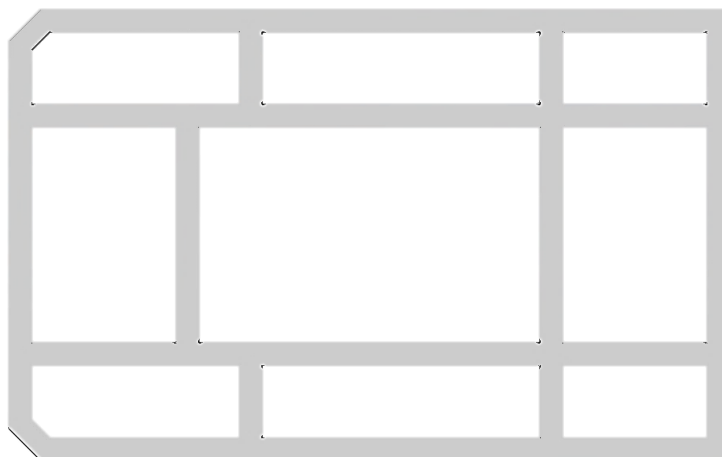
En la Figura 63 se muestra el diseño CAD del perfil utilizado para el cojin del soporte de las rodillas.



**Figura 63.** Diseño CAD estructura rodilla

### *G. Estructura base*

En la Figura 64 se muestra el diseño CAD de la estructura de la base



**Figura 64.** Diseño CAD estructura base

#### *H. Tapizado pechera*

En la Figura 65 se muestra el diseño CAD de la esponja de la pechera.



**Figura 65.** Diseño CAD tapizado pechera

### *I. Mando*

En la Figura 66 se muestra el diseño CAD del mando de control.



**Figura 66.** Diseño CAD del mando de control

### *J. Botonera de control*

En la Figura 67 se muestra el diseño CAD de la palanca de control.



**Figura 67.** Diseño CAD de la palanca de control

*K. Ensamble bipedestador*

En la Figura 68 se muestra el diseño CAD del sub ensamble bipedestador.



**Figura 68.** Sub ensamble bipedestador

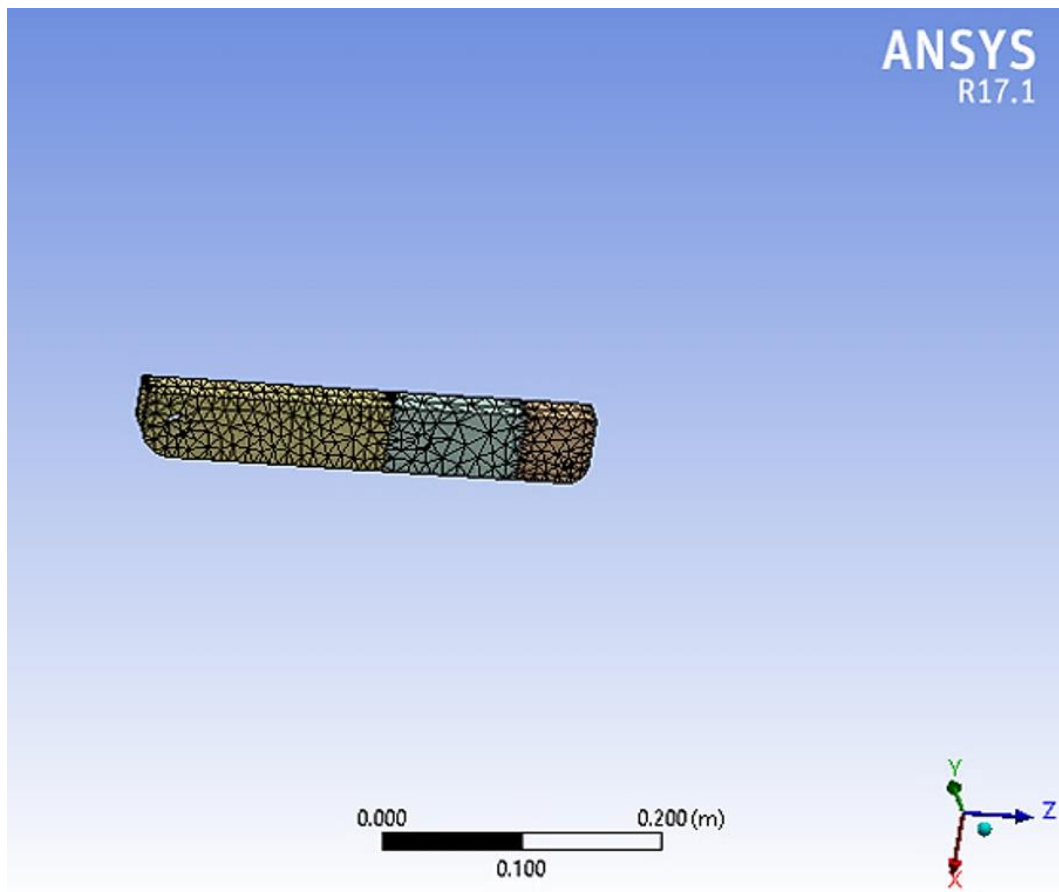
## **2.16 Análisis y simulación CAE**

Se realiza el análisis de elementos finitos para los perfiles a partir del cálculo de fuerzas y reacciones que se muestra en la sección 2.12, de acuerdo a los análisis efectuados se observan las deformaciones y esfuerzo de Von Misses, así como las gráficas del comportamiento de la deformación y el esfuerzo realizado en los perfiles de acuerdo a la variación de la distancia del mismo.

### *2.16.1 Barra FC*

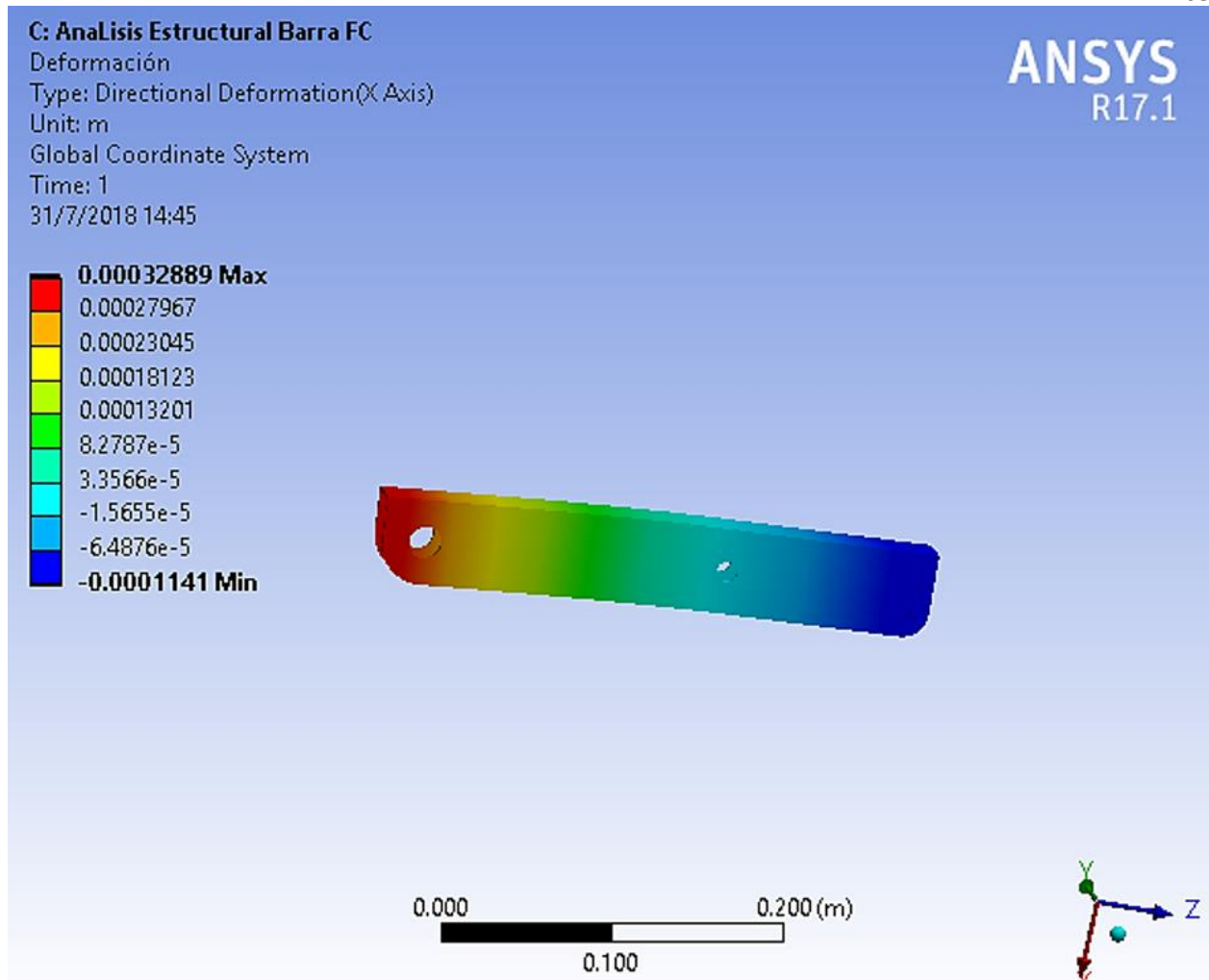
El análisis de elementos finitos que se observa en la Figura 69 detalla que se construyeron un total de 7704 nodos con un total de 3500 elementos para el mallado de la barra, el mallado realizado fue un mallado fino de tal manera que se puedan obtener datos más precisos del comportamiento del elemento.





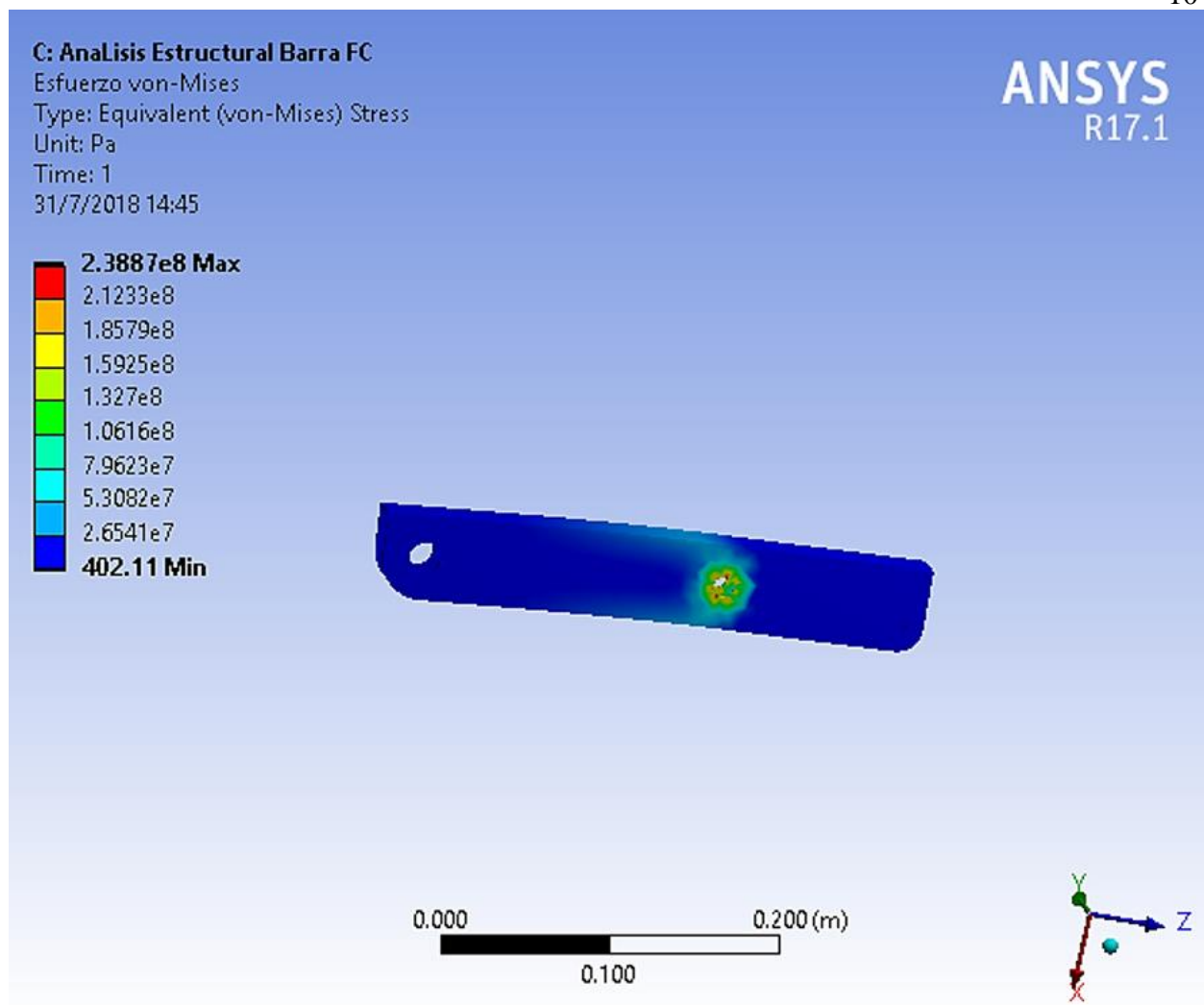
**Figura 69.** Análisis de elementos finitos Barra FC

En la Figura 70 se muestra la deformación de la barra FC sometida a las Fuerzas de la Figura 40 . En esta se puede observar que se tiene una deformación máxima de 0.00032889 mm.y una mínima de 0.0001141 mm.



**Figura 70.** Deformación barra FC

En la Figura Figura 71 se muestra el esfuerzo de Von Misses de la barra sometida a las Fuerzas de la Figura 40. En esta se puede observar que se tiene un esfuerzo máximo de 2.3887 Pa mm.y un mínimo de 402.11 Pa.

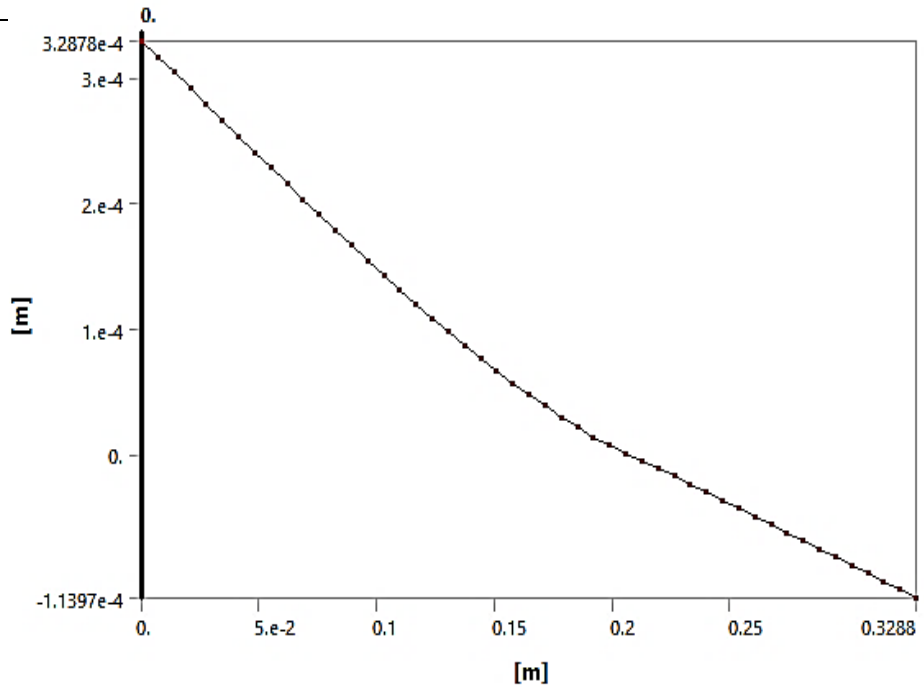


**Figura 71.** Esfuerzo de Von Misses barra FC

En base al análisis realizado se obtuvieron los resultados de la Tabla 34 que muestran el comportamiento de las longitudes de la barra con respecto a la deformación direccional en la superficie de la misma. En la gráfica se puede observar un valor máximo de deformación de 0.000328 m y un mínimo de 0.0000113 m.

**Tabla 34.***Datos Longitud Vs Deformación Barra FC*

Length [m]	Value [m]
0.	3.29E+00
0.10275	1.43E+00
0.137	8.73E-01
0.14385	7.69E-01
0.1644	4.77E-01
0.17125	3.87E-01
0.1781	3.00E-02
0.18495	2.18E-01
0.2192	-1.10E-01
0.22605	-1.71E-01
0.2329	-2.34e-005
0.23975	-2.98E-01
0.2466	-3.63E-01
0.26715	-5.57E-01
0.274	-6.21E-01
0.30825	-9.45E-01
0.3151	-1.01E+00
0.32195	-1.07E+00
0.3288	-1.14E+00



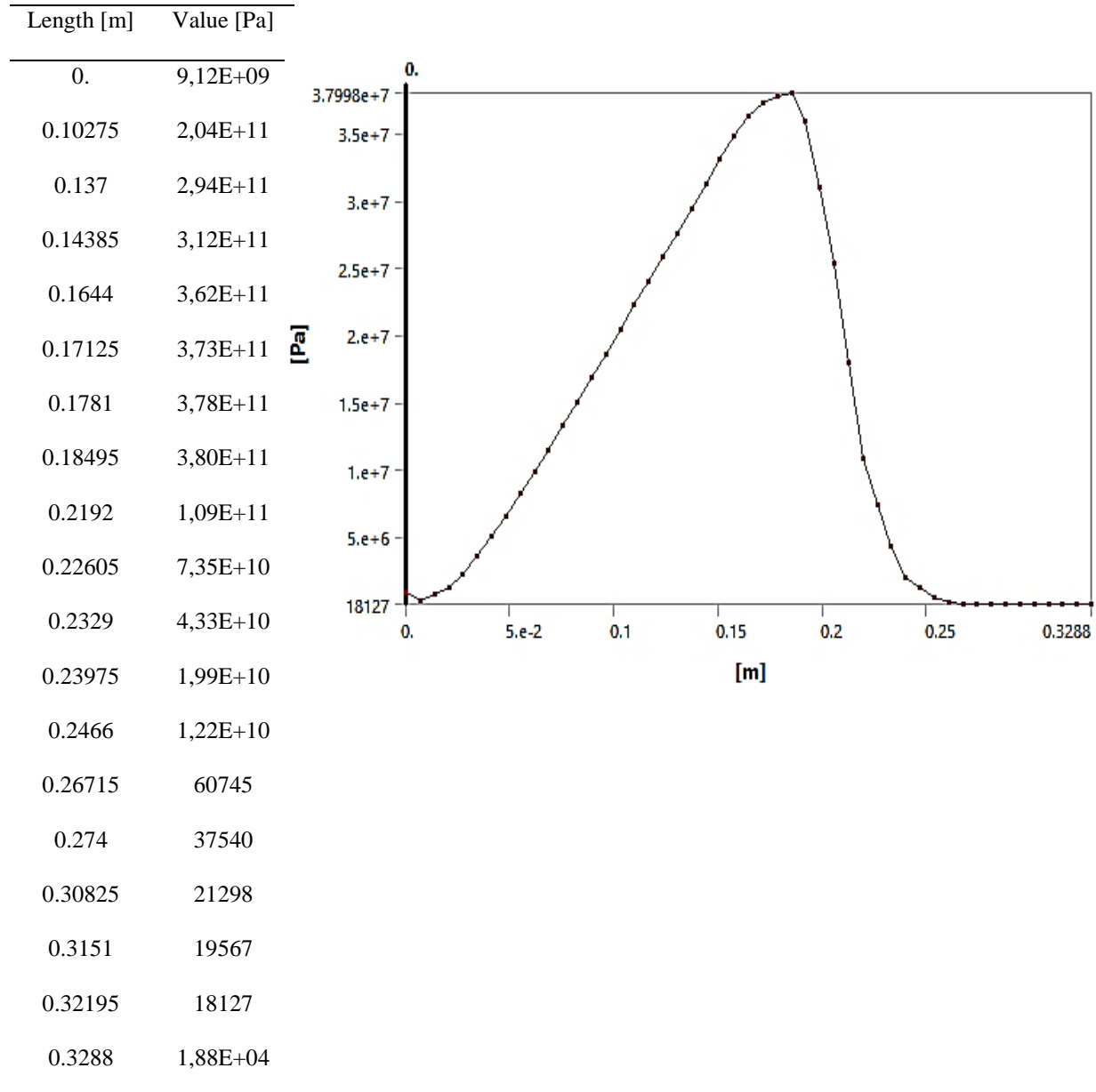
En base al análisis realizado se obtuvieron los resultados de la Tabla 35 que muestran el comportamiento de las longitudes de la barra con respecto al Esfuerzo de Von Misses en la

superficie de la misma. En la gráfica se observa un máximo de 0.379 MPa y un mínimo de 0.018127

MPa

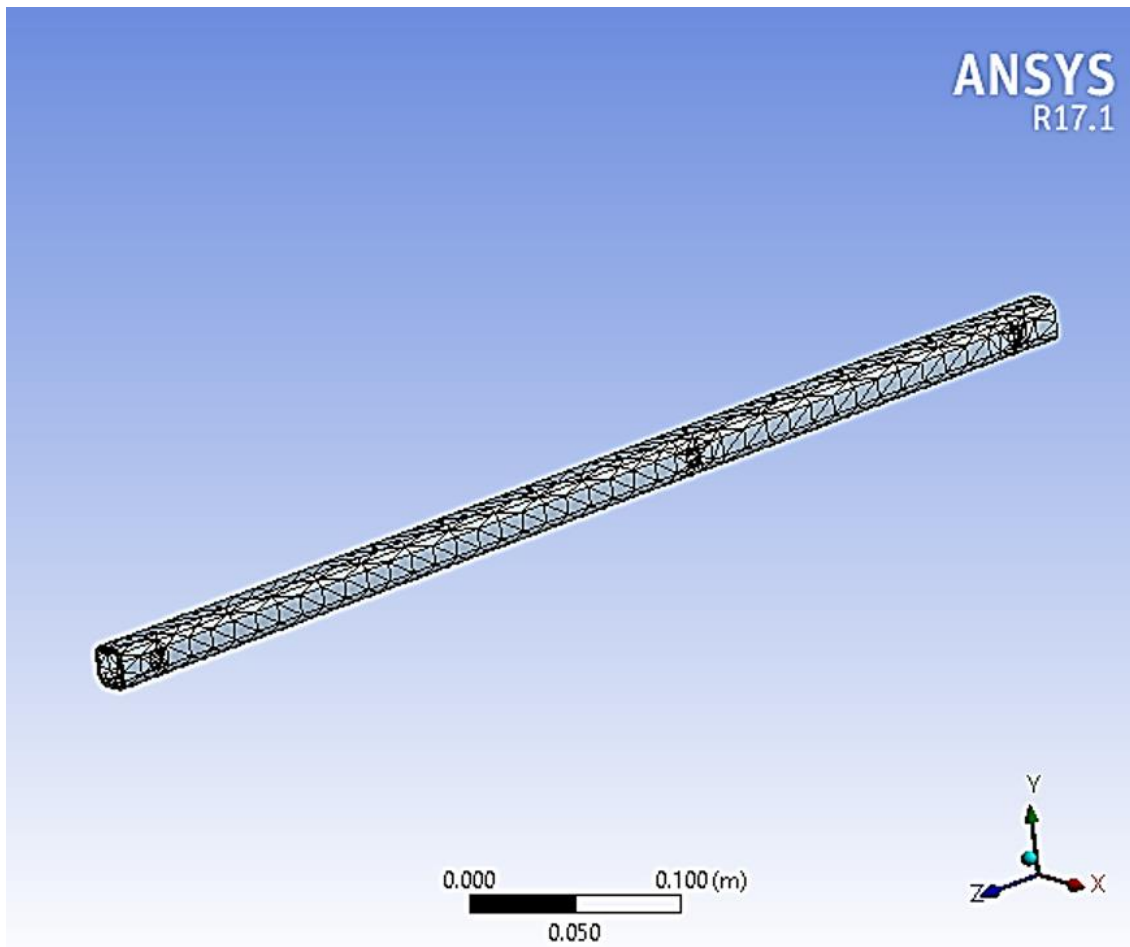
**Tabla 35.**

*Datos Longitud Vs Esfuerzo de Von Misses Barra FC*



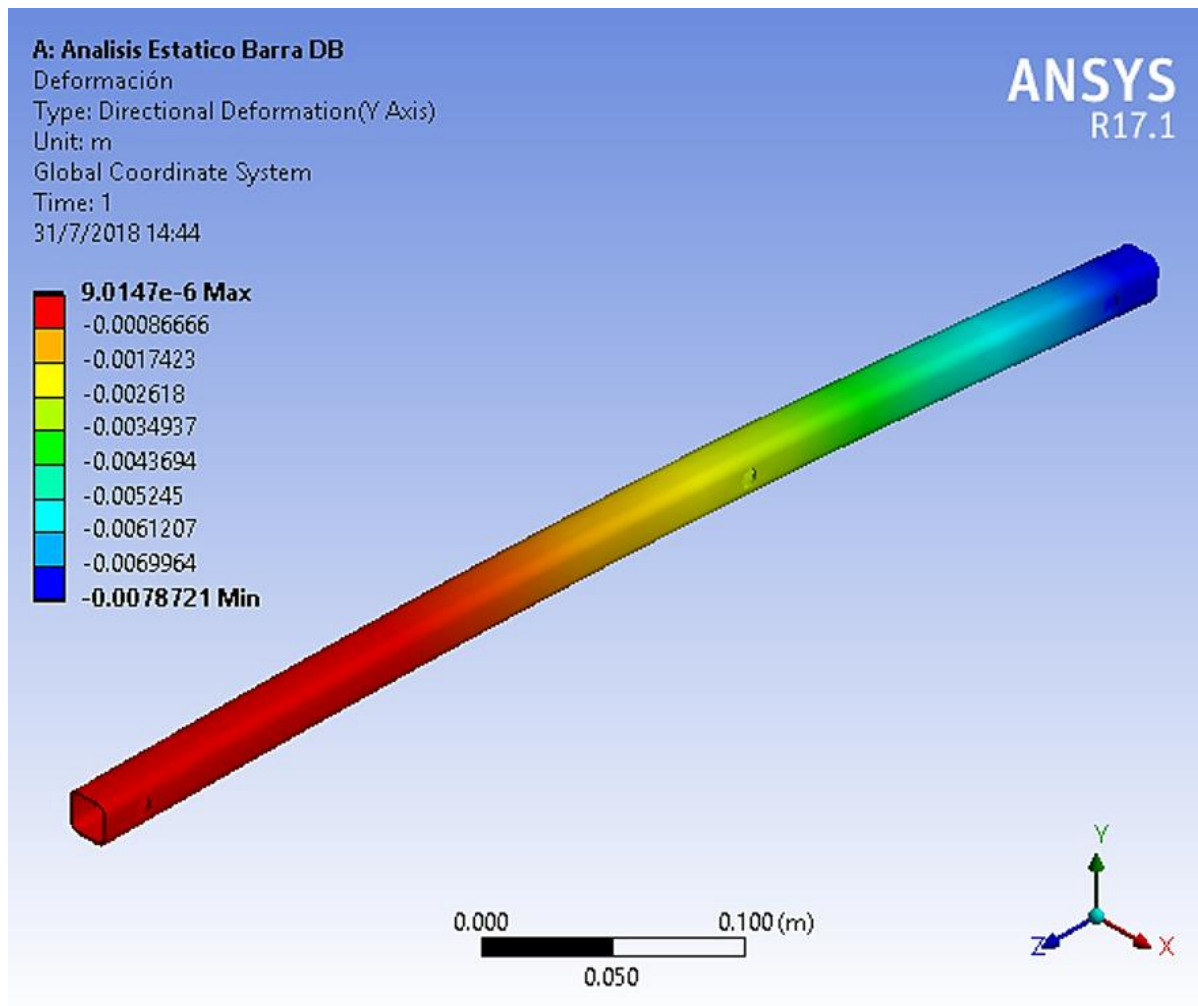
### 2.16.2 Barra BD

El análisis de elementos finitos que se observa en la Figura 72 detalla que se construyeron un total de 6695 nodos con un total de 3409 elementos para el mallado de la barra, el mallado realizado fue un mallado fino de tal manera que se puedan obtener datos más precisos del comportamiento del elemento.



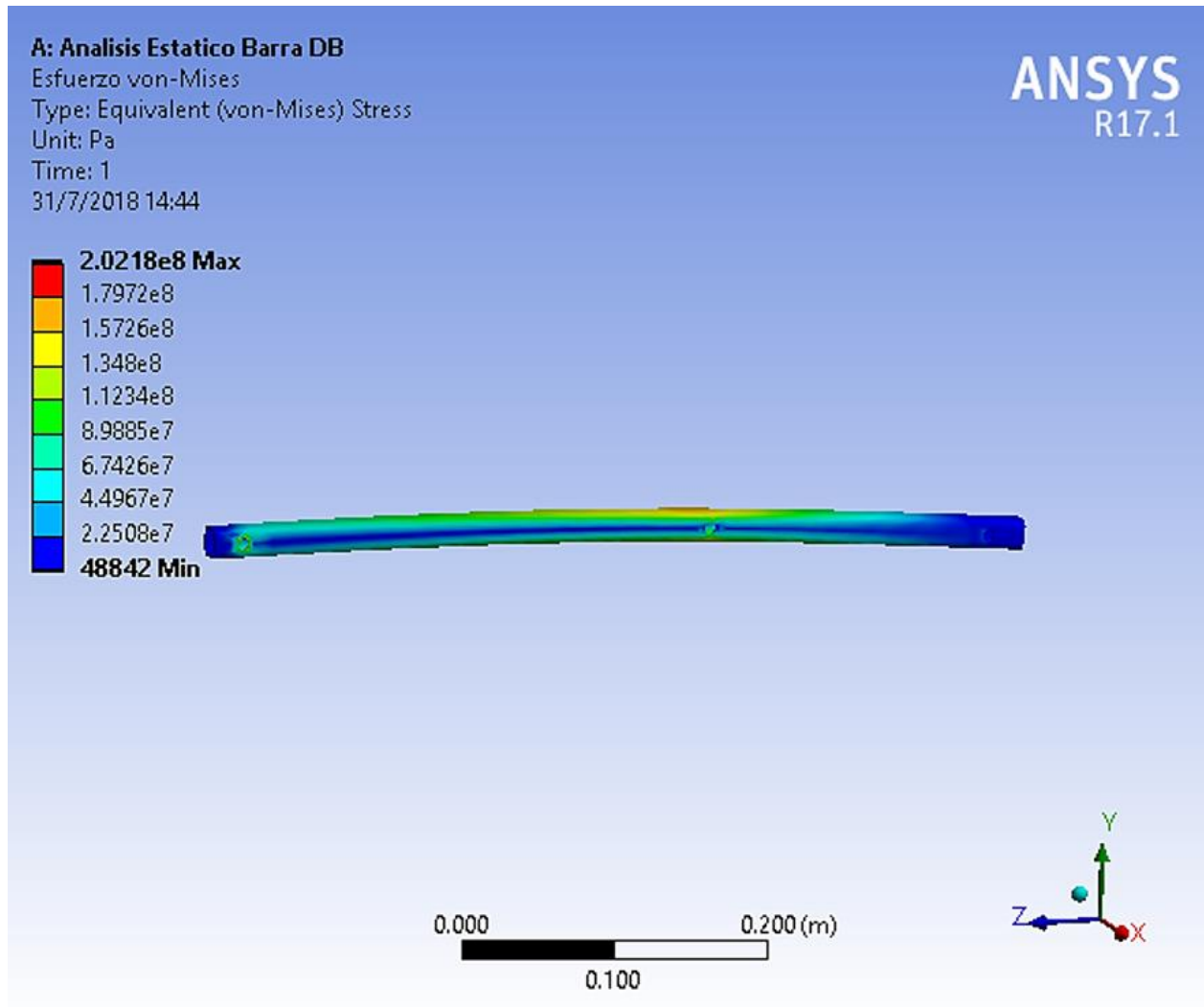
**Figura 72.** Análisis de elementos finitos Barra BD

En la Figura 73 se muestra la deformación de la barra BD sometida a las Fuerzas de la Figura 40 . En esta se puede observar que se tiene una deformación máxima de  $9.047\text{e-}06$  m y un mínimo de  $0.0078721$  m.



*Figura 73.* Deformación barra FC

En la Figura 74 se muestra el esfuerzo de Von Mises de la barra sometida a las Fuerzas de la Figura 40. En esta se puede observar que se tiene un esfuerzo máximo de 202.18 MPa y un mínimo de 48842 Pa.



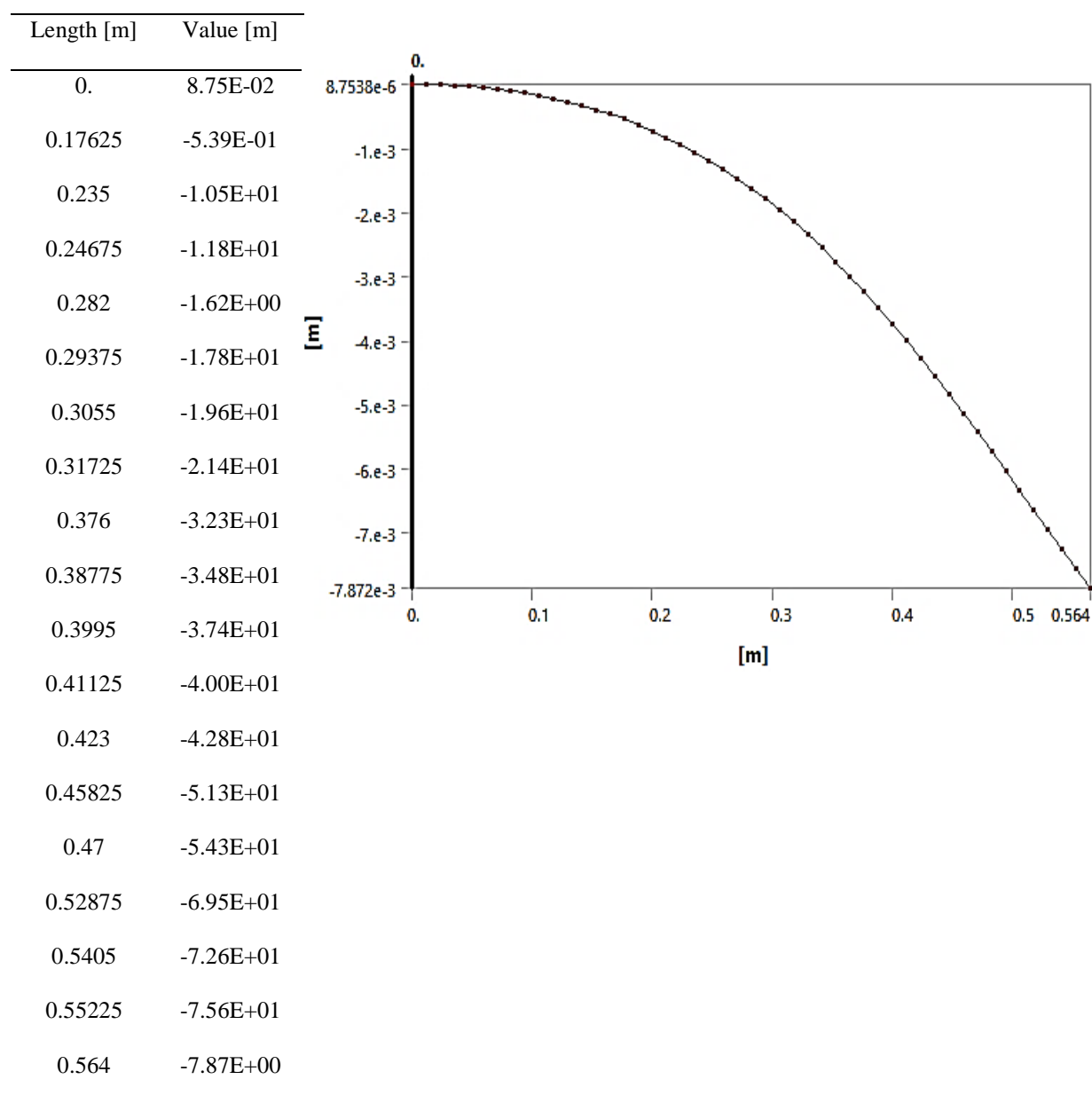
**Figura 74.** Esfuerzo de Von Mises barra BD



En base al análisis realizado se obtuvieron los resultados de la Tabla 36 que muestran el comportamiento de las longitudes de la barra con respecto a la deformación direccional en la superficie de la misma. Se tiene un valor máximo 0.0875 m y un mínimo de 0.00787 m.

**Tabla 36.**

*Datos Longitud Vs Deformación Barra BD*

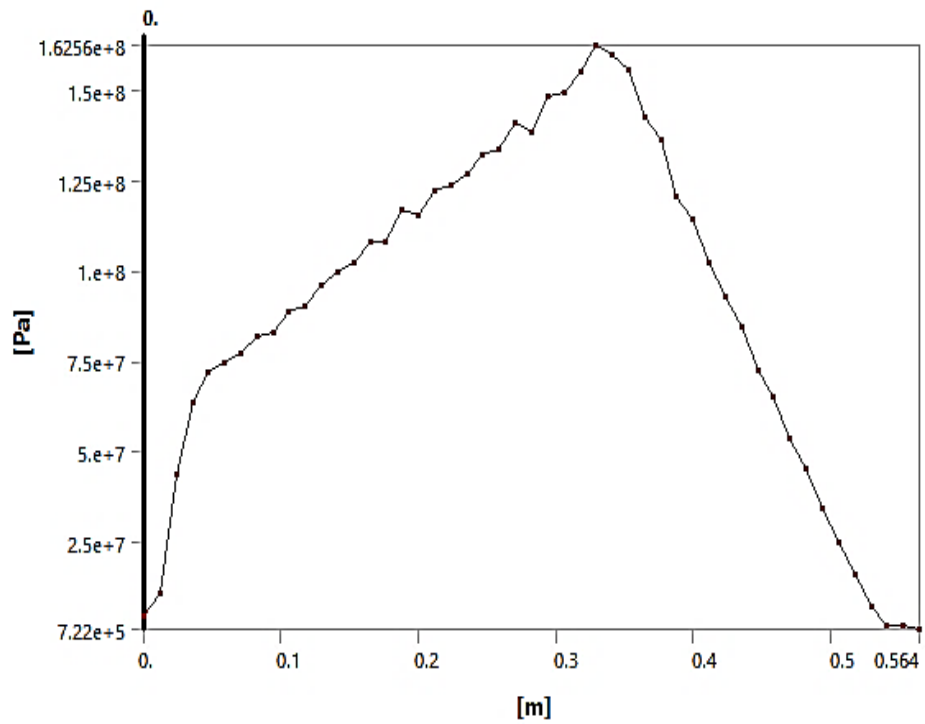


En base al análisis realizado se obtuvieron los resultados de la Tabla 37 que muestran el comportamiento de las longitudes de la barra con respecto al Esfuerzo de Von Misses en la superficie de la misma. Se presenta un valor máximo de 16.25 MPa y un mínimo de 0.722 MPa.

**Tabla 37.**

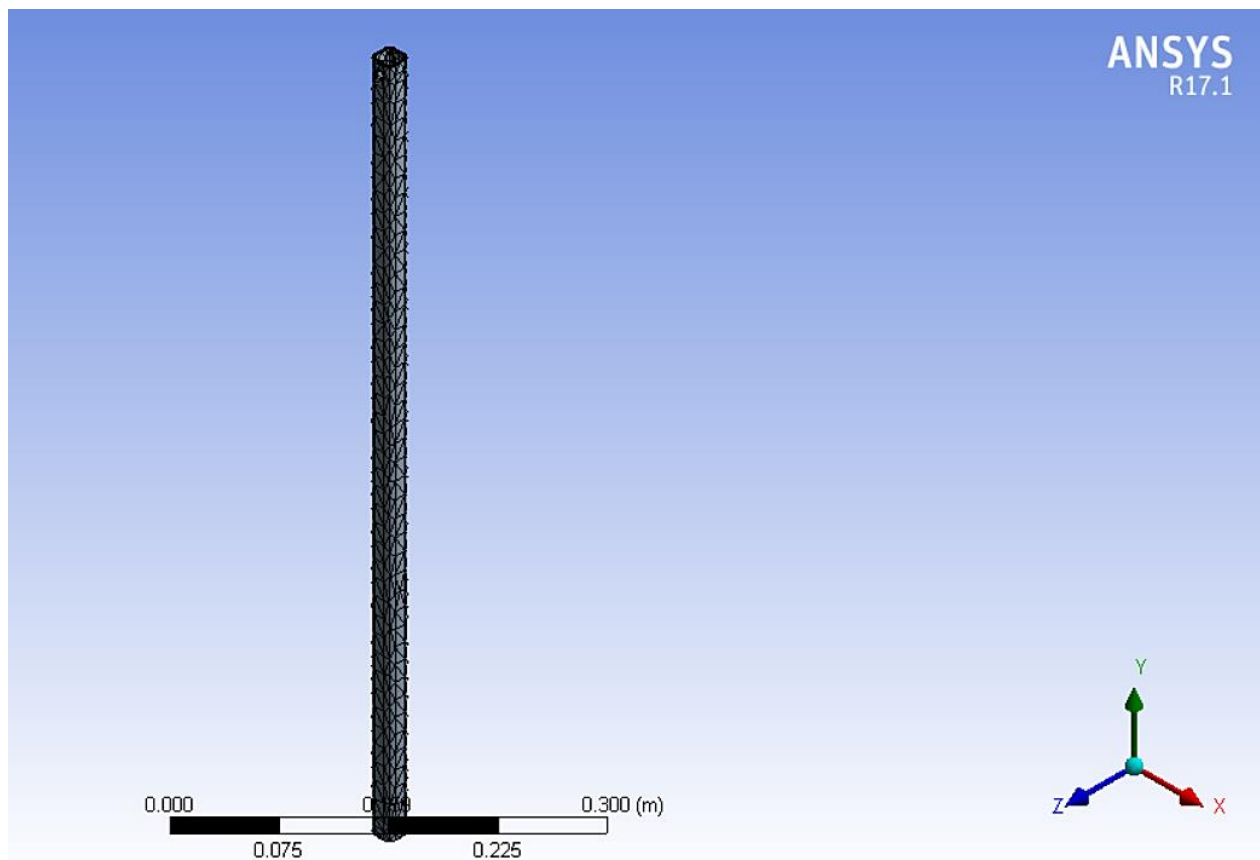
*Datos Longitud Vs Esfuerzo de Von Misses Barra BD*

Length [m]	Value [Pa]
0.	4.40E+10
0.17625	1.08E+12
0.235	1.27E+12
0.24675	1.32E+12
0.282	1.39E+12
0.29375	1.48E+12
0.3055	1.50E+11
0.31725	1.55E+12
0.376	1.36E+12
0.38775	1.21E+12
0.3995	1.14E+12
0.41125	1.03E+12
0.423	9.30E+11
0.45825	6.51E+11
0.47	5.35E+11
0.52875	6.83E+10
0.5405	1.75E+10
0.55225	1.99E+10
0.564	7.22e+005



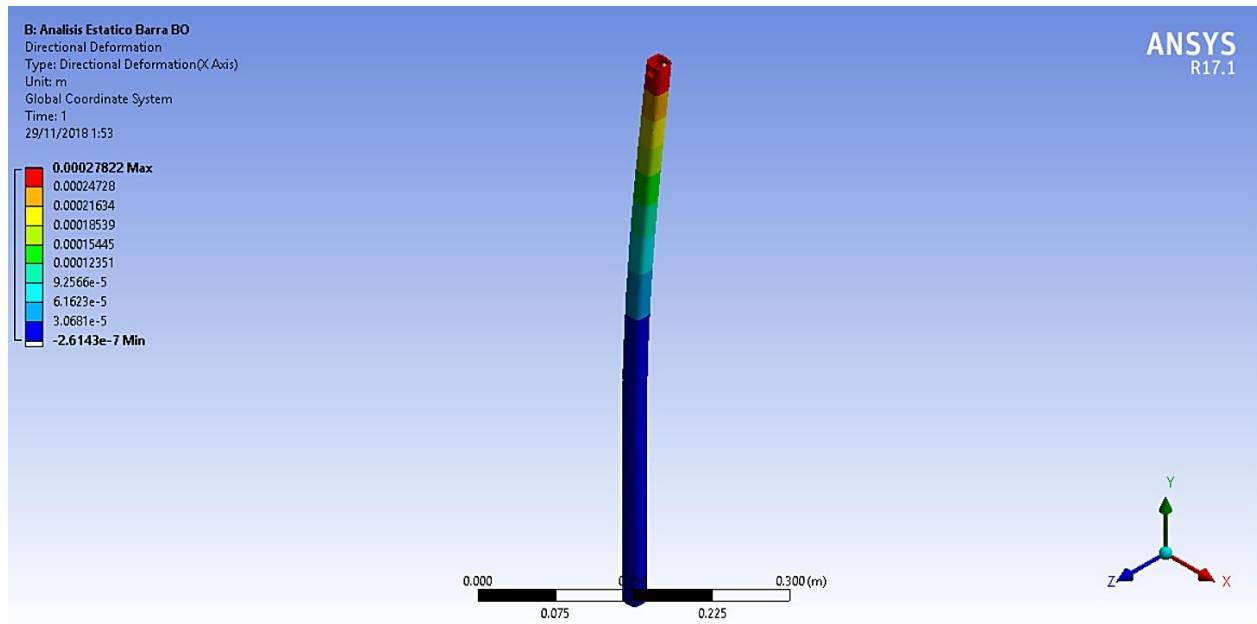
### 2.16.3 Barra BO

El análisis de elementos finitos que se observa en la Figura 75 detalla que se construyeron un total de 6194 nodos con un total de 3201 elementos para el mallado de la barra, el mallado realizado fue un mallado fino de tal manera que se puedan obtener datos más precisos del comportamiento del elemento.



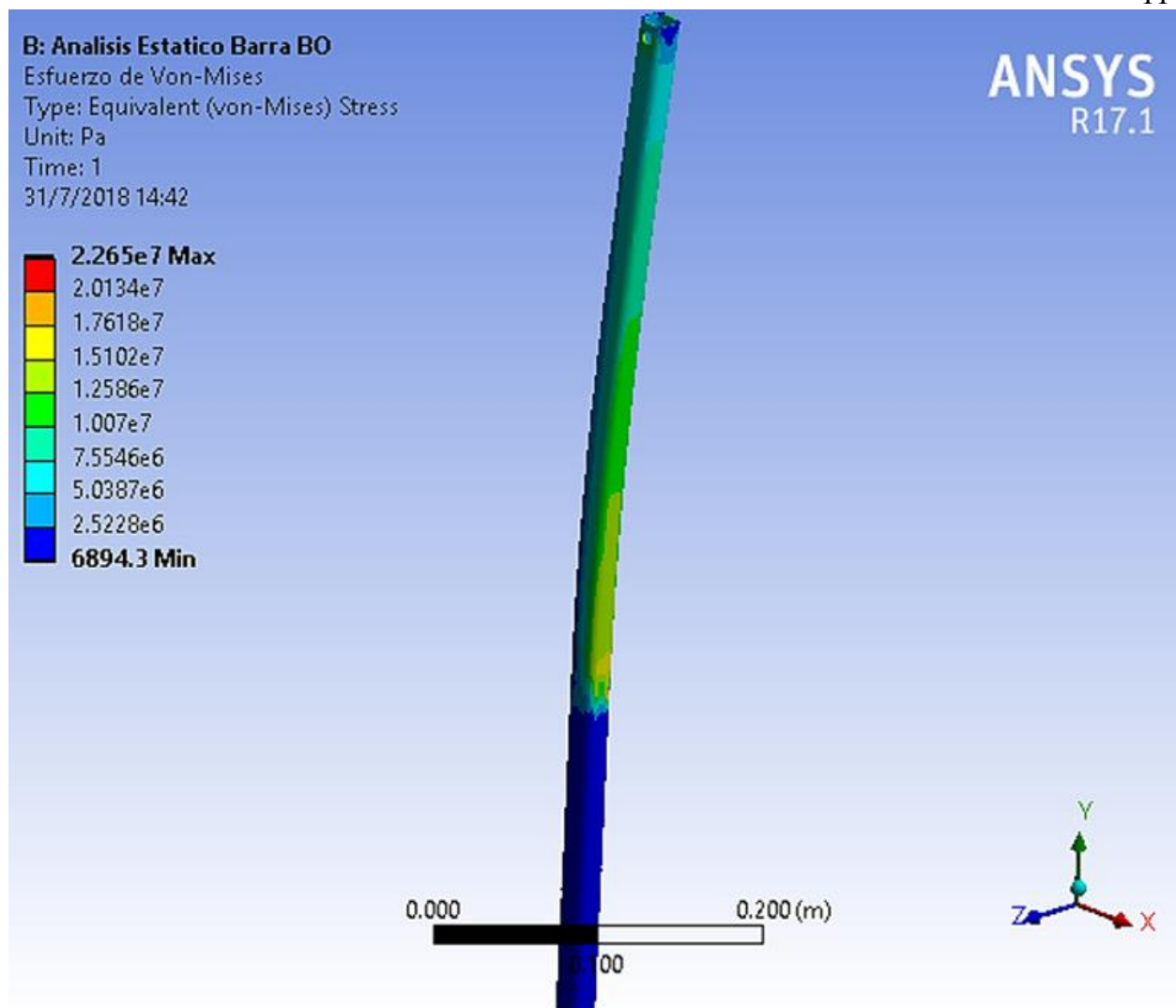
**Figura 75.** Análisis de elementos finitos Barra BO

En la Figura 76 se muestra la deformación de la barra BO sometida a las Fuerzas de la Figura 40 . En esta se puede observar que se tiene una deformación máxima de 0.00027822 m y un mínimo de 0.000000026143 m.



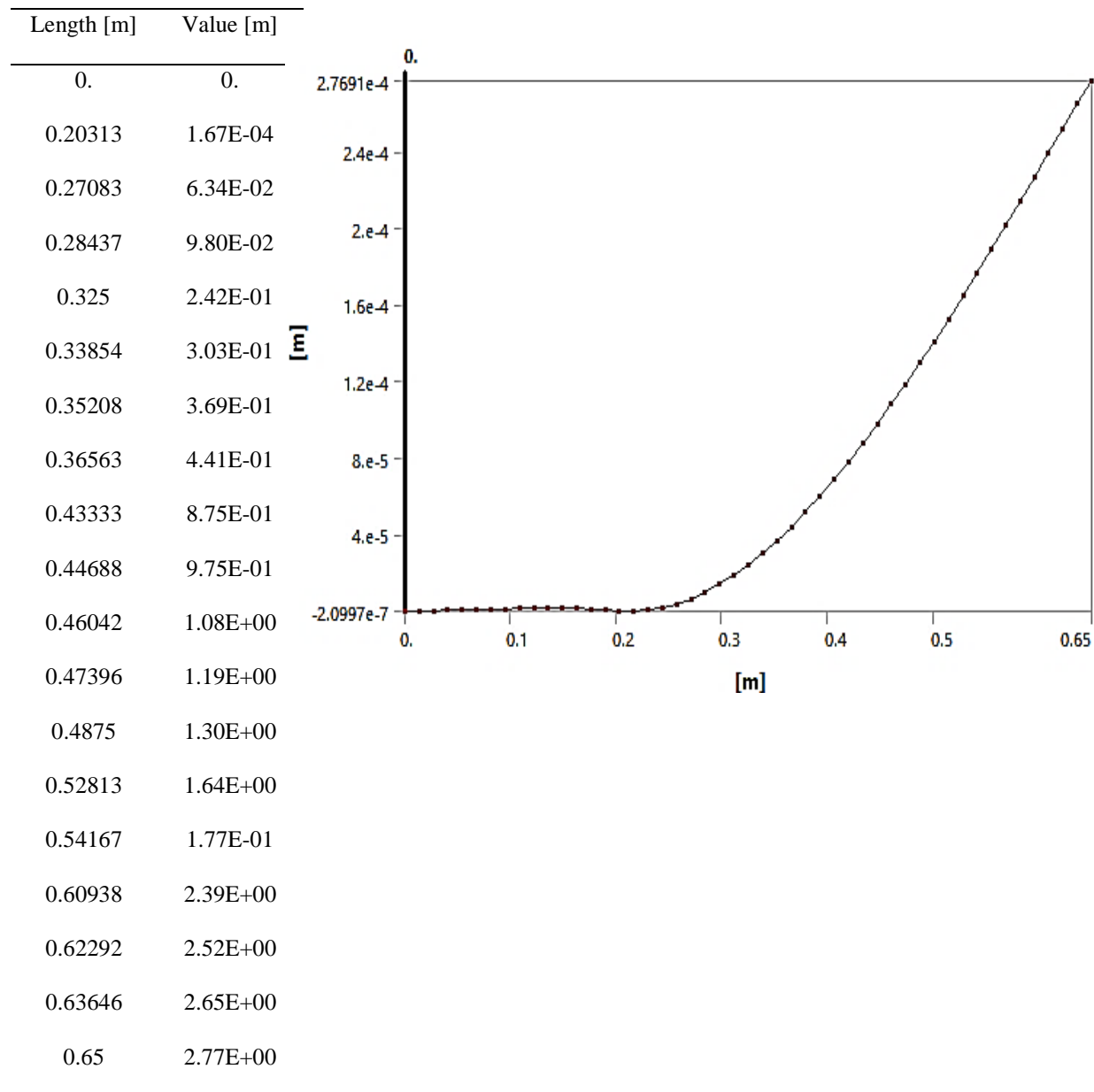
**Figura 76.** Deformación barra BO

En la Figura 77 se muestra el esfuerzo de Von Mises de la barra sometida a las Fuerzas de la Figura 40. En esta se puede observar que se tiene un esfuerzo máximo de 22.65 MPa y un mínimo de 6894.3 Pa.



**Figura 77.** Esfuerzo de Von Misses barra BD

En base al análisis realizado se obtuvieron los resultados de la Tabla 38 que muestran el comportamiento de las longitudes de la barra con respecto a la deformación direccional en la superficie de la misma, se presenta un valor máximo de 0.0002769 m y un mínimo de 0.000000209 m, valores pequeños considerando la longitud de la plataforma.

**Tabla 38.***Datos Longitud Vs Deformación Barra BO*

En base al análisis realizado se obtuvieron los resultados de la Tabla 39 que muestran el comportamiento de las longitudes de la barra con respecto al Esfuerzo de Von Mises en la

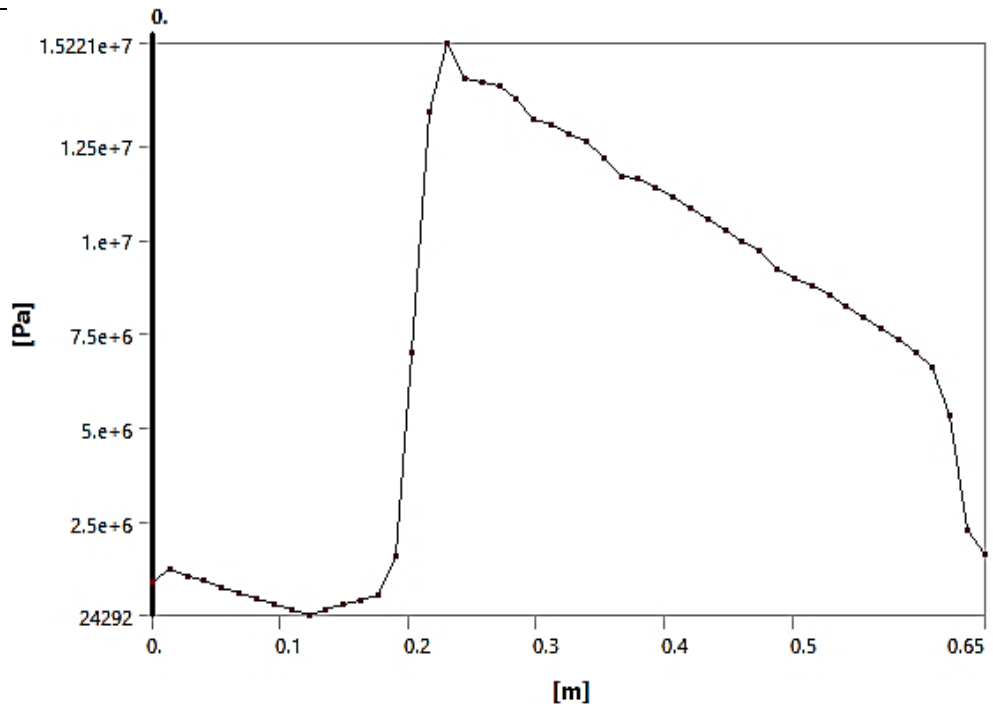
superficie de la misma. Se presenta un valor máximo de 15.21 MPa y un valor mínimo de 0.024292

MPa.

**Tabla 39.**

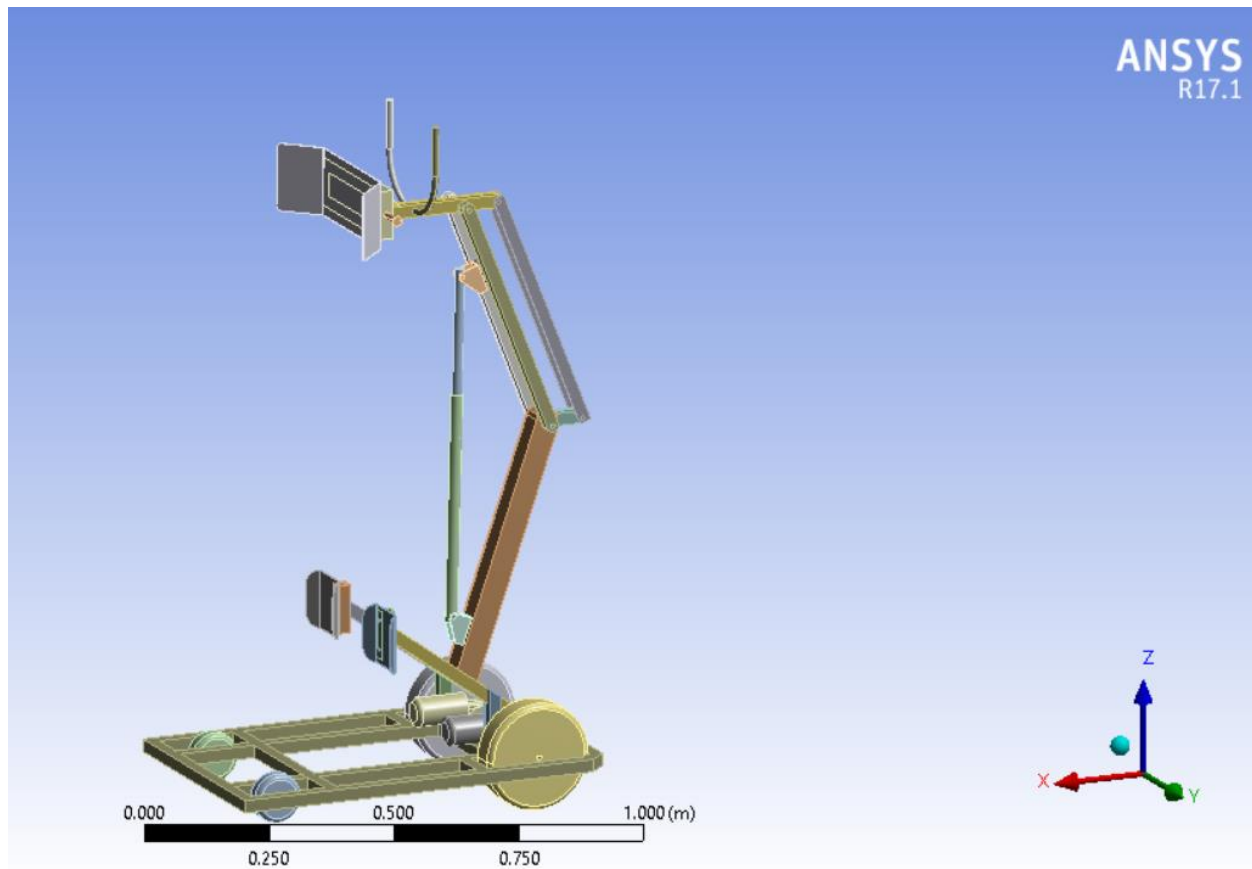
*Datos Longitud Vs Esfuerzo de Von Misses Barra BD*

Length [m]	Value [Pa]
0.	9.18E+09
0.20313	7.00E+10
0.27083	1.41E+11
0.28437	1.38E+11
0.325	1.28E+11
0.33854	1.26E+11
0.35208	1.22E+10
0.36563	1.17E+11
0.43333	1.05E+11
0.44688	1.03E+11
0.46042	9.96E+09
0.47396	9.69E+10
0.4875	9.22E+10
0.52813	8.51E+10
0.54167	8.24E+10
0.60938	6.62E+10
0.62292	5.36E+10
0.63646	2.30E+10
0.65	1.67E+10



#### 2.16.4 Análisis estático estructura

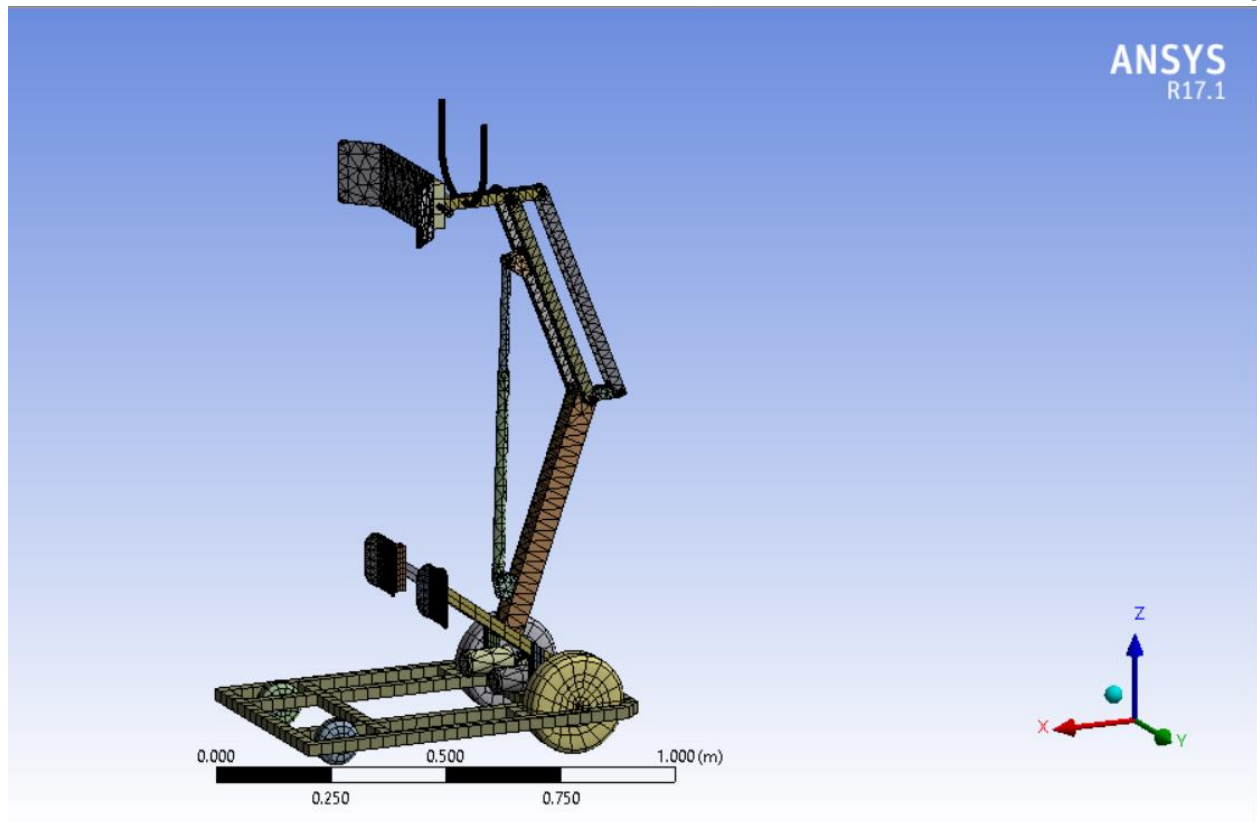
En la Figura 78 se muestra el análisis realizado a la estructura con todas sus partes.



**Figura 78.** Análisis estático bipedestador

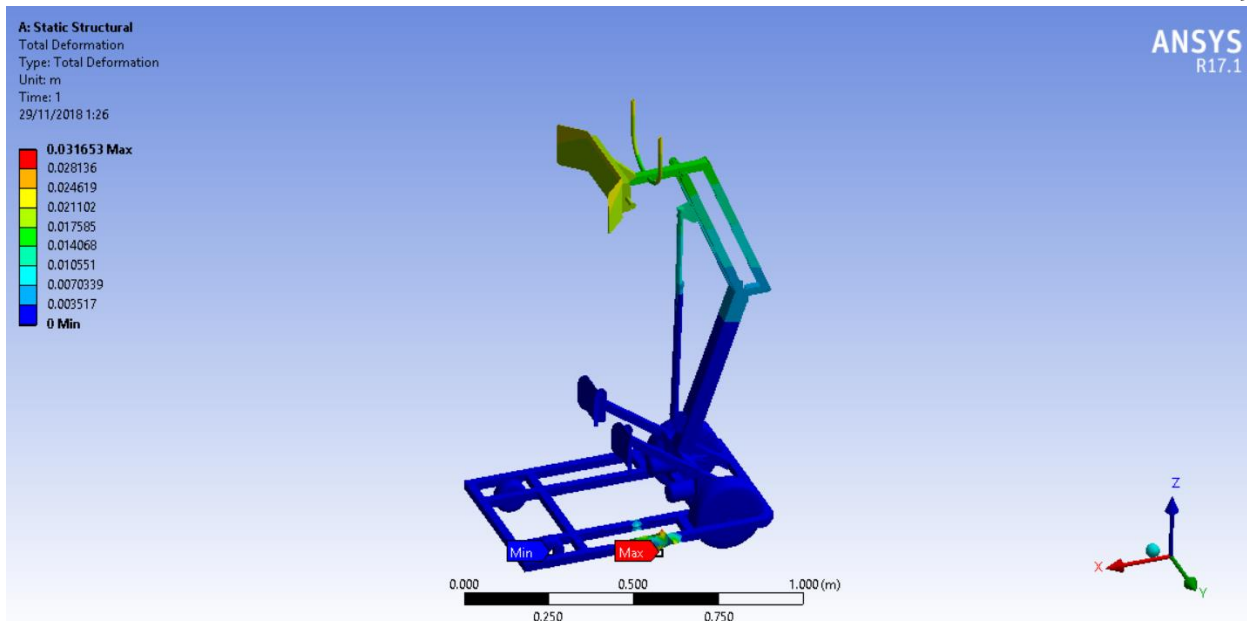
Se realiza un análisis de elementos finitos a toda la estructura en el que se generó un total de 1587 nodos y 764 elementos como se observa en la Figura 79 .





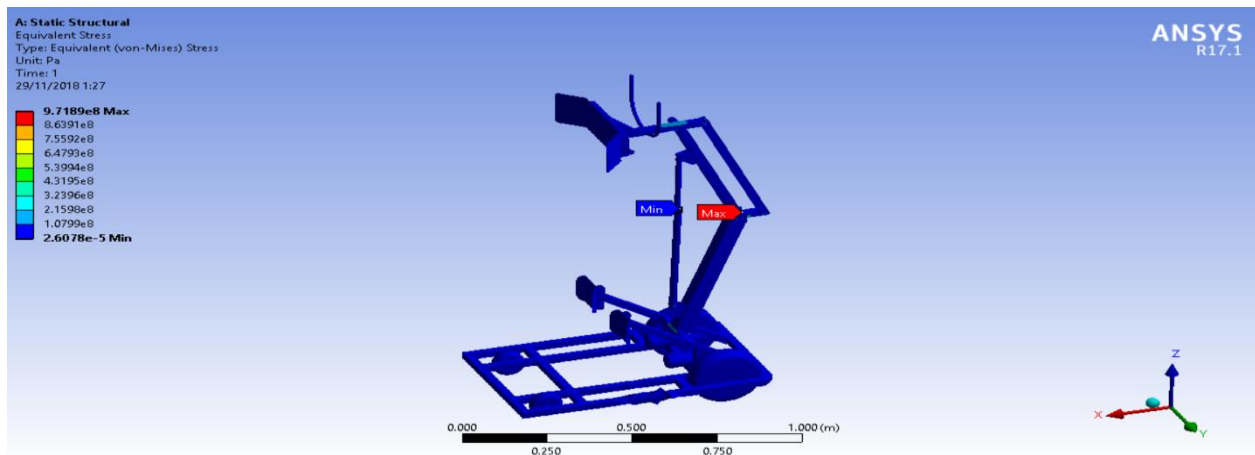
**Figura 79.** Análisis de elementos finitos bipedestador

En la Figura 80 se muestra la deformación de la estructura sometida a las Fuerzas de la Figura 40 . En esta se puede observar que se tiene una deformación máxima de 0.03165 m y un mínimo de 0 m.



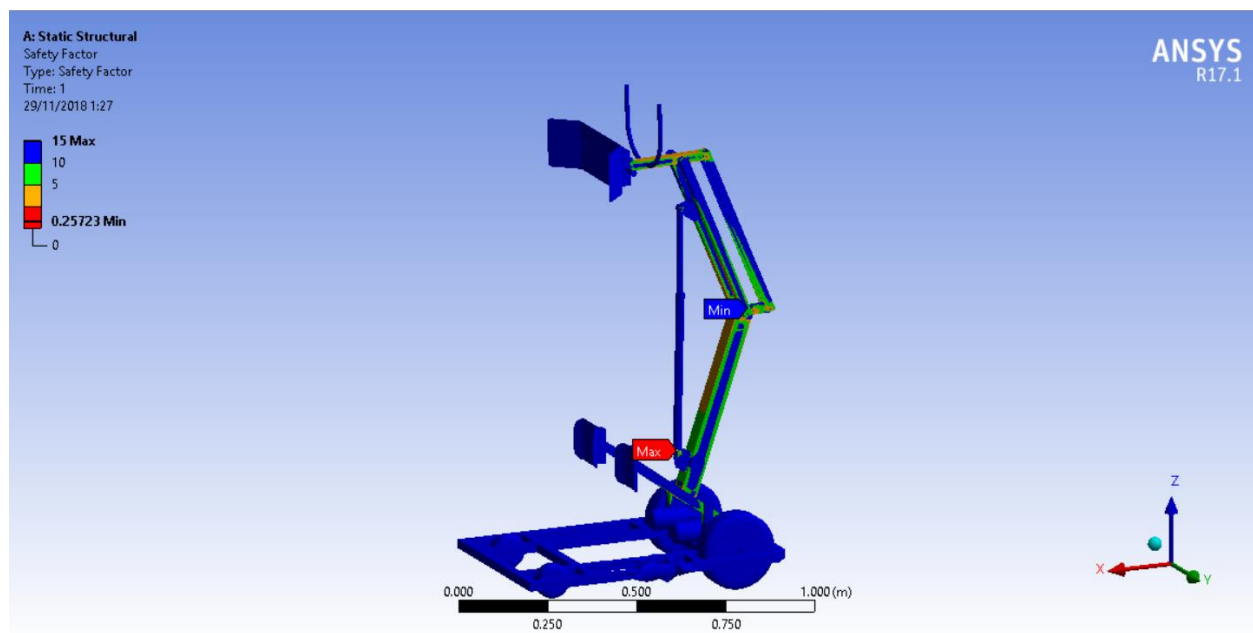
**Figura 80.** Deformación bipedestador

En la Figura 81 se muestra el esfuerzo de Von Mises de la estructura sometida a las Fuerzas de la Figura 40. En esta se puede observar que se tiene un esfuerzo máximo de 97.18 MPa y un mínimo de 0.26 MPa.



**Figura 81.** Esfuerzo de Von Mises bipedestador

En la Figura 82 se muestra el factor de seguridad de la estructura sometida a las Fuerzas de la Figura 40. En esta se puede observar que se tiene un valor máximo de 15 y un mínimo de 0.25.



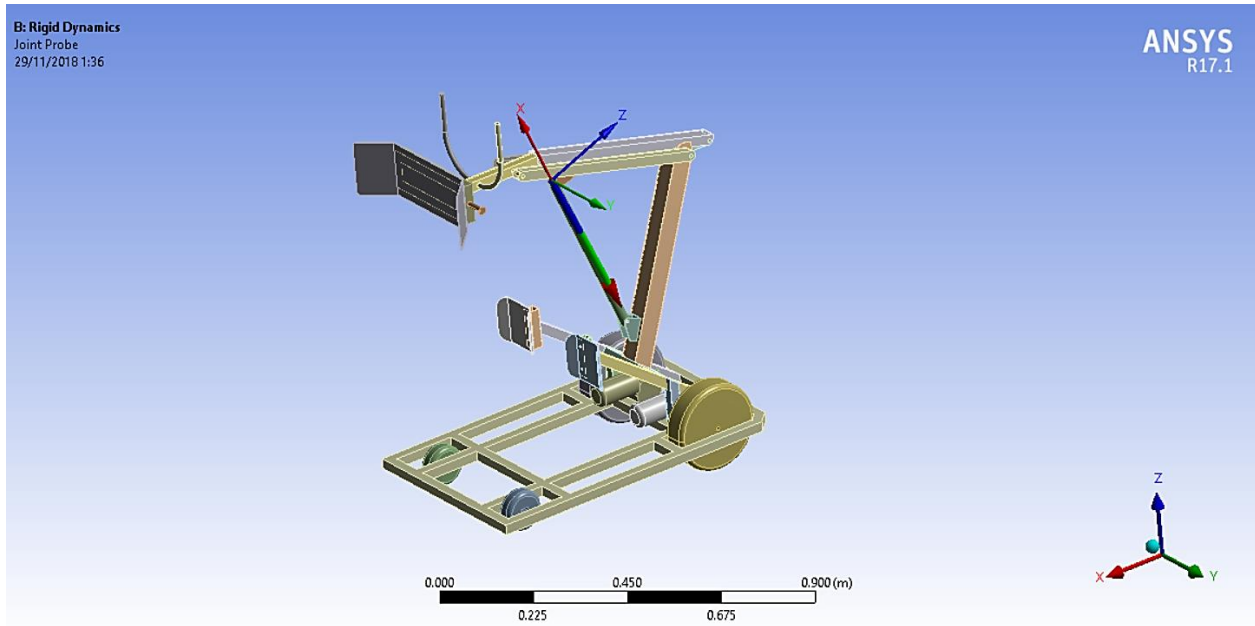
**Figura 82.** Factor de seguridad bipedestador

## 2.17 Análisis dinámico

### A. Análisis dinámico estructura

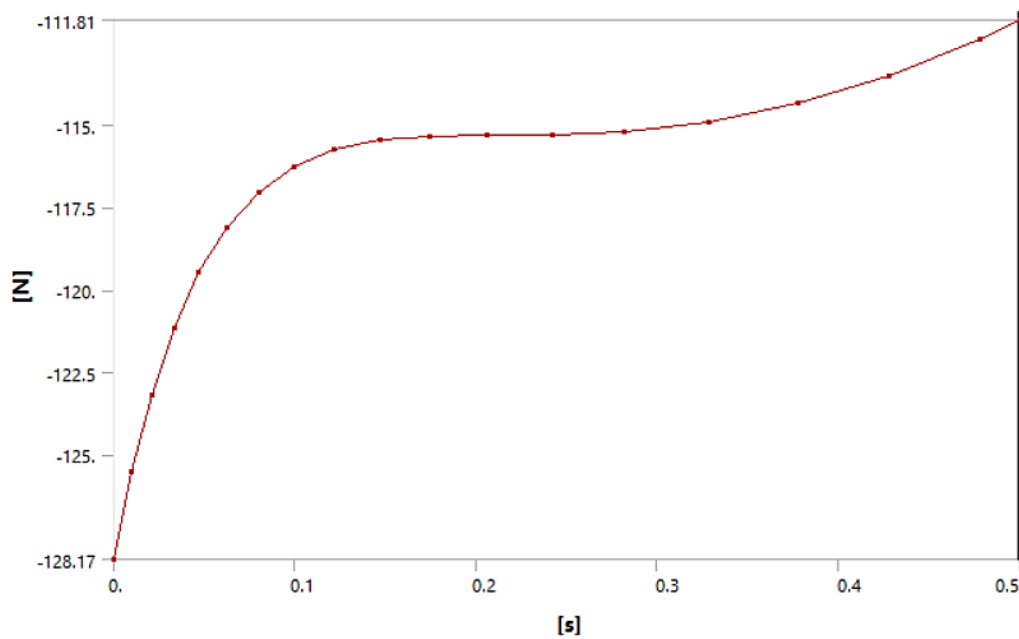
El análisis dinámico se realizó en cuatro puntos de prueba a fin de determinar la evolución de la fuerza en función del tiempo para visualizar el comportamiento de la estructura.

En la Figura 83 se muestra la posición de la primera junta de prueba.



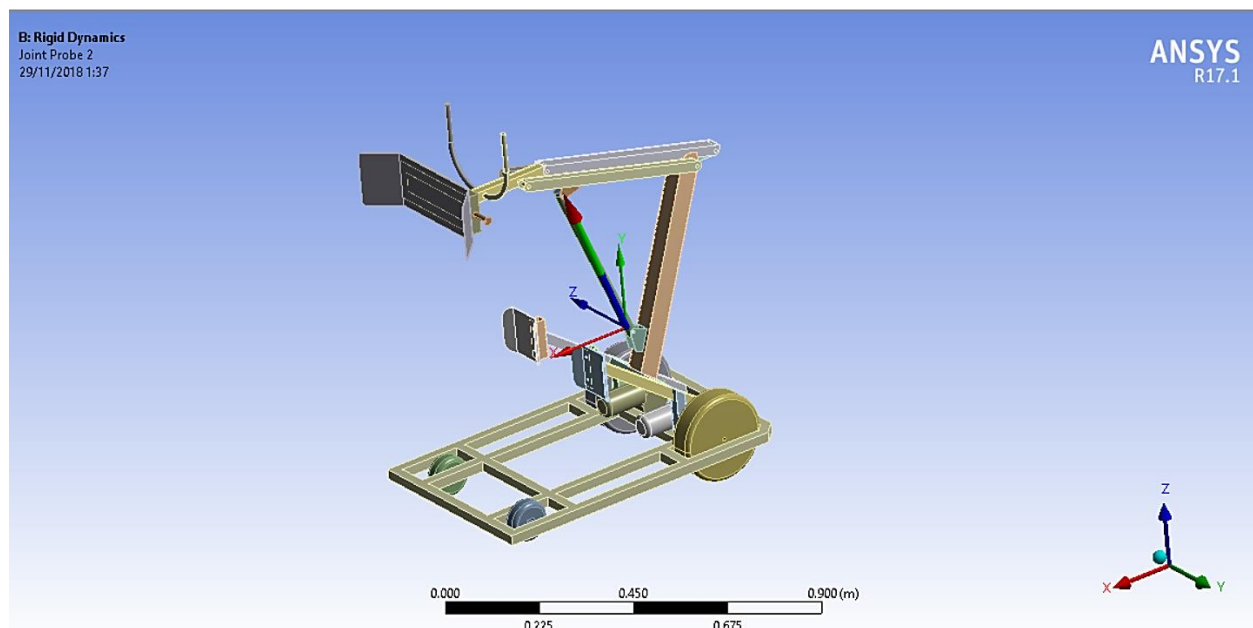
*Figura 83.* Junta 1

Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura 84 presentando un valor máximo de fuerza de 111.81 N y un valor mínimo de 128.17 N.



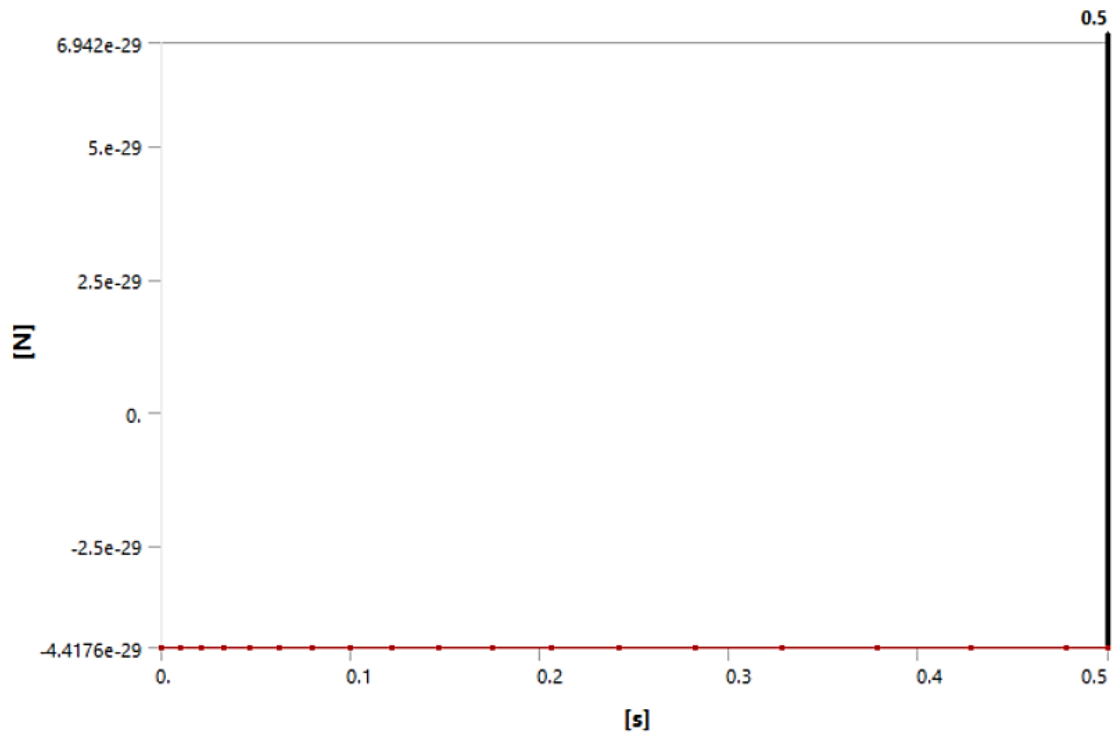
*Figura 84.* Comportamiento Junta 1

En la Figura 85 se muestra la posición de la segunda junta de prueba.



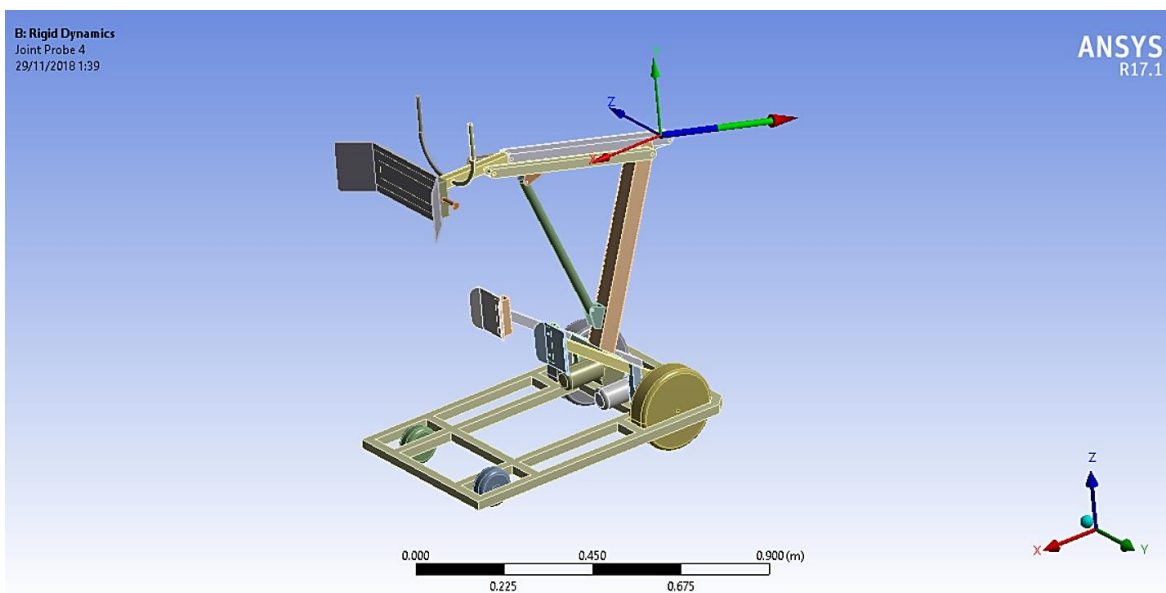
*Figura 85. Junta 2*

Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura 86, presentando un valor constante de fuerza de aproximadamente 0N quiere decir que esta junta permanece la fuerza constante en el análisis dinámico.



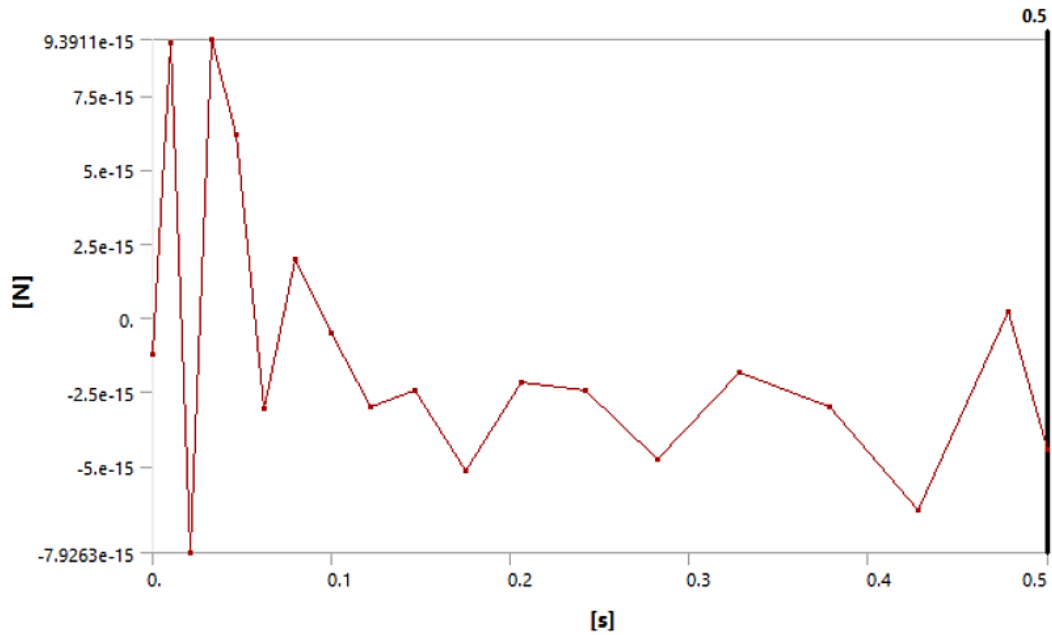
**Figura 86.** Comportamiento Junta 2

En la Figura 87 se muestra la posición de la tercera junta de prueba.



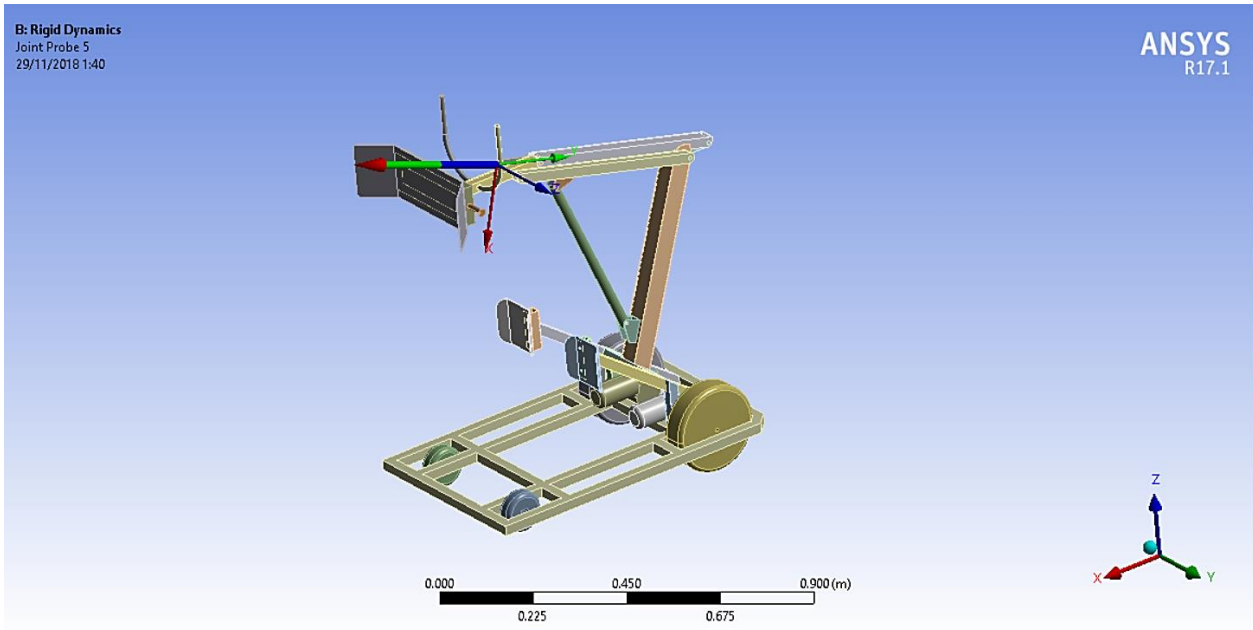
**Figura 87.** Junta 3

Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura 88, presentando un valor máximo de fuerza de  $9.39 \cdot 10^{-16}$  N y un valor mínimo de  $7.92 \cdot 10^{-15}$  N valores cuyas magnitudes no son tan elevadas considerando las dimensiones de la estructura.



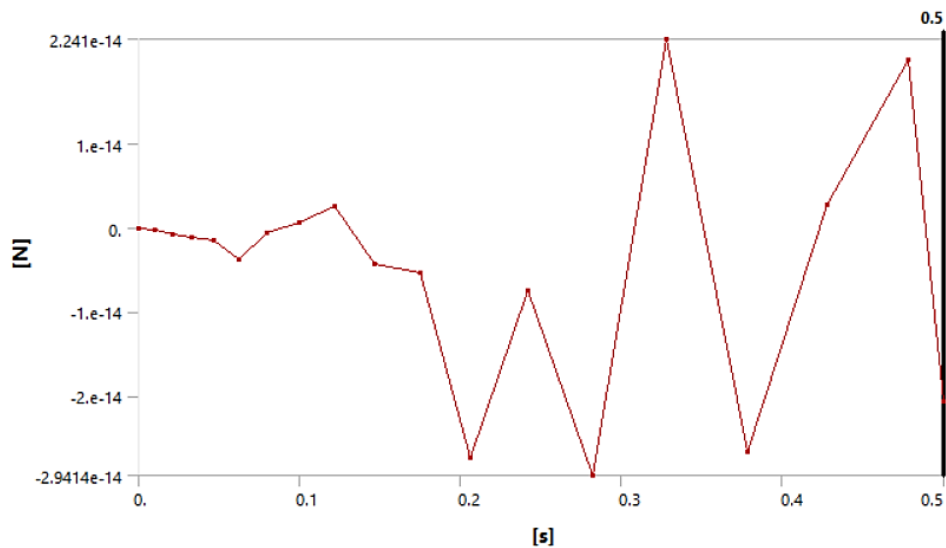
**Figura 88.** Comportamiento Junta 3

En la Figura 89 se muestra la posición de la segunda junta de prueba.



*Figura 89.* Junta 4

Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura 90, presentando un valor máximo de fuerza de  $2.24 \cdot 10^{-14}$  N y un valor mínimo de  $-2.94 \cdot 10^{-14}$  N, fuerza que cambia la dirección pero la magnitud permanece constante.



*Figura 90.* Comportamiento Junta 4



## CAPÍTULO III

### CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

Se realizó la construcción de la plataforma bipedestal en el que se incluye los siguientes elementos: motores, ruedas, soporte base, caja de circuitos, protección circuitería, soporte rodillas. Para ello se utilizaron perfiles de acero que fueron unidos a través de una soldadura por arco, los acabados se realizaron en fibra de vidrio y con pintura tipo esmalte. Para el tapizado se utilizó cuero y esponja. La instalación de los motores se realizó utilizando acoples a la estructura y en las llantas se colocaron protecciones.

#### 3.1 Construcción soporte base

Para la plataforma de la base se utilizaron perfiles de acero de 3.8" y de longitudes de 20 cm como se muestra en la Figura 91.



*Figura 91.* Perfiles base

Se utilizó una unión fija de soldadura por arco como se muestra en la Figura 92.



*Figura 92.* Soldadura base plataforma



*Figura 93.* Soldadura estructura apoyo rodillas

### 3.2 Construcción apoyos rodillas

En la Figura 94 se muestra la estructura del apoyo de las rodillas, junto con los elementos que se utilizarán para su sujeción.



*Figura 94.* Apoyo rodillas

En la Figura 95 se realiza la instalación del apoyo de las rodillas.



*Figura 95.* Instalación apoyo rodillas



### 3.2 Construcción apoyo pecho

En la Figura 96 se observa la sujeción de la estructura para apoyo del pecho.



*Figura 96.* Estructura apoyo pechera

En la Figura 97 se observa la soldadura de los elementos que sujetaran la estructura de la pechera para la sujeción de la persona.



**Figura 97.** Instalación estructura de sujeción pechera-mando

En la Figura 98 se muestra la soldadura de los apoyos de las rodillas y pecho respectivamente.



**Figura 98.** Estructura instalación apoyo pechera – rodillas

En la Figura 99 se observa la soldadura de la estructura completa del pecho para el apoyo de la persona.



**Figura 99.** Soldadura estructura pechera

Se realizó el corte, soldadura de los elementos auxiliares de la estructura como se muestra en la Figura 100.







*Figura 100.* Soldadura perfiles auxiliares

### 3.3 Instalación llantas

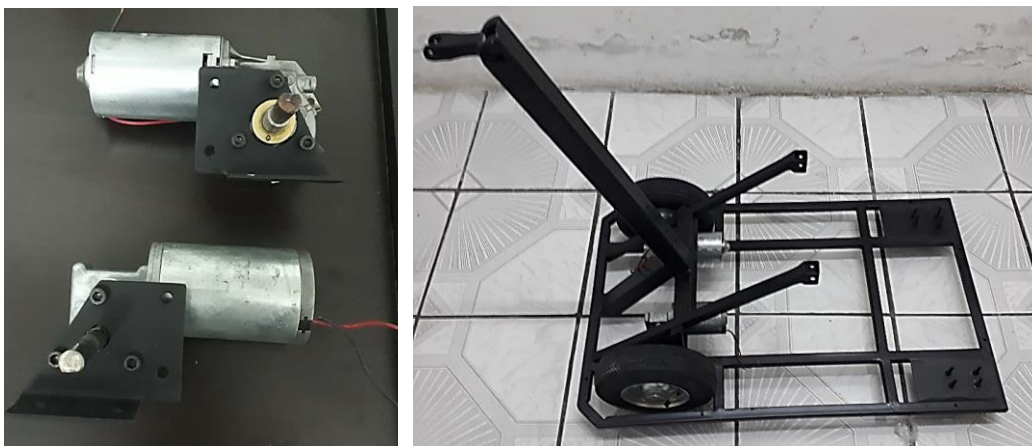
En la Figura 101 se muestra la instalación de las llantas traseras que conjuntamente con las llantas delanteras y motores darán movilidad a la estructura.



*Figura 101.* Instalación llantas

### 3.4 Instalación motores

En la Figura 102 se muestran los motores utilizados.



**Figura 102.** Instalación motores

En la Figura 103 se muestra la instalación de los motores en la estructura.



**Figura 103.** Instalación llantas





*Figura 104.* Instalación motores – llantas

### **3.5 Instalación actuador lineal**

En la Figura 105 se muestra la instalación del actuador lineal que permitirá subir y bajar a la persona de la estación bipedestal.



*Figura 105.* Instalación actuador lineal

### 3.6 Protección circuitería

Se utilizó una estructura para la protección de la circuitería que ira instalada en la base de la estructura como se muestra en la Figura 106.



*Figura 106.* Instalación protección circuitería

### 3.7 Instalación mando

Se realizó el doblado del tubo como se observa en la Figura 107 y la soldadura del acople que permitirá la sujeción al resto de la estructura (ver Figura 108)



*Figura 107.* Doblado tubo mando



*Figura 108.* Soldadura del acople del mando a la estructura

### 3.9 Estructura final

En la Figura 109 se muestra la estructura final construida.



*Figura 109.* Estructura final

## CAPÍTULO IV

### PRUEBAS Y RESULTADOS

El capítulo se basa en la realización de pruebas para verificar la funcionalidad de la plataforma, se inicia con pruebas del sistema de elevación para verificar los ángulos mínimo y máximo del mando respecto al eje horizontal, al igual que pruebas de movimiento y estabilidad a fin de determinar si afecta de alguna manera la aplicación de más peso a la estructura, el capítulo continua con la realización de un análisis del sistema de sujeción para verificar la confiabilidad que los usuarios darían al bipedestador, se realiza el análisis de arranque suave en donde se verifica el funcionamiento del sistema mecatrónico considerando varios parámetros en el sistema de calificación. Y finalmente se realiza un análisis económico considerando costos de materia prima, herramientas, materiales, equipos y mano de obra.

#### 4.1 Desarrollo del protocolo de pruebas

El protocolo de pruebas se realizó en varias etapas, que se detallan a continuación:

- **ETAPA 1:** Desplazamiento autosuficiente

En la primera etapa se realiza un análisis del sistema de elevación para verificar los ángulos con los que se mueve el actuador respecto al eje horizontal importantes para el funcionamiento del bipedestador.

- **ETAPA 2:** Ejercitación muscular inferior

En la segunda etapa se realiza un análisis de la estabilidad del bipedestador, en la que se verifica el centro de gravedad de la estructura.

- **ETAPA 3:** Prueba de elevación vertical

En la tercera etapa se realiza las mediciones de las dimensiones más importantes de la estructura a fin de determinar para que personas está diseñada la misma.

- **ETAPA 4:** Prueba de sujeción de la persona

En la cuarta etapa se realiza la comprobación de la eficiencia del sistema de sujeción de la persona, cuyo protocolo a seguir se detalla en la Tabla 44.

- **ETAPA 5:** Arranque suave

En la quinta etapa se verifica el funcionamiento del sistema mecatrónico a través del movimiento de motores y actuador.

#### 4.2 Pruebas desplazamiento autosuficiente

En la Tabla 40 se detalla el procedimiento que se realizó para llevar a cabo la prueba de desplazamiento autosuficiente.

#### **Tabla 40.**

*Protocolo de pruebas elevación*

<b>PRUEBA</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA</b>	Desplazamiento autosuficiente

<b>TIPO DE PRUEBA</b>	Prueba de sistema de elevación
<b>COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA</b>	Bipedestador
<b>LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN</b>	Latacunga 08 de octubre de 2018
<b>RESPONSABLES</b>	Andrés Pérez Edison Llano
<b>OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA</b>	Realizar y comprobar el funcionamiento del sistema de elevación a través de la realización de varios experimentos para verificar el ángulo mínimo y máximo del actuador.
<b>DURACIÓN ESTIMADA</b>	1 hora aproximadamente
<b>PARTICIPANTES</b>	
	Gabriel Moreno      Fisioterapeuta
	Mayra Paredes      Fisioterapeuta
<b>NOMBRE</b>	Irving Tejada      Sujeto de prueba
	Alex Coque      Sujeto de prueba
<b>DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA</b>	
<ol style="list-style-type: none"> <li>1. Verificar polaridad</li> <li>2. Energizar el actuador</li> <li>3. Ubicar marcadores en el gesto motor a analizar en este caso el ángulo de rotación del actuador respecto al eje horizontal.</li> <li>4. Registrar el gesto motor (grabación)</li> <li>5. Tomar medida de los ángulos en función del porcentaje de avance.</li> </ol>	

- 
6. Determinar los ángulos máximo y mínimo.
- 

Se realiza la obtención de datos del ángulo entre el eje x y el actuador lineal a fin de determinar el máximo y mínimo para el funcionamiento. En la Figura 110 se muestra el ángulo mínimo y en la Figura 111 se muestra el ángulo máximo.



*Figura 110.* Ángulo mínimo



*Figura 111.* Ángulo máximo



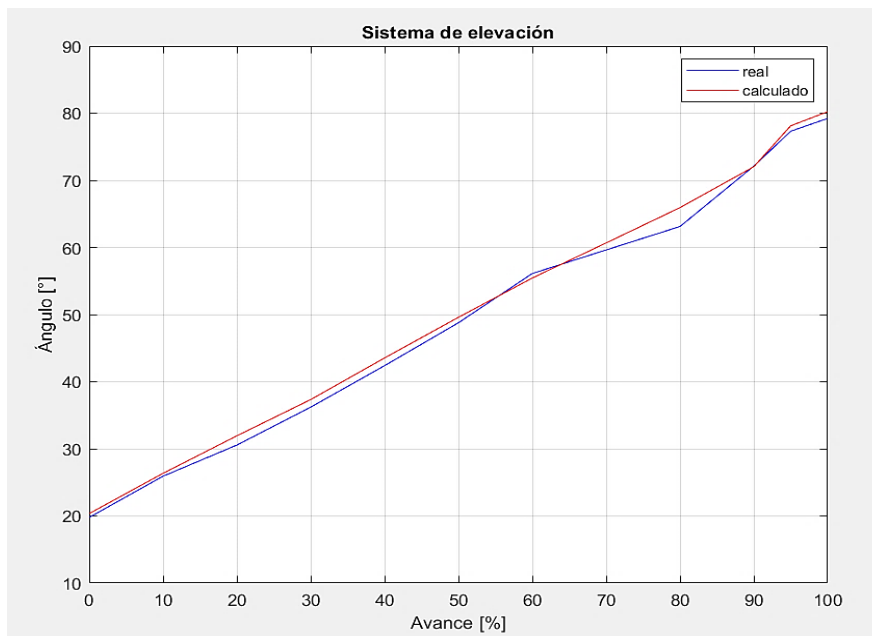
#### 4.2.1 Resultados pruebas del desplazamiento autosuficiente

En la Tabla 41 se muestra los resultados de las pruebas del desplazamiento del actuador en el que se determinó el ángulo máximo y mínimo de funcionamiento.

**Tabla 41.**

##### *Protocolo de pruebas elevación*

Sistema de elevación			
Avance	Ángulo	Ángulo	Error
[% ]	calculado [°]	real [°]	[%]
0.	20.35	19.78	2.80%
10	26.35	25.92	1.63%
20	31.94	30.56	4.32%
30	37.34	36.21	3.03%
40	43.54	42.39	2.64%
50	49.595	48.78	1.64%
60	55.445	56.12	1.22%
70	60.675	59.63	1.72%
80	65.935	63.12	4.27%
90	72.035	72.13	0.13%
95	78.135	77.32	1.04%
100	80.235	79.23	1.25%



**Figura 112.** Errores sistema de elevación

La Figura 112 muestra la variación entre los datos calculados y los reales, se presenta un ángulo máximo de  $80.23^\circ$  y un mínimo de  $20.35^\circ$ .

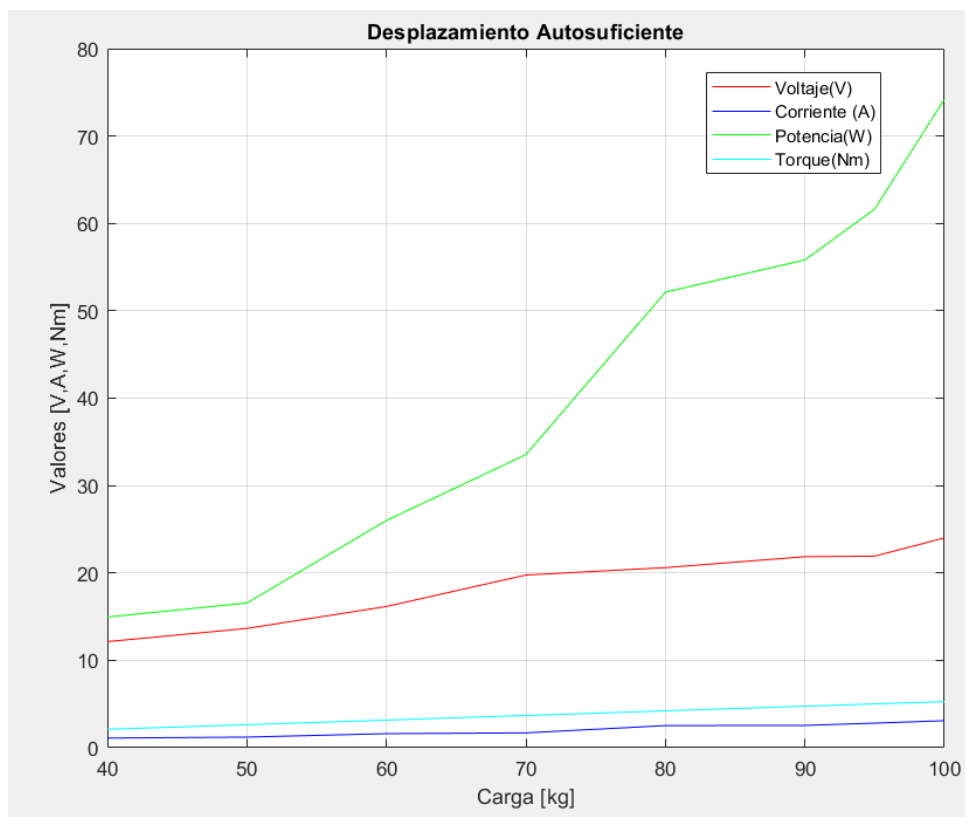
Para la realización de las pruebas se considera alrededor de 9 personas, su principal motivo es obtener un resultado óptimo, ya que si se realiza con más personas el rendimiento de las baterías alrededor del 50% - 70% no sería el mismo y no se obtendría los mismos resultados con las baterías al 100%.

Se realizaron mediciones de Voltaje, Corriente, Potencia y Torque para  $n=9$  experimentos variando la carga de la persona obteniendo los resultados de la Tabla 42.

**Tabla 42.***Protocolo de desplazamiento autosuficiente*

<b>Desplazamiento Autosuficiente</b>					
<b>Carga [kg ]</b>	<b>Voltaje [V]</b>	<b>Corriente [A]</b>	<b>Potencia [W]</b>	<b>Torque[Nm]</b>	<b>Eficiencia [%]</b>
0	12.14	1.1	12.99	0	46.2832
40	13.57	1.1	14.95	2.11	51.1428
50	13.65	1.2	16.56	2.63	59.8615
60	16.16	1.6	26.00	3.16	62.825
70	19.76	1.7	33.54	3.69	64.601
80	20.61	2.5	52.13	4.22	69.2398
90	21.86	2.6	55.82	4.75	78.292
95	21.92	2.8	61.64	5.013	78.8783
100	24.01	3.1	74.21	5.27	91.61

Se obtuvo un valor máximo de Voltaje de 24.01[V], 3.0905 [A], 74.21[W], 5.27 [Nm] como se observa en la Figura 113.



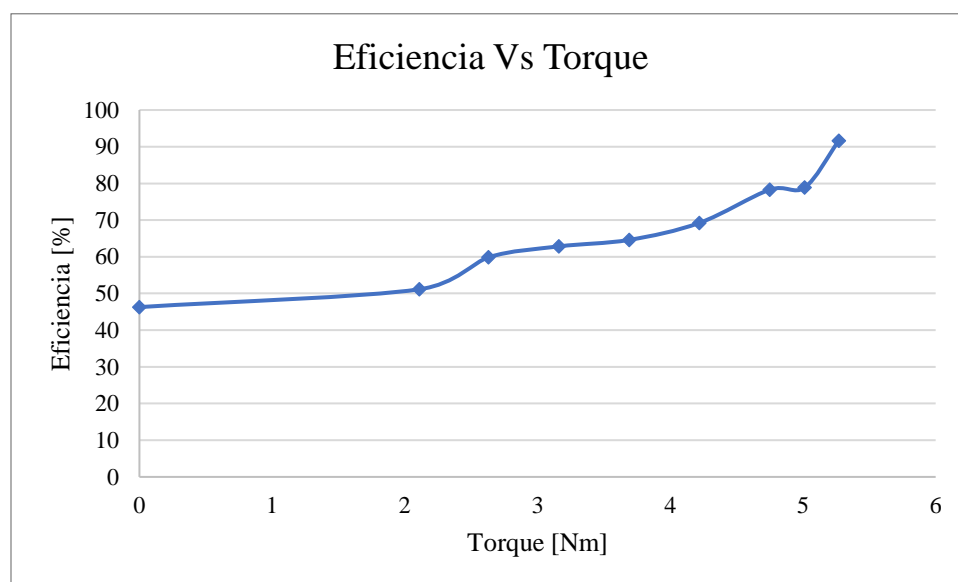
**Figura 113.** Voltaje, Corriente, Potencia y Torque

Se realizó el cálculo de la eficiencia que ofrece el actuador basado en torque mostrando su comportamiento en la Figura 114.

Se puede observar que el bipedestador sin carga para vencer la inercia utiliza 1.1 amperio y una potencia de 12.99 kw, pues el equipo debe ganar inercia por el peso mismo de la estructura, el amperaje se mantiene constante hasta una carga de 60kg. El bipedestador con una carga de se obtiene una potencia requerida en 14.95W y con un torque de 2.11Nm para poder vencer la inercia.

Entre la carga de 70kg y 80kg el consumo de amperaje, potencia y torque se eleva considerablemente en un 47%, esto debido a que el sistema al elevarse va cambiando su centro de masa, por ende, requiere más consumo de energía para mantener la estabilidad.

En la etapa final de elevación con una carga de 100kg, este será nuestro punto crítico, y para vencer la inercia en este punto el consumo de amperaje es de 3.1, voltaje de 24.1V, y una eficiencia del 91.61%, por lo tanto, entre mayor voltaje la eficiencia es óptima.



**Figura 114.** Eficiencia Vs Torque

En la figura podemos observar que el torque se mantiene constante en el punto de 0 a 2.63 para mantener la estabilidad, en el rango de 2.7 en adelante tanto la eficiencia como el torque aumenta en un 15% en cada rango, hasta llegar al punto crítico de 100kg que llega a su óptima eficiencia.

### 4.3 Pruebas ejercitación muscular inferior

En la Tabla 43 se detalla el procedimiento que se realizó para llevar a cabo la prueba de ejercitación muscular inferior.

**Tabla 43.**

*Protocolo de pruebas de ejercitación muscular inferior*

<b>PRUEBA</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA</b>	Ejercitación muscular inferior
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	Prueba de ejercitación muscular inferior
<b>COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA</b>	Bipedestador
<b>LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN</b>	Latacunga 08 de octubre de 2018
<b>RESPONSABLES</b>	Andrés Pérez Edison Llano
<b>OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA</b>	Realizar el análisis de movimiento y estabilidad del bipedestador verificando el centro de gravedad de la estructura.
<b>DURACIÓN ESTIMADA</b>	1 hora aproximadamente
<b>PARTICIPANTES</b>	
Gabriel Moreno	Fisioterapeuta

---

	Mayra Paredes	Fisioterapeuta
<b>NOMBRE</b>	Irving Tejada	Sujeto de prueba
	Alex Coque	Sujeto de prueba

---

---

#### **DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA**

---

1. Realizar mediciones en el diseño CAD
  2. Hallar ángulo de inclinación
  3. Registrar los datos
  4. Identificar las propiedades físicas del elemento
  5. Registrar datos del centro de masa
  6. Analizar los datos obtenidos.
- 

Se realizó la obtención de las coordenadas del centro de masa de la estación bipedestal en función de la variación del ángulo de inclinación a fin de determinar un rango permisible de estabilidad de la estructura. En la Figura 115 se muestra la obtención de las dimensiones para el cálculo del ángulo de inclinación simulado y en la Figura 116 se muestra el centro de masa obtenido utilizando el software de simulación.

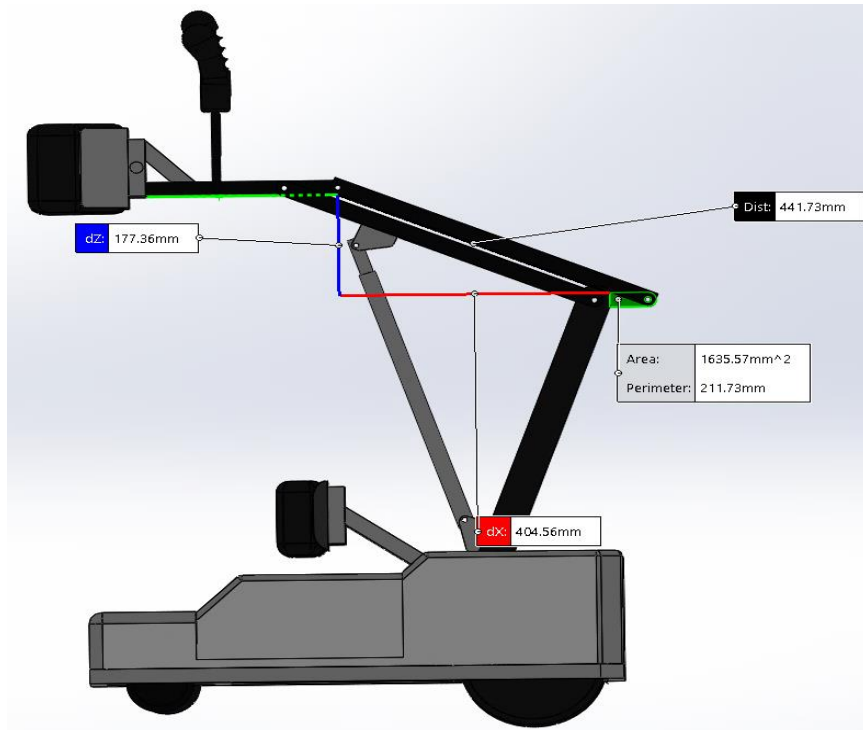


Figura 115. Ángulo de inclinación simulado

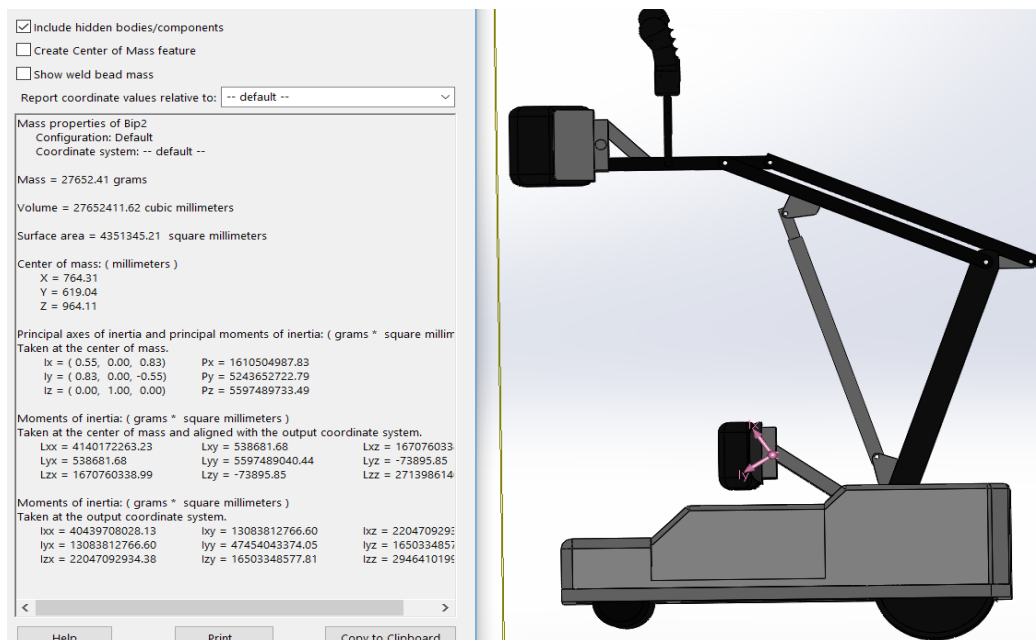


Figura 116. Obtenciones coordenadas del centro de masa



### 4.3.1 Resultados pruebas de ejercitación muscular inferior

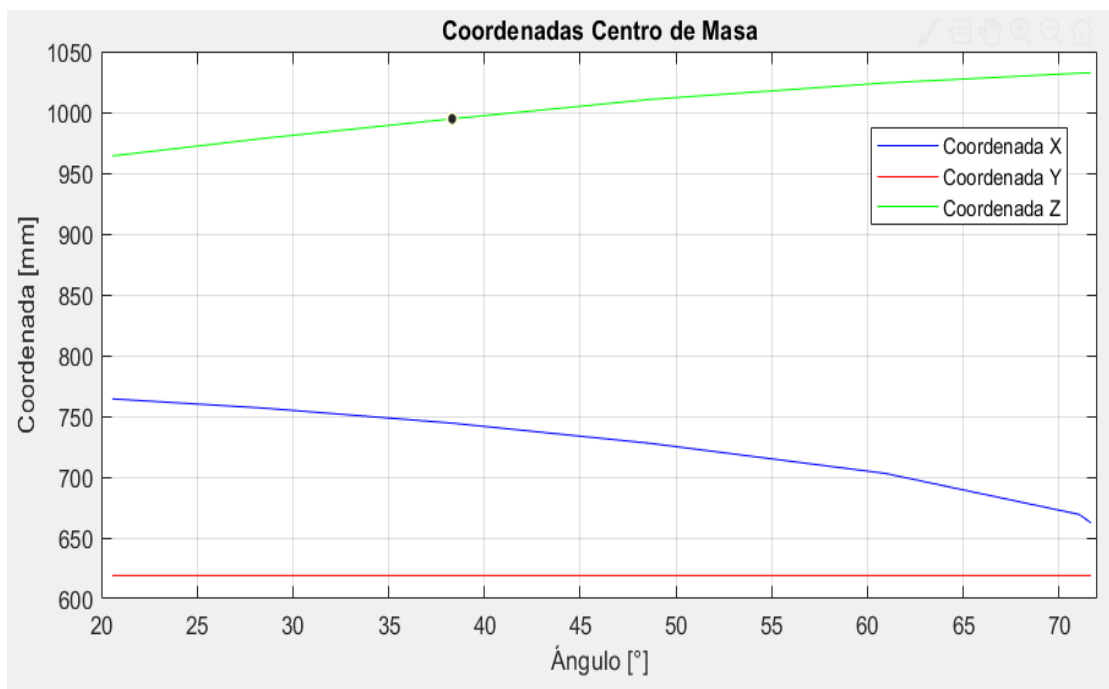
Los datos de las coordenadas del centro de masa se muestran en la Tabla 44.

**Tabla 44.**

*Resultados prueba de ejercitación muscular inferior*

<b>dz [mm]</b>	<b>h [mm]</b>	<b>[°]</b>	<b>X [mm]</b>	<b>Y [mm]</b>	<b>Z [mm]</b>
479.01	504.6	71.67	662.42	619.03	1032.44
477.28	504.6	71.05	669.3	619.03	1032.15
441.01	504.6	60.92	703.05	619.03	1024.16
379.059	504.6	48.69	727.69	619.03	1010.65
312.89	504.6	38.32	744.36	619.05	994.67
240.98	504.6	28.52	756.68	619.03	978.64
177.36	504.6	20.57	764.31	619.04	964.11

Al analizar la Figura 117 se encontró que existe una considerable variación en la coordenada del eje Z del centro de masa, siendo la coordenada más importante para determinar la estabilidad de la máquina. Cuanto más bajo se localice el centro de masa la estructura será más estable y deberá caer dentro de la estructura.



**Figura 117.** Coordenadas Centro de Masa

Al analizar la Figura 117 se encontró que existe una considerable variación en la coordenada del eje Z del centro de masa, siendo la coordenada más importante para determinar la estabilidad de la máquina. El centro de masa óptimo se encuentra en  $38^\circ$ , a partir de este valor va en incremento hasta llegar al ángulo máximo que es de  $80.90^\circ$ , fuera de este rango el centro de masa cambiaría perdería su estabilidad y eficiencia, en cambio en la coordenada Y se mantiene constante durante todo el periodo de ejercitación y en la coordenada X existe un declive a partir de los  $38^\circ$ .

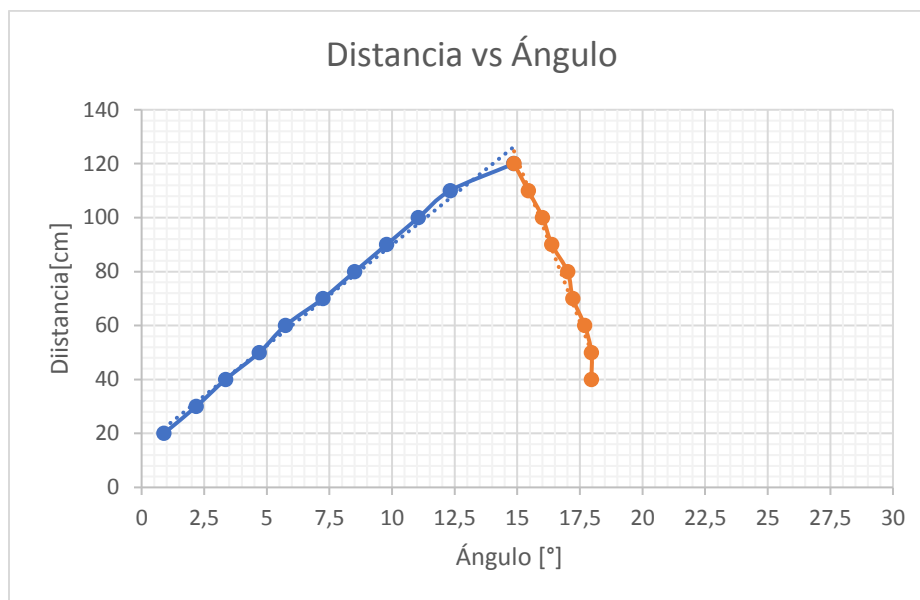
### 4.3.2 Resultados pruebas de ejercitación muscular inferior en la rampa normalizada.

Los datos de las coordenadas para la ejercitación muscular inferior en una rampa normalizada se encuentra en la Tabla 45.

#### **Tabla 45.**

*Resultados prueba de ejercitación muscular inferior en la rampa normalizada*

Ejercitación muscular rampa normalizada			
Avance subida [cm ]	Ángulo calculado [°]	Avance bajada [cm]	Ángulo calculado [°]
20	0.89	120	14.87
30	2.18	110	15.44
40	3.35	100	16.01
50	4.7	90	16.38
60	5.74	80	17.01
70	7.24	70	17.22
80	8.51	60	17.69
90	9.78	50	17.96
100	11.05	40	17.96
110	12.32	30	17.96
120	14.86		



**Figura 118.** Ejercitación muscular rampa normalizada

La gráfica muestra los datos obtenidos de la estación bipedestadora al momento de ascender por una rampa, inicia con los valores óptimos de torque 5.27 Nm y eficiencia 91.61%; la rampa es de 140cm con un ángulo de inclinación de 20°, el ascenso inicia a partir de los 20cm de distancia con un ángulo de inclinación de 0.89°, su ascenso es constante hasta un ángulo de 5.74°, en este tramo el bipedestador aumenta su torque en un 5% para seguir avanzado hasta llegar al tramo comprendido entre 12.8° y 15°, en este tramo tiende a un decaimiento en potencia y torque, sobre todo pierde su estabilidad ya que pierde su centro de masa, es por esto que el equipo se diseñó para rampas normalizadas que tienen un ángulo de inclinación de 10°.

#### 4.4 Pruebas de elevación vertical

En la Tabla 46 se detalla el procedimiento que se realizó para llevar a cabo las pruebas de elevación vertical a través de la medición de las partes más importantes de la estación bipedestal y así definir qué personas pueden utilizar la máquina.

**Tabla 46.**

*Protocolo de pruebas de elevación vertical*

<b>PRUEBA</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA</b>	Elevación vertical
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	Prueba de elevación vertical
<b>COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA</b>	Bipedestador
<b>LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN</b>	Latacunga 08 de octubre de 2018
<b>RESPONSABLES</b>	Andrés Pérez Edison Llano
<b>OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA</b>	Realizar el análisis de las dimensiones de la estación bipedestal.
<b>DURACIÓN ESTIMADA</b>	1 hora aproximadamente
<b>PARTICIPANTES</b>	
Gabriel Moreno	Fisioterapeuta

---

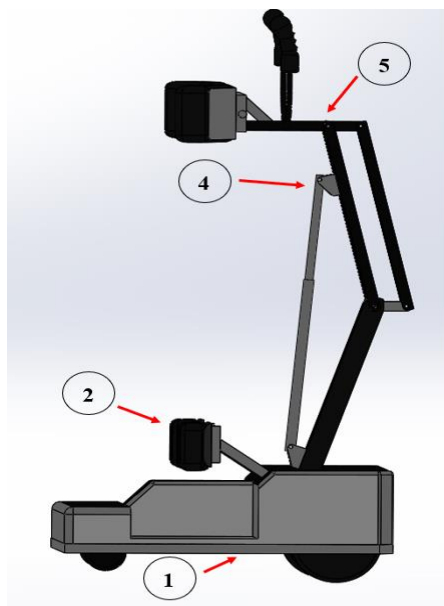
	Mayra Paredes	Fisioterapeuta
<b>NOMBRE</b>	Irving Tejada	Sujeto de prueba
	Alex Coque	Sujeto de prueba

---

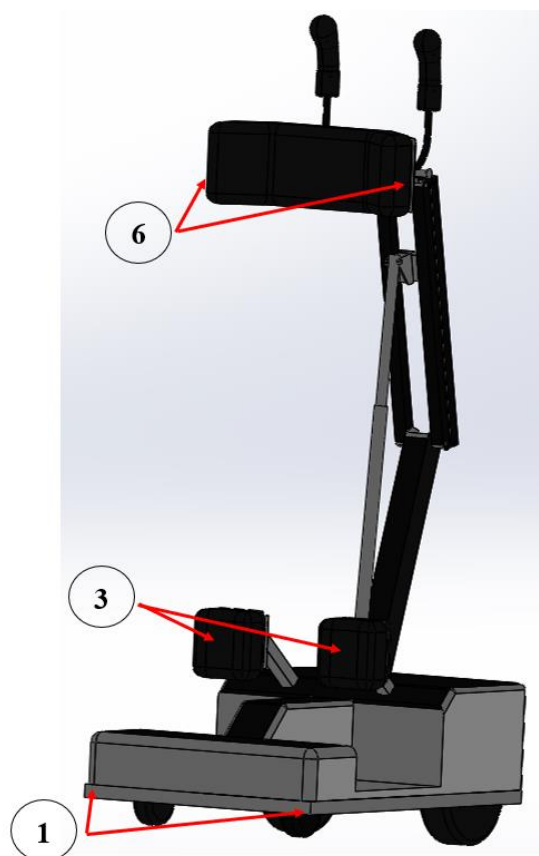
### DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA

1. Determinar los elementos a medir
  2. Medir
  3. Registrar los datos obtenidos.
  4. Analizar los datos obtenidos
- 

En la prueba de elevación vertical se detallan las dimensiones máximas que tienen las partes de la máquina al fin de estandarizar el rango de personas que pueden utilizarla. En la Figura 119 y Figura 120 se muestra el número de partes consideradas.



*Figura 119.* Dimensiones bipedestador



*Figura 120.* Dimensiones bipedestador

**Tabla 47.**

*Resultado pruebas de elevación vertical*

Dimensiones		
N°	Detalle	Dimensión
1	Base	500 x 765
2	Altura rodillas	183.05
3	Anchura rodillas	403.8
4	Actuador	741.23
5	Altura	1095.53
6	Ancho	360.27

Como se observa el rango de personas que pueden utilizar la máquina es de una altura mínima de 1.095 m que sería un valor igual a la altura de la máquina; este dato se compara con la altura promedio de los ecuatorianos que en los hombres es de 1.67 cm y en mujeres de 1.54 cm.

**Tabla 48.**

*Resultado pruebas de alcance máximo*

Dimensiones		
N°	Estatura(m)	Alcance Max
1	1.71	2.28
2	1.68	2.24
3	1.64	2.13
4	1.60	2.06
5	1.57	2.02
6	1.50	1.84

Las pruebas realizadas son para obtener el alcance máximo de una persona sobre el bipedestador cuando esta se encuentra verticalmente, los resultados obtenidos, a partir de la altura promedio del percentil ecuatoriano tenemos un valor de alcance máximo de 2.095m.

**4.5 Pruebas de sujeción de la persona**

A continuación, se detalla en la Tabla 49 el protocolo de pruebas desarrollado en la realización de las pruebas de sujeción de la persona.



**Tabla 49.***Protocolo de pruebas de sujeción de la persona*

<b>PRUEBA</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA</b>	Sujeción de la persona
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	Prueba de sujeción de la persona
<b>COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA</b>	Correas de sujeción
<b>LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN</b>	Latacunga 08 de octubre de 2018
<b>RESPONSABLES</b>	Andrés Pérez Edison Llano
<b>OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA</b>	Realizar el análisis del sistema de sujeción de la persona a través de la verificación del porcentaje de tolerancia para casos de aumento o disminución de peso con relación al diseñado originalmente.
<b>DURACIÓN ESTIMADA</b>	1 hora aproximadamente
<b>PARTICIPANTES</b>	
	Gabriel Moreno Fisioterapista
	Mayra Paredes Fisioterapeuta
<b>NOMBRE</b>	Irving Tejada Sujeto de prueba
	Alex Coque Sujeto de prueba

---

**DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA**


---

1. Considerar el elemento a ser analizado en este caso las correas.
  2. Verificar el funcionamiento del sistema de sujeción a través de la realización de una encuesta a diferentes pacientes que calificarán el funcionamiento, comodidad y seguridad de la máquina.
  3. Registrar los datos obtenidos.
- 

Para las pruebas de sujeción de la persona se realizó una encuesta a 5 personas en el Centro de Rehabilitación Gabos Fisioterapeuta que se evaluaron parámetros como: Funcionalidad, Ergonomía, y Seguridad, para lo cual se utiliza el sistema de calificación mostrado en la Tabla 50.

#### *4.5.1 Sistema de calificación de las pruebas de sujeción de la persona*

##### **Tabla 50.**

##### *Sistema de calificación pruebas de sujeción de la persona*

VALORIZACIÓN	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
DE CRITERIOS	1-3	4-7	8-10
Funcionalidad	Malo	Bueno	Excelente
Ergonomía	Poco	Medio	Alto
Seguridad	Malo	Dudoso	Bueno

#### *4.5.1 Resultados pruebas de sujeción de la persona*

En la Tabla 51 se muestra el sistema de calificación utilizado en las pruebas de la sujeción de la persona.

**Tabla 51.***Sistema de calificación pruebas de sujeción de la persona*

Sujeción de la persona							
Encuestado		1	2	3	4	5	Real
No	Criterio	Calificación	Calificación	Calificación	Calificación	Califica	
.						ción	
1	Funcionalidad	10	10	9	9	8	50
2	Ergonomía	9	8	10	9	8	50
3	Seguridad	7	7	8	7	7	50
	Sumatorio	46	42	35			
	Índice porcentual	46/50	44/50	36/50			
	Porcentaje	82%	84%	70%			

Los resultados muestran que existe una aceptación de entre el 60% y el 84% de los parámetros de funcionalidad establecidos, permitiendo concluir que el sistema de sujeción implementado brinda seguridad al usuario que utilice el bipedestador y es ergonómico.

Al analizar el factor de seguridad se obtuvieron estas calificaciones, ya que al momento de realizar las pruebas de desplazamiento autosuficiente y como es una máquina nueva dentro del mercado existió temor del paciente en el aspecto de seguridad al momento de utilizar, una vez finalizado las pruebas con el paciente en el factor de funcionalidad, mostro satisfacción ya que el equipo le proporciono estabilidad y autonomía.

## 4.6 Pruebas de arranque suave

**Tabla 52.**

*Protocolo de pruebas de arranque suave*

<b>PRUEBA</b>	
<b>IDENTIFICACIÓN DE LA PRUEBA</b>	Arranque suave
<b>TIPO DE PRUEBA</b>	Prueba de arranque suave
<b>COMPONENTE SOMETIDO A PRUEBA</b>	Bipedestador
<b>LUGAR Y FECHA DE ELABORACIÓN</b>	Latacunga 08 de octubre de 2018
<b>RESPONSABLES</b>	Andrés Pérez Edison Llano
<b>OBJETIVO GENERAL DE LA PRUEBA</b>	Iniciar el arranque suave de la máquina calificando criterios como: construcción, operación, tamaño, mantenimiento y confiabilidad a través de la implementación de una encuesta compararlos con los de una silla de ruedas.
<b>DURACIÓN ESTIMADA</b>	1 hora aproximadamente
<b>PARTICIPANTES</b>	
Gabriel Moreno	Fisioterapeuta
Mayra Paredes	Fisioterapeuta
<b>NOMBRE</b>	Irving Tejada Sujeto de prueba

---

**DESCRIPCIÓN DE LA PRUEBA**


---

1. Considerar el elemento a ser analizado. En este caso el bipedestador y silla de ruedas.
  2. Obtener datos de tamaño, construcción, operación, mantenimiento y confiabilidad.
  3. Registrar los datos obtenidos.
- 

Para las pruebas de arranque suave se realizó una encuesta a 5 personas en el que se evaluaron parámetros como: Construcción, Operación, Tamaño, Mantenimiento y Confiabilidad, para lo cual se utiliza el sistema de calificación mostrado en la Tabla 53.

#### 4.6.1 Sistema de calificación pruebas de arranque suave

### Tabla 53.

#### *Sistema de calificación prueba arranque suave*

VALORIZACIÓN DE CRITERIOS	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
	1-3	4-7	8-10
Construcción	Costosa	Normal	Económica
Operación	Difícil	Normal	Fácil
Tamaño	Grande	Normal	Pequeño
Mantenimiento	Difícil	Normal	Fácil
Confiabilidad	Malo	Dudoso	Bueno

---

#### 4.6.2 Resultados de las pruebas de arranque suave

En la Tabla 54 se muestra el sistema de calificación utilizado en las pruebas de arranque suave. En esta prueba se evalúa a todo el sistema mecatrónico, el mismo que fue probado por varias personas para verificar si se cumplió con los objetivos planteados inicialmente y se compara con el funcionamiento de una silla de ruedas.

**Tabla 54.**

*Resultados prueba de arranque suave*

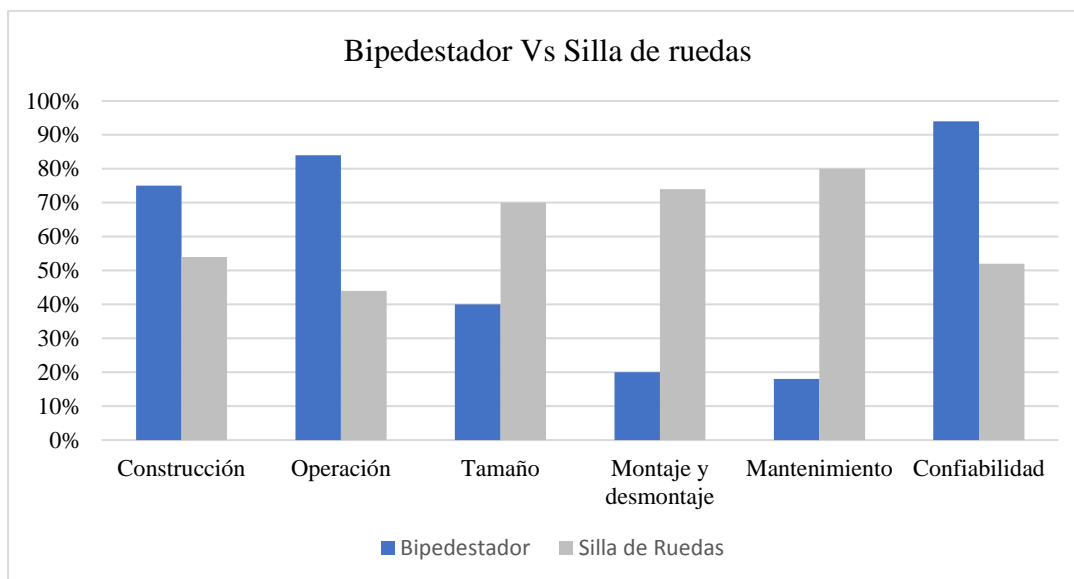
Arranque suave														
	Encuestado	Calificación										Real	Sumatorio	
No.	Criterio	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
1	Construcción	8	5	8	6	9	6	8	5	8	5	50	41	27
2	Operación	6	4	8	5	10	5	10	4	8	4	50	42	22
3	Tamaño	7	3	7	4	7	5	7	4	7	4	50	35	20
4	Montaje y desmontaje	8	7	7	6	7	7	9	8	10	9	50	41	37
5	Mantenimiento	2	1	5	2	3	2	5	2	2	2	50	17	9
6	Confiabilidad	9	5	8	6	10	5	10	5	10	5	50	47	26

A partir del cálculo del índice porcentual se comprueba que se tiene porcentajes mayores de evaluación de funcionamiento del bipedestador en relación a la silla de ruedas ya que a criterio del paciente la construcción, operación, tamaño son mejores como se muestra en la Tabla 55.

**Tabla 55.***Índice porcentual*

<b>Índice Porcentual</b>			
<b>No.</b>	<b>Criterio</b>	<b>Bipedestador</b>	<b>Silla de Ruedas</b>
1	Construcción	75%	54%
2	Operación	84%	44%
3	Tamaño	40%	70%
4	Montaje y desmontaje	20%	74%
5	Mantenimiento	18%	80%
6	Confiabilidad	94%	52%

Con respecto a los datos obtenidos referentes solo al bipedestador se tiene un porcentaje de aceptación del 34% considerando que el mantenimiento de la plataforma sería algo dificultoso, sin embargo en los demás parámetros se tiene un porcentaje de aceptación mínimo del 70% y máximo del 94% (ver Figura 121), permitiendo concluir que la plataforma cumple con las necesidades del usuario.



*Figura 121.* Comparación Bipedestador-Silla de ruedas

#### 4.7 Validación hipótesis

Mediante la construcción de una estación de bipedestación con elevación vertical se facilitará el desplazamiento de la persona discapacitada alcanzando objetos a la altura promedio de una persona de pie.

**Variables Independientes:** Desplazamiento de personas con discapacidad motriz en sus extremidades inferiores.

**Variables Dependientes:** Estación de bipedestación con elevación vertical.

Para comprobar la hipótesis nula se utiliza el análisis de medias de la chi cuadrado considerando las siguientes hipótesis.

**Hipótesis Nula (H0):** La estación de bipedestación con elevación vertical facilitará el desplazamiento de la persona discapacitada alcanzando objetos a la altura promedio de una persona de pie.



**Hipótesis No Nula (H1):** La estación de bipedestación con elevación vertical no facilitará el desplazamiento de la persona discapacitada alcanzando objetos a la altura promedio de una persona de pie.

Para el análisis de los datos obtenidos se considera el sistema de calificación de la Tabla 56.

**Tabla 56.**

*Sistema de calificación validación hipótesis*

VALORIZACIÓN	EQUIVALENCIA DE INDICADORES		
DE CRITERIOS	1-3	4-7	8-10
Operación	Difícil	Normal	Fácil
Ergonomía	Malo	Dudoso	Bueno

El conjunto de datos obtenidos se muestra en la Tabla 57.

**Tabla 57.***Sistema de calificación validación hipótesis*

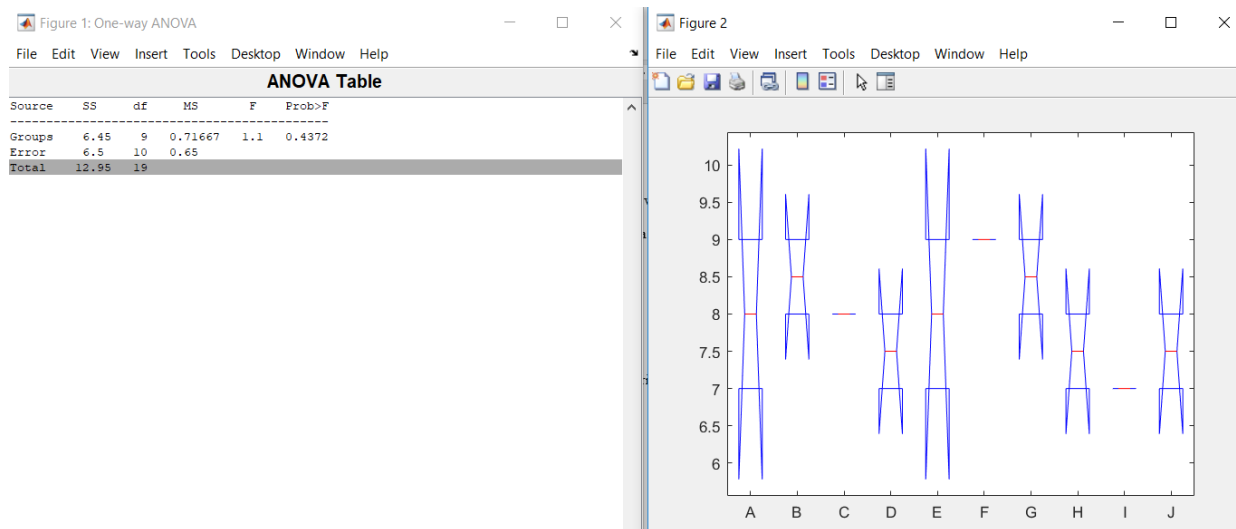
Experimento	Operación	Ergonomía
A	7	9
B	8	9
C	8	8
D	7	8
E	9	7
F	9	9
G	9	8
H	8	7
I	7	7
J	8	7

Se hizo un análisis a través del test de chi cuadrado como se muestra en la Figura 122 obteniendo un valor de  $h=0$ , en este caso se acepta la Hipótesis Nula. Para validar el resultado se realiza el análisis de medias de los datos como se muestra en la Figura 123.

```
v =
Columns 1 through 8
    7     9     8     9     8     8     7     8
Columns 9 through 16
    9     7     9     9     9     8     8     7
Columns 17 through 20
    7     7     8     7
>> [h1,p1] = chi2gof(v,'alpha',0.05)
h1 =
    0
```

**Figura 122.** Validación hipótesis test Chi cuadrado

En el análisis de medias se considera un porcentaje de confiabilidad del 95%, obteniendo un valor de p de 0.4372 menor a 0.5 por lo que se acepta la hipótesis nula. (García & Martínez, 2014)



**Figura 123.** Validación hipótesis análisis medias

#### 4.8 Análisis económico

Se realiza un análisis económico del proyecto en el que se considera los costos de materia prima (ver Tabla 58), costos de herramientas y materiales (ver Tabla 60), costos de mano de obra (ver Tabla 59), y los costos de equipos (ver Tabla 61).

##### **Tabla 58.**

*Costos Materia Prima*

<b>COSTOS MATERIA PRIMA</b>				
<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>	
<b>Materiales mecánicos</b>				
	Perfiles	1	\$ 80.00	\$ 80.00
	Tubos 1/2	3	\$ 22.00	\$ 66.00
	Tubos 3/4	3	\$ 18.00	\$ 54.00
<b>Base fija</b>	Eje 1/2	1	\$ 20.10	\$ 20.10
	Bujes de bronce	2	\$ 60.00	\$ 120.00
	Pernos y tuercas de 8	3	\$ 10.00	\$ 30.00
	Pernos y tuercas de 5	4	\$ 15.00	\$ 60.00
	Tapizado pecho	1	\$ 27.85	\$ 27.85
	Tapizado rodilla	2	\$ 18.00	\$ 36.00
	Tabla 5mm	1	\$ 35.00	\$ 35.00
	Tapizado base	1	\$ 60.00	\$ 60.00
	Proteccion motores	2	\$ 30.00	\$ 60.00
	Mando	1	\$ 40.00	\$ 40.00
<b>Base movil</b>	Arnes	1	\$ 25.00	\$ 25.00
	Motor	2	\$ 85.50	\$ 171.00
	Actuador	1	\$ 116.70	\$ 116.70
	Llantas	2	\$ 9.95	\$ 19.90
	Fibra de vidrio	1	\$ 300.00	\$ 300.00
	Acoples llantas	2	\$ 60.00	\$ 120.00
	Mando de control	2	\$ 70.00	\$ 140.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 1,581.55</b>

**Tabla 59.***Costos Mano de Obra*

<b>COSTOS MANO DE OBRA</b>				
<b>Item</b>	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>
Corte perfiles	Corte	1	\$ 80.00	\$ 80.00
Soldadura estructura	Soldadura	1	\$ 280.00	\$ 280.00
Doblado de tubos	Doblado	1	\$ 20.00	\$ 20.00
Proceso de pintura	Pintura	1	\$ 120.00	\$ 120.00
Proceso acabado	Acabados	1	\$ 100.00	\$ 100.00
Diseño e Ingeniería	Diseño sistema mecatrónico	30	\$ 25.00	\$ 750.00
Planos Mecánicos	Planos de las partes	15	\$ 25.00	\$ 375.00
Diagramas eléctricos	Diagramas eléctricos	8	\$ 25.00	\$ 200.00
Programación	Desarrollo algoritmos	40	\$ 25.00	\$ 1,000.00
<b>TOTAL</b>				<b>\$ 2,565.00</b>

**Tabla 60.***Costos Herramientas y Materiales*

<b>COSTO HERRAMIENTAS Y MATERIALES</b>				
				<b>Precio</b>
	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Total</b>
	<b>Materiales electrónicos</b>			
	Calibrador	2	\$ 20.00	\$ 40.00
	Destornilladores	3	\$ 13.00	\$ 39.00
<b>Accesorios electrónicos</b>	Lijas	1	\$ 15.00	\$ 15.00
	Pintura base	1	\$ 30.00	\$ 30.00
	Estaño	2	\$ 3.25	\$ 6.50
	Cautin	1	\$ 4.50	\$ 4.50
	Electrodos	1	\$ 10.00	\$ 10.00
	Disco de corte	1	\$ 8.00	\$ 8.00
	Hojas de sierra	1	\$ 10.00	\$ 10.00
<b>Herramientas</b>	Disco para pulir	4	\$ 0.80	\$ 3.20
	Pintura automotriz	1	\$ 60.00	\$ 60.00
	Thinner	2	\$ 5.80	\$ 11.60
	Masilla	1	\$ 2.50	\$ 2.50
			<b>TOTAL</b>	<b>\$ 240.30</b>

**Tabla 61.***Costos Equipos*

<b>COSTO EQUIPOS</b>					
	<b>Descripción</b>	<b>Cantidad</b>	<b>Precio Unitario</b>	<b>Precio Total</b>	
Impresora 3D	Horas de impresion	4	\$ 3.50	\$	14.00
Dobladora de tubos	Horas de doblado	2	\$ 5.00	\$	10.00
Cortadora Láser	Horas de corte	1	\$ 3.50	\$	3.50
Computador	Computador	30	\$ 2.20	\$	66.00
				<b>TOTAL</b>	<b>\$ 93.50</b>

En la Tabla 62 se tiene el costo total del proyecto.

**Tabla 62.***Costos Total*

<b>COSTO TOTAL</b>		
<b>Detalle</b>		<b>Costo</b>
Costo Materia Prima	\$	1,581.55
Costos Materiales y Herramientas	\$	240.30
Costo Equipos	\$	93.50
Costo Mano de obra	\$	2,565.00
<b>TOTAL</b>	<b>\$</b>	<b>4,480.35</b>

## CAPÍTULO V

### CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

#### 5.1 Conclusiones

- Se diseñó e implementó un prototipo de estación de bipedestación cuyas dimensiones se basaron en las medidas antropométricas de la población ecuatoriana de tal manera que los adultos mayores que hicieron uso de la plataforma sintieron comodidad en su uso, además de presentar las seguridades necesarias que brindaron confianza al paciente.
- Para la implementación de la estación bipedestal se utilizaron materiales de bajo costo y peso lo que permitió transportar al paciente sin presentar dificultades, el peso aproximado de la estructura es de  $y$  fue diseñado para soportar un peso máximo de la persona de 100 kg.
- Se realizó el análisis de elementos finitos a través de la utilización de un software CAD generando un mallado fino en cada elemento, obteniendo un valor máximo de esfuerzo de 2.265 MPa, deformación de  $9 \mu m$  y un factor de seguridad de 1.82, con estos parámetros se puede asegurar a través de simulación, que la plataforma soportará la carga para la cual fue diseñada.
- Se implementaron protocolos de pruebas en el sistema de elevación y el movimiento traslacional de la plataforma bipedestal, en el caso del sistema de elevación se realizó un correcto posicionamiento a través del uso de un actuador lineal ya que se obtuvieron errores máximos del 4.32 % en la comparación de los ángulos de elevación. En el sistema traslacional se probó la movilidad y estabilidad de la plataforma analizando la velocidad de



los motores con carga y sin carga obteniendo un error máximo del 4% verificando que los valores obtenidos se encuentran dentro del rango normal de funcionamiento.

- Los resultados obtenidos para obtener un rendimiento óptimo del bipedestador comprenden de un torque de 5.27 [Nm] y eficiencia 91.61%.
- La autonomía de la estación bipedestal depende mucho del consumo de voltaje y amperaje; obteniendo un consumo máximo de 24.01[V], 3.0905 [A], 74.21[W], por un periodo de 4 horas de utilizar la estación, y un periodo de 2 horas de carga de baterías.

## 5.2 Recomendaciones

Concluido este proyecto de grado, se recomienda investigar y mejorar el sistema de desplazamiento, elevación vertical y se propone:

- Extender la investigación expuestos en esta tesis del estudio de bipedestación con respecto a la elevación vertical partiendo desde el diseño y modelo CAD.
- Trabajar en mejorar la estructura de la parte mecánica para obtener un mejor resultado en el centro de masa cuando se está desplazando horizontalmente y a la vez en las rampas normalizadas, pues la idea es optimizar la estabilidad para el usuario.
- Para mejorar el rendimiento de la estación bipedestadora, se recomienda realizar un estudio más profundo de los motores con el fin de alcanzar mayor autonomía en el funcionamiento de dicha máquina.
- En el factor de seguridad para el usuario cambiar las correas de protección son muy incómodas para el usuario causando un poco de malestar al momento de utilizarlas y a su vez provocando alguna lesión leve en el cuerpo.

## 6. BIBLIOGRAFÍA

*Andadores Infantiles*. (16 de Junio de 2017). Obtenido de <https://www.andadorinfantil.com/>

*Antropometria* . (11 de Enero de 2018). Obtenido de <https://docplayer.es/63202708-Antropometrica-un-libro-de-referencia-sobre-mediciones-corporales-humanas-para-la-educacion-en-deportes-y-salud.html>

Basil. (1997). Minusvalía Motoras . En Basil. Ríos.

Budynas, R., & Keith, N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGrawHill.

Budynas, R., & Keith, N. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México: McGrawHill.

Campaña Olmos, M. d. (15 de Seotiembre de 2017). *Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomática reajutable para personas con paraplejia*. Recuperado el 15 de octubre de 2018, de Investigación para el diseño y construcción de un bipedestador semiautomática reajutable para personas con paraplejia.: <http://repositorio.espe.edu.ec/handle/21000/13501>

Compañía General de Aceros S.A. (s.f.). Recuperado el 02 de Febrero de 2018, de <http://repository.unilibre.edu.co/bitstream/handle/10901/7826/VasquezTorresEdwinLibardo2013Anexos.pdf?sequence=2>

Cruzado, G. M. (Enero de 2007). *Las diferentes minusvalías y sus características*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2018, de Las diferentes minusvalías y sus características: <http://www.efdeportes.com/>

Dra.Zgaga, M. (2011). Distrofia muscular de Duchene, Sillas de Ruedas . *Revista Seguir Andando* , 31-32.

*El Tiempo*. (18 de Octubre de 2017). Obtenido de <https://www.eltiempo.com.ec/noticias/ecuador/4/ecuador-esta-en-el-tercer-puesto-de-los-paises-con-menor-estatura-en-sudamerica>

Escobar, C. (Noviembre de 2004). *Escuela Nacional de Deporte*. Cali. Obtenido de <http://www.efisioterapia.net/articulos/analisis-comparativo-la-cinematica-hombre-y-la-mujer>

- Espina Bifida*. (15 de Diciembre de 2017). Obtenido de <http://www.espinabifida.org/parapodium-o-bipedestador/>)
- Galeon*. (22 de Enero de 2018). Obtenido de <http://anatomica10.galeon.com/productos1854648.html>
- García, A., & Martínez, B. (2014). *Inferencia estadística (intervalos de confianza y p-valor). Comparación de dos poblaciones (test t de comparación de medias, comparación de dos proporciones, comparación de dos varianzas)*. Valencia: Universidad Cardenal Herrera.
- Gautibonza, M. (s.f.). *Domoticsmuebles*. Recuperado el 26 de 12 de 2017, de <http://mueblesdomoticos.blogspot.com/2010/11/medidas-para-disenar-muebles-personas.html>
- GeriatríaSCI. (2018 de Enero de 24). Obtenido de <https://www.sci-geriatria.com/catalogo/sillas-ruedas/plegables/aluminio/bipedestacion-electrica/>)
- Instituto Educativa Dulce Nombre de Jesús*. (22 de Enero de 2017). Obtenido de <http://realpict.pw/Ejes-de-movimiento-del-pie-Pie-t-Movimientos.html>
- ISAK. (2001). *International Standards fir An*. Unerdale:: ISAK.
- jesucristo, I. d. (01 de Septiembre de 2018). *Discapacidades físicas*. Recuperado el 12 de Noviembre de 2018, de Discapacidades físicas: <https://www.lds.org/topics/disability/list/physical-disability?lang=spa&old=true>
- KINGRIGHT*. (s.f.). Recuperado el 22 de Diciembre de 2017, de [https://www.kingright.com.tw/comm/upfile/p\\_160324\\_06929.pdf](https://www.kingright.com.tw/comm/upfile/p_160324_06929.pdf)
- López Celi, J. A. (Diciembre de 2013). *Diseño de un prototipo de silla de ruedas eléctrica, con sistema de ascenso y elevación*. Recuperado el 5 de Diciembre de 2018, de Diseño de un prototipo de silla de ruedas eléctrica, con sistema de ascenso y elevación: <http://dspace.ups.edu.ec/handle/123456789/6420>
- Loureiro Pereira, J. (Octubre de 2011). *Impacto Psicosocial de la silla de ruedas en la vida de las personas afectadas por una enfermedad neuromuscular*. Recuperado el 17 de Octubre de 2018, de Impacto Psicosocial de la silla de ruedas en la vida de las personas afectadas por una enfermedad neuromuscular: [https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/18223/PousadaGarcia\\_Thais\\_TD\\_2011.pdf?sequence=2](https://ruc.udc.es/dspace/bitstream/handle/2183/18223/PousadaGarcia_Thais_TD_2011.pdf?sequence=2)
- MacDougall, J.D., Wenger, & H.A. (1991). *Physiological Testing of the elite*. Illinois: Human Kinetics Publishers.

- Marck, B. (1995). *Deporte y Rehabilitación*. Oxford: Oxford.
- MDSolid*. (s.f.). Recuperado el 01 de Diciembre de 2018, de MDSolid
- Norton, K., & Olds, T. (1996). *Antropométrica*. España: Biosystem.
- Ortopediasilvio*. (22 de Diciembre de 2017). Obtenido de <https://www.ortopediasilvio.com/en/furniture/6531-anti-stander-2-to-8-years.html>
- Phoenix Technology*. (18 de Enero de 2018). Obtenido de [https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-550836570-banco-antropometrico-envio-gratis-\\_JM?quantity=1](https://articulo.mercadolibre.com.mx/MLM-550836570-banco-antropometrico-envio-gratis-_JM?quantity=1)
- Quintana, M. (12 de Enero de 2017). *Universidad Politécnica de Madrid*. Obtenido de <http://ocw.upm.es/educacion-fisica-y-deportiva/kinantropometria/contenidos/temas/Tema-2.pdf>
- Rehabilitación e Intervención Especializada*. (10 de Enero de 2018). Obtenido de <https://www.riehabilitacion.com.mx/paralisis-cerebral/monoplejia-fisioterapia-rie-mexico/>
- Struzzo. (22 de Enero de 2018). Obtenido de <http://www.adaptado.es/bipedestador-struzzo-plus-se-actualiza/>
- TAQ Sistemas Médicos*. (22 de Enero de 2018). Obtenido de <http://taq.com.mx/antropometros/>
- Tipos de Discapacidad*. (2 de Diciembre de 2018). Obtenido de <https://123tic.wordpress.com/2015/05/07/tipos-de-discapacidad-2/>
- Tramontina*. (23 de Febrero de 2018). Obtenido de <https://www.tramontina.com.br/es/p/43154051-316-cinta-metrica-en-fibra-de-vidrio-50-m>
- Universidad de Buenos Aires Facultad de Medicina. (2015). *SaludInnova*. 2-25.

# ANEXOS



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA

### CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

#### CERTIFICACIÓN

Se certifica que presente trabajo fue realizado por los estudiantes; **Sr. Andrés Pérez y el Sr. Edison Llano**. En la ciudad de Latacunga a los diez días del mes de enero del año dos mil diecinueve.

Aprobado por:

Latacunga, 10 de enero del 2019

  
Ing. Héctor Cochise Terán Herrera  
Director del proyecto

  
Ing. Vicente David Halló Carrasco,  
Director de Carrera

  
Dr. Rodrigo Vaca Corrales  
Secretario Académico

