



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

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

AUTORES: - ANDRÉS GUSTAVO PÉREZ JORDÁN
- EDISON JAVIER LLANO MONTESDEOCA

DIRECTOR: ING. HECTÓR TERÁN

ENERO, 2019





GENERALIDADES

Objetivo general

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



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.



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.
- 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



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





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.
- Presenta una ergonomía que sea comfortable para desarrollar sus actividades dentro de su vida cotidiana.



Epidemiología

- Todas las enfermedades neuromusculares están clasificadas como dolencias raras, lastimando a una pequeña parte de la localidad-
- Por lo tanto el ánimo de investigación y desarrollo son minúsculos comparados con otras anomalías, sin embargo se han puesto en tendencia ayudando a realizar estudios epidemiológicos para obtener una idea de las diferentes patologías a nivel nacional



Etiología

- Las distintas causas de las enfermedades son abundantes originalmente causados por origen genético y principio adquirido.

Pueden 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).





Minusvalidad de las extremidades inferiores

- Estas enfermedades pueden ser originadas en dos campos motoras y fisiológicas.

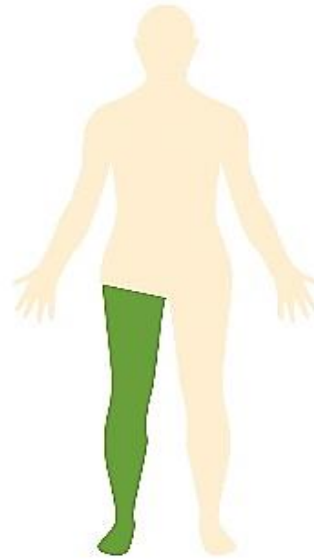
Minusvalías motoras

“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.”



Monoplejía

- Enfermedad que solo afecta a una sola extremidad



Monoplejía

Diaplejía

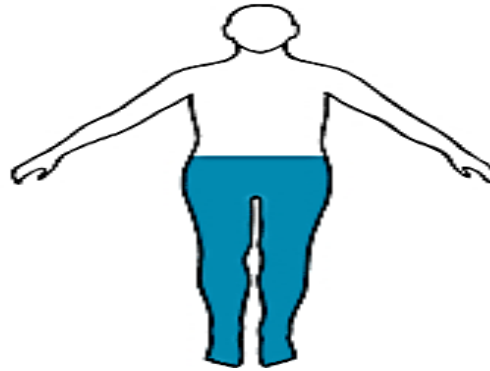
- Cuando a la persona la enfermedad afecta las dos extremidades.



Diaplejía

Paraplejía

- La enfermedad afecta a la persona en sus dos extremidades inferiores.



Paraplejía



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.



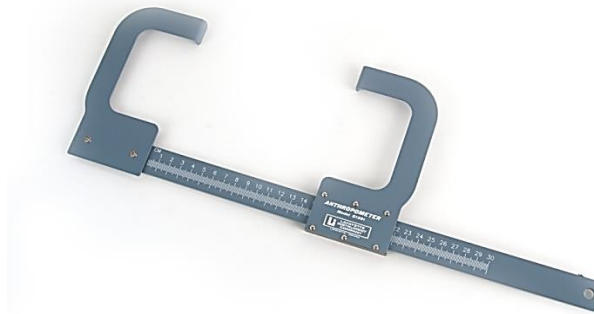


Antropometría de las extremidades inferiores

- Las mediciones antropomórficas deben ser:
 - Exactas
 - Precisas
 - Forma simétrica

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 milímetro.
- El rango va de pocos centímetros hasta 2 metros. Por lo tanto, puede calcular desde diámetros a longitudes y alturas.



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.



Cinta antropométrica

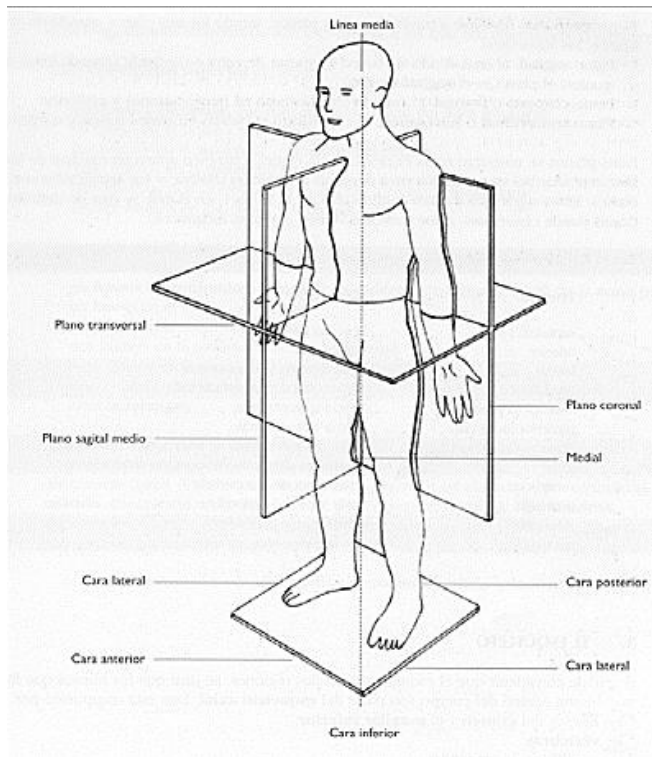


Localización de los puntos antropométricos básicos

- 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.



Según esta posición básica se definen tres planos y tres ejes de los puntos antropométricos



- 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”.



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.





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



Bipedestador estático

- Se consiguen en el mercado, por lo general las extremidades inferiores están sujetas con firmeza con cintas acolchadas.
- El bipedestador puede estar arriba de una apoyo con ruedas, lo que permite que el niño se translade a distancias cortas. De preferencia son necesarias las prótesis para mejorar la alineación del tobillo y del pie.



- 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.





Medidas de seguridad

Posturas de la estación bipedestal

- 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.





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.





Normas de uso

- 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.





Normas de uso

- 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.





DISEÑO MECATRÓNICO

Necesidad

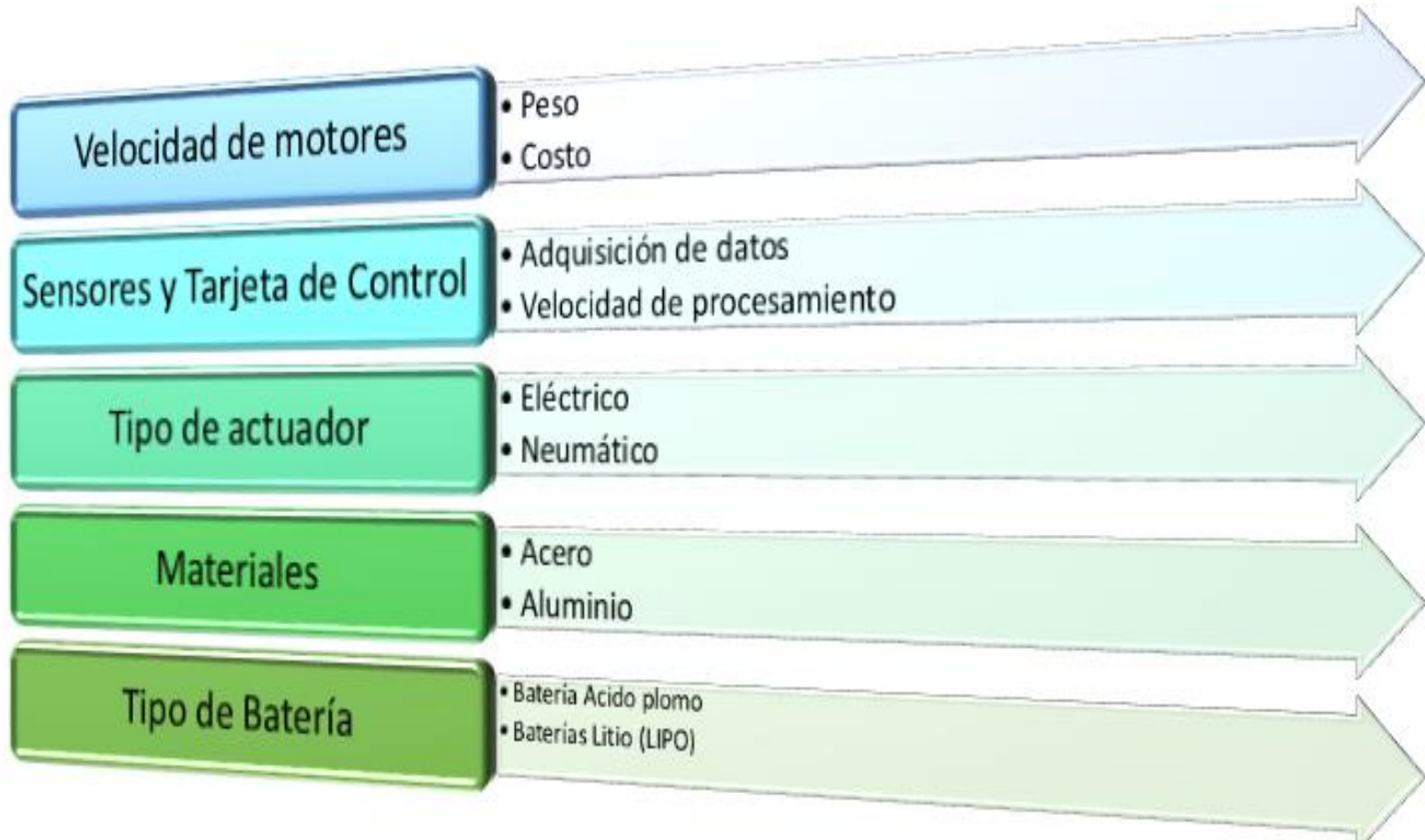
Requerimientos

Dimensionamiento

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

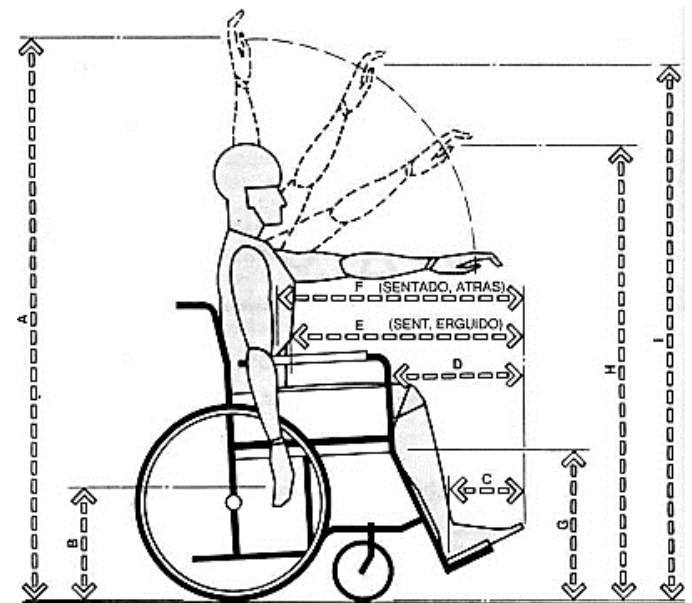


Sistemas definidos para el diseño



Análisis dimensional

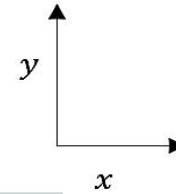
Para el dimensionamiento de las partes del bipedestador se utilizó como referencia los datos obtenidos mediante análisis antropométricos para el diseño de muebles para personas con discapacidad.



Medidas antropométricas hombres y mujeres al 2.5 percentil.

	Hombre		Mujer	
	Pulgada	cm	pulgada	cm
A	62.25	158.1	56.75	144.1
B	16.25	41.3	17.5	44.5
C	8.75	22.2	7.0	17.8
D	18.5	47.0	16.5	41.9
E	25.75	65.4	23.0	58.4
F	28.75	73.0	26.0	66.0
G	19.0	48.3	19.0	48.3
H	51.5	130.8	47.0	119.4
I	58.25	148.0	53.24	135.2

Dimensionamiento motores plataforma



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

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:



Donde f es la fuerza de rozamiento, μ el coeficiente de fricción y N es la fuerza normal o reacción

$$f = \mu N$$

$$T = f * R$$

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

$$\sum F_x = m * a$$

$$m * a = P + f$$

$$m * a = m * g * f$$

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

$$m * a = m * g - \frac{T}{R}$$

$$T = m * R * [g - a]$$

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

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

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

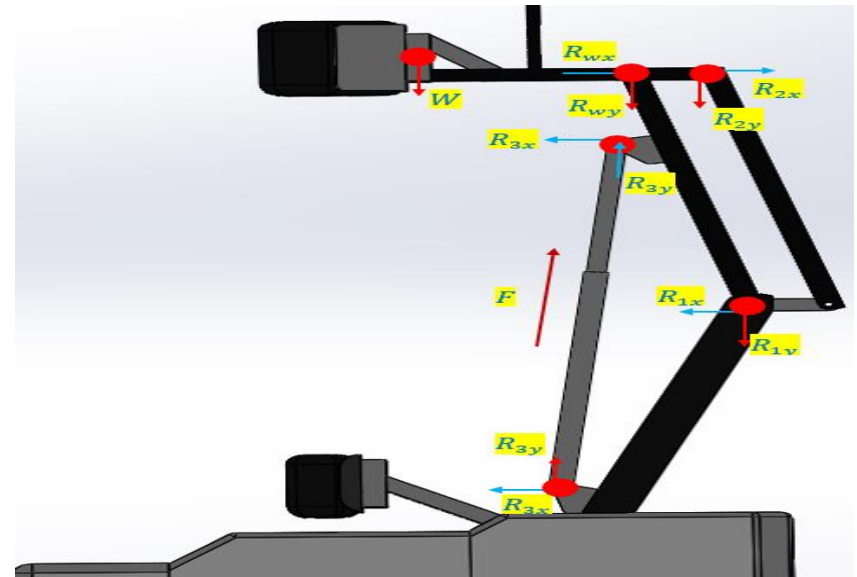
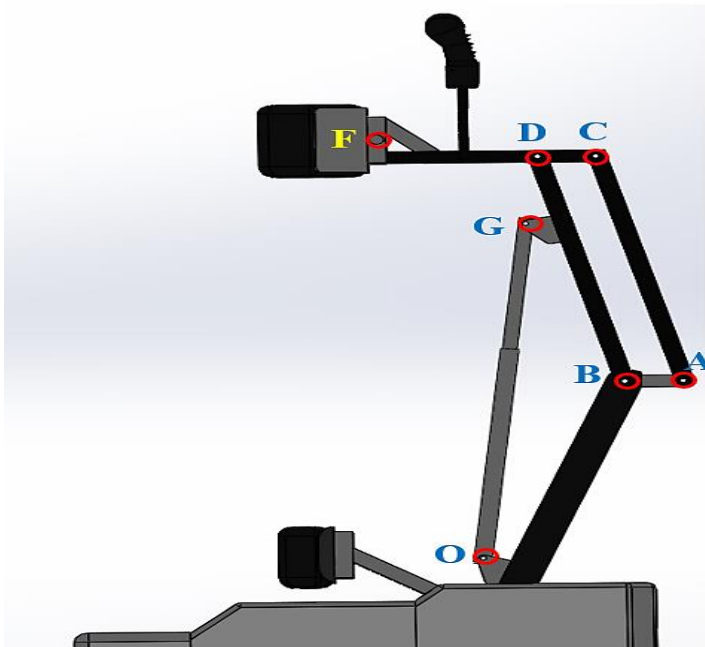
$$T_{fm} = 106.37 \text{ kg} * \text{cm}$$



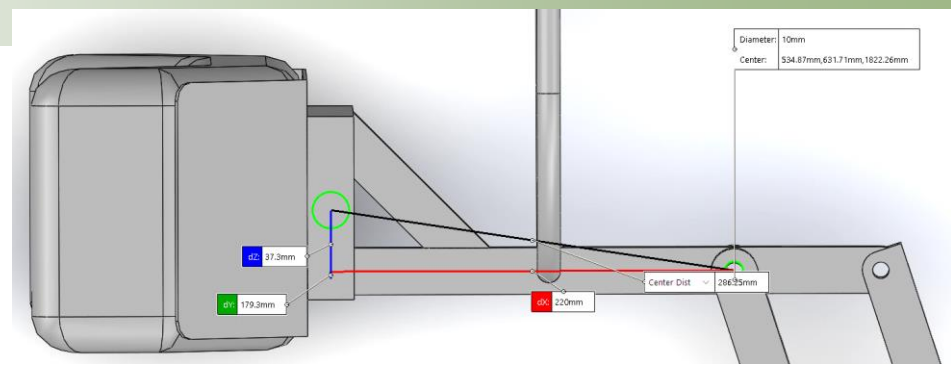
Cálculo de reacciones

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

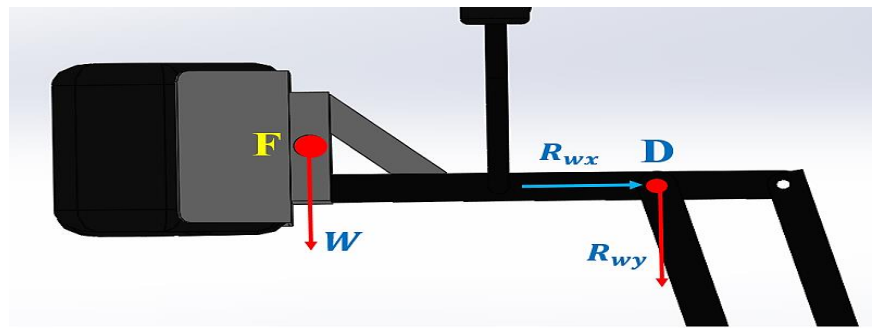
Las reacciones tiene su componente en el eje x e y como se observa en la Figura. Se dividió el sistema en 4 nodos importantes para el análisis: el nodo F es igual que el nodo D, el nodo G es el mismo nodo O, el nodo C es el mismo nodo A, y finalmente se tiene



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 θ 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 .



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



$$\sum F_x = 0$$

$$R_{wx} + R_{2x} = 0$$

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

$$\sum F_y = 0$$

$$W + R_{wy} + R_{2y} = 0$$

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

Para obtener las demás incógnitas del sistema se realiza la sumatoria de momentos respecto al nodo O

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

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

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

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

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

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

$$\sum F_y = 0$$

$$R_{Wy} + R_{3y} - R_{1y} = 0$$

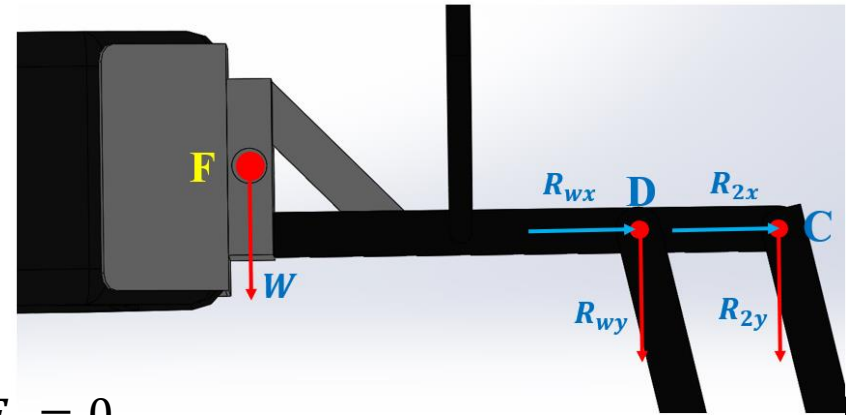
$$R_{3y} = R_{1y} - R_{Wy}$$

$$R_{3y}$$

$$= -402.28 \text{ N}$$

$$- 1083.07 \text{ N}$$

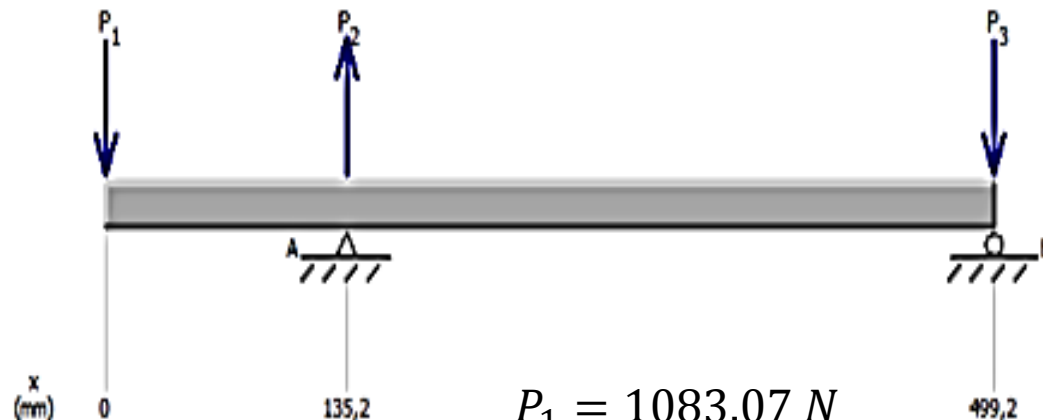
$$R_{3y} = -1485.35 \text{ N}$$



Diseño de perfiles rectangulares

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

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



$$P_1 = 1083.07 \text{ N}$$

$$P_2 = 402.28 \text{ N}$$

$$P_3 = 1485.35 \text{ N}$$

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*

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

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

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

$$\omega_x = 1.18 cm^3$$

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

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.



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.

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

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

$$\frac{1}{n_f} = \frac{\sigma_a'}{S_e} + \frac{\sigma_m'}{S_{ut}}$$

$$\frac{D}{d} = 1.2$$

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

$$n_f = 1.82$$



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.



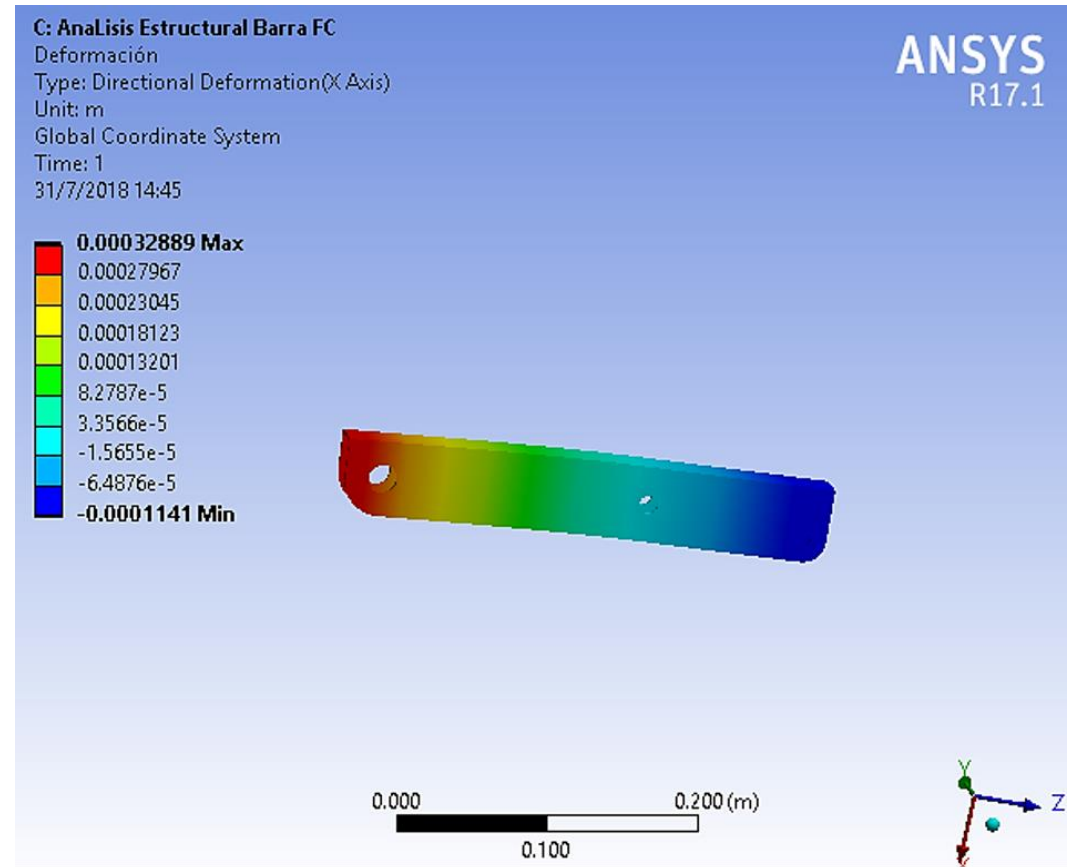
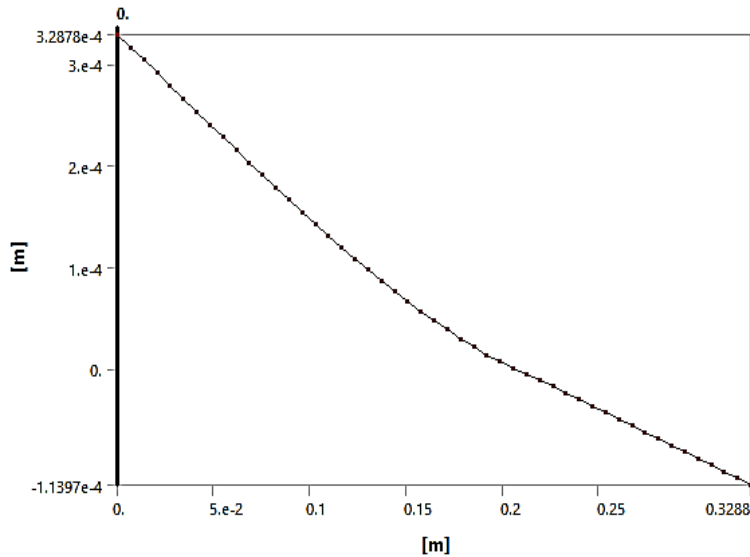


Análisis y simulación CAE

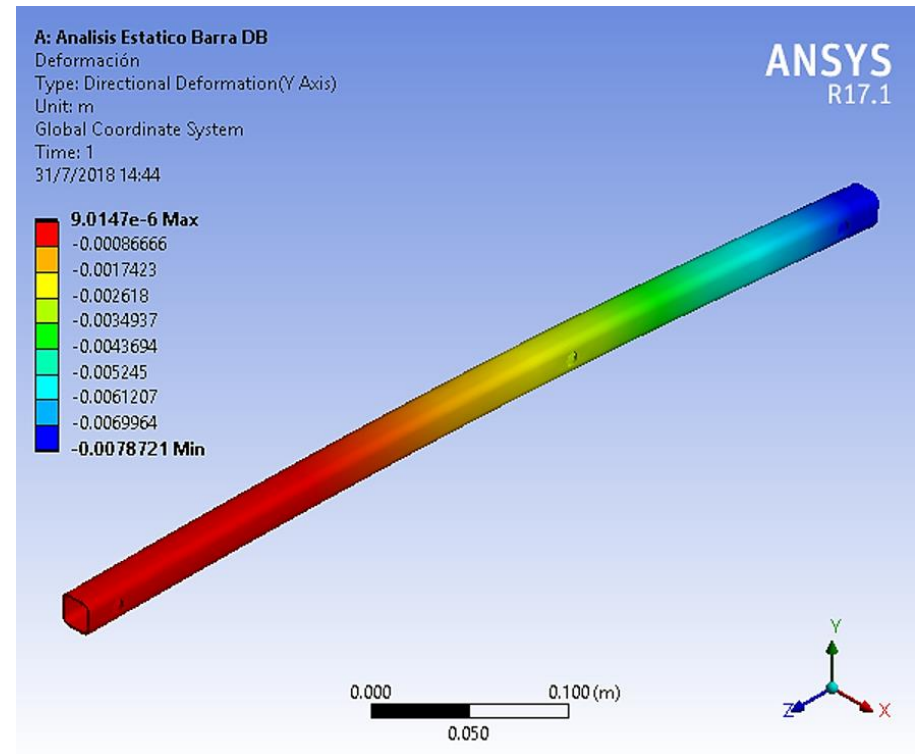
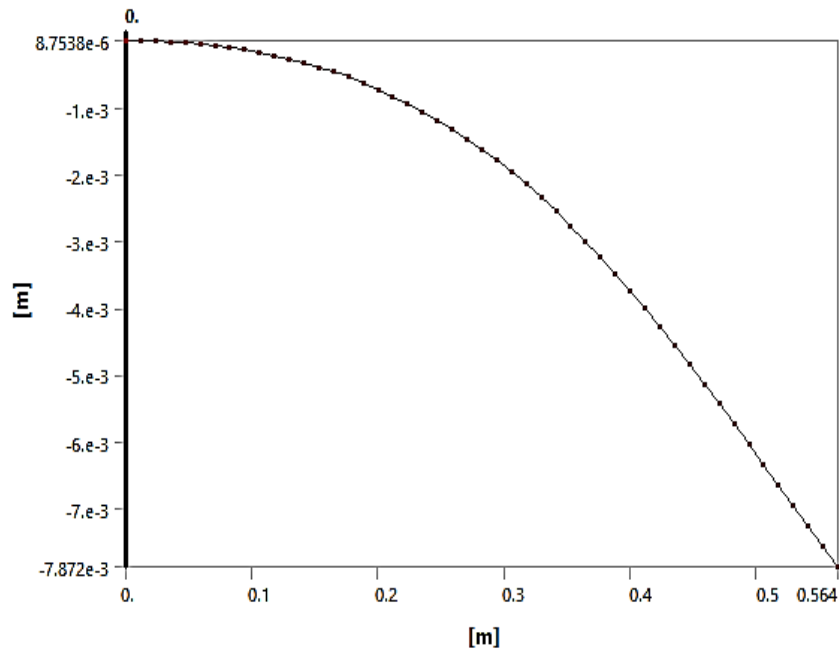
Se realiza el análisis de elementos finitos para los perfiles a partir del cálculo de fuerzas y reacciones. De acuerdo a los análisis efectuados se observan las deformaciones y esfuerzo de Von Mises, así como las gráficas del comportamiento de la deformación y el esfuerzo realizado en los perfiles de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



El análisis 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.



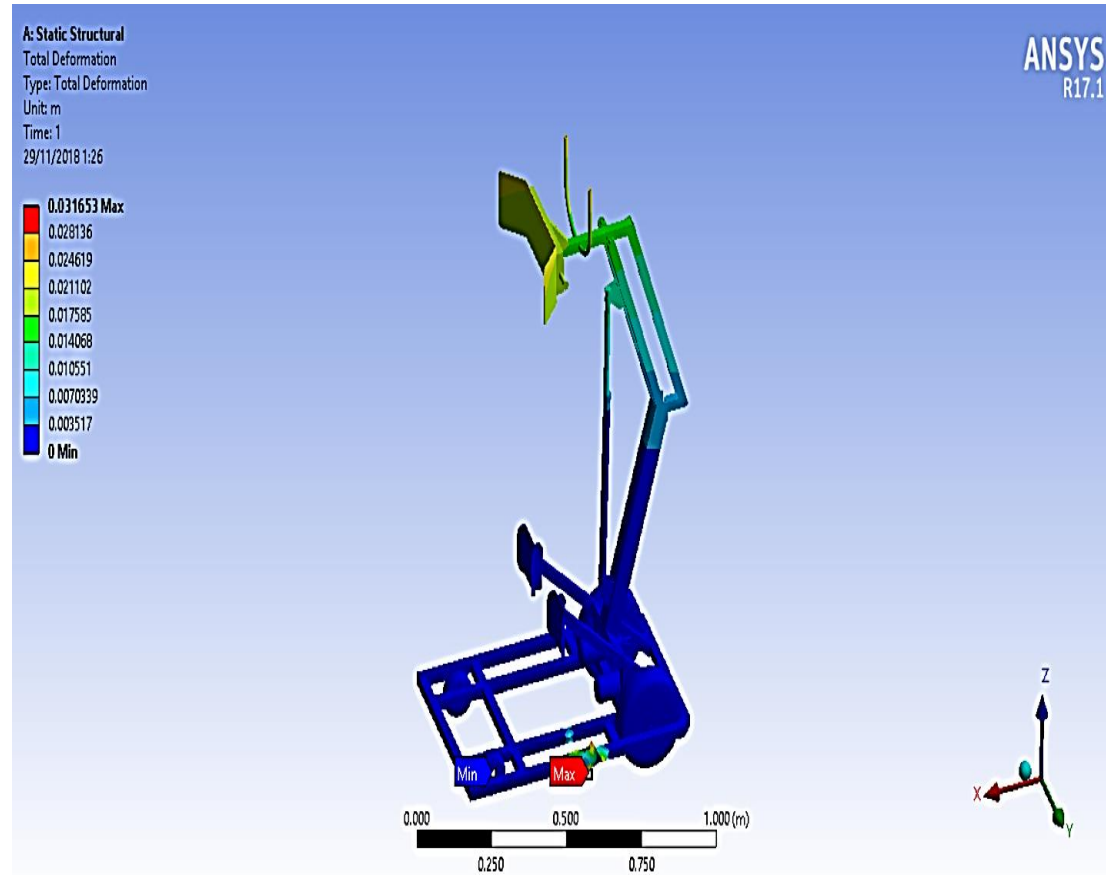
La deformación de la barra BD sometida a las Fuerzas de la Figura. En esta se puede observar que se tiene una deformación máxima de $9.047e-06$ m y un mínimo de 0.0078721 m.



Análisis estático estructura

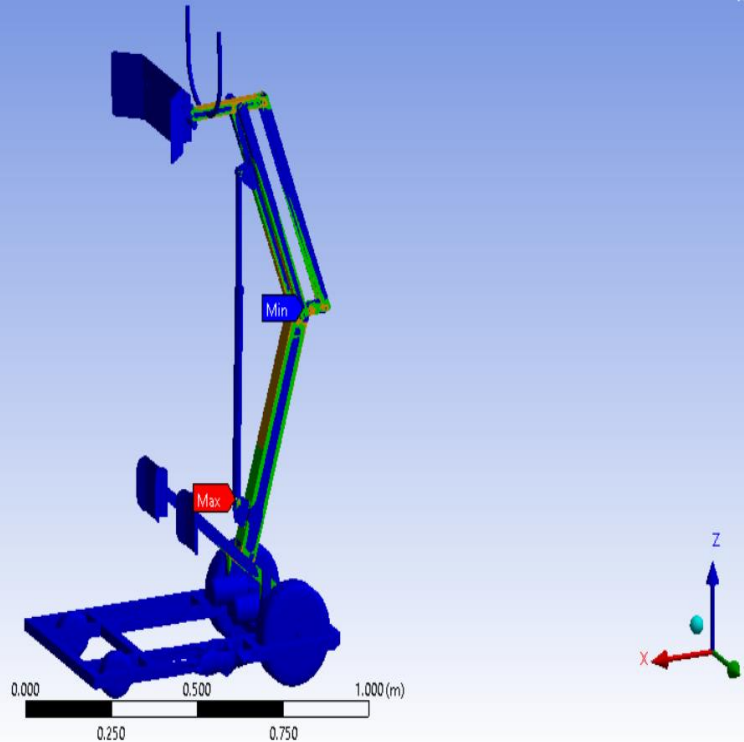
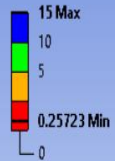
Se realiza un análisis de elementos finitos a toda la estructura en el que se generó un total de 1587 nodos y 764 elementos

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



A: Static Structural
Safety Factor
Type: Safety Factor
Time: 1
29/11/2018 1:27

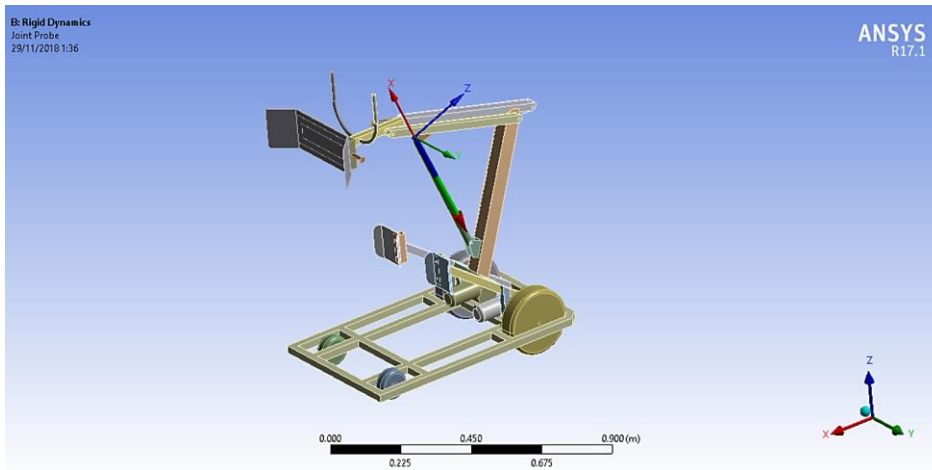
ANSYS
R17.1



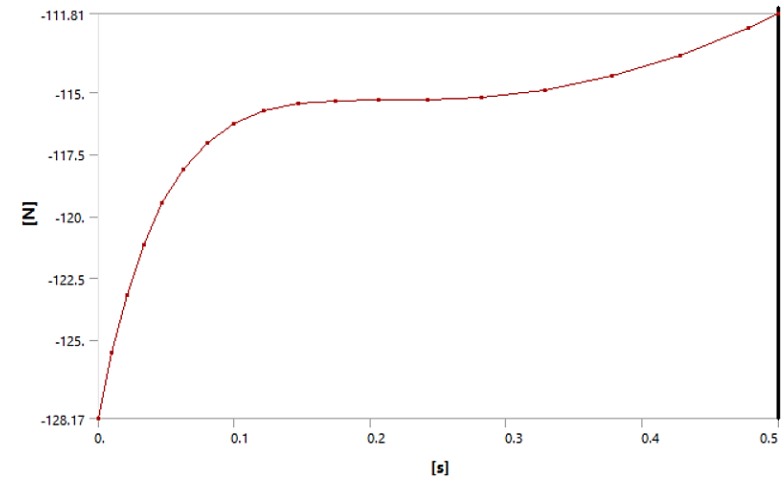
En la Figura se muestra el factor de seguridad de la estructura sometida a las Fuerzas de las reacciones tomadas anteriormente. En esta se puede observar que se tiene un valor máximo de 15 y un mínimo de 0.25.

Análisis dinámico

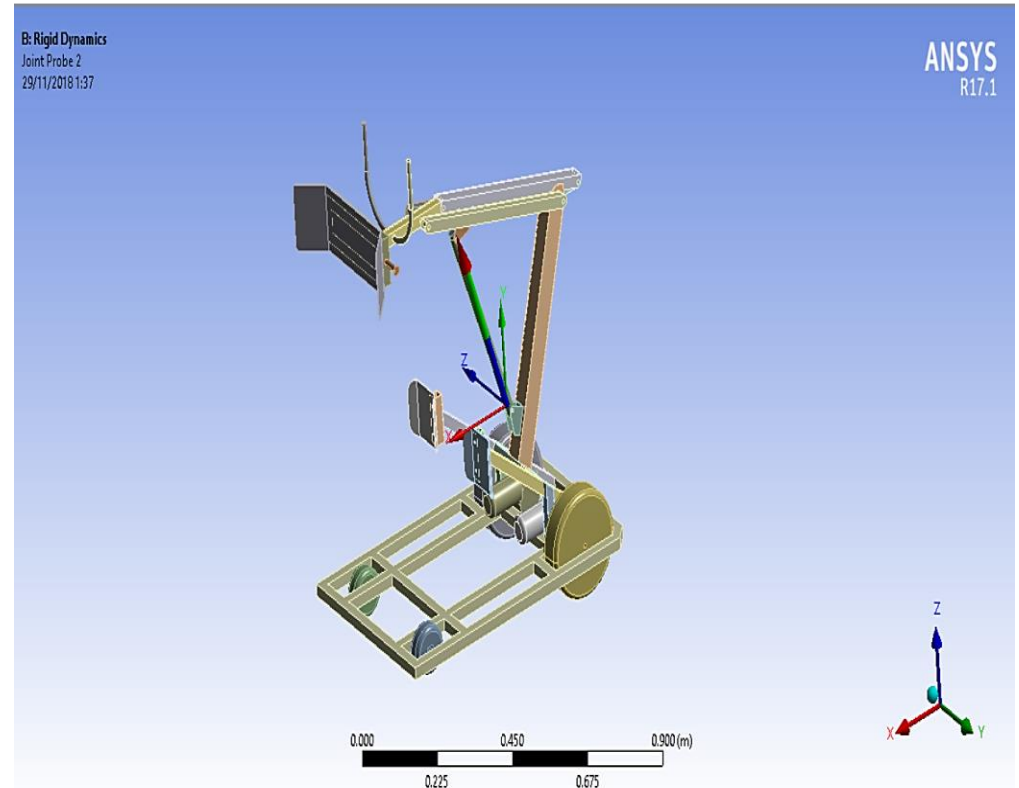
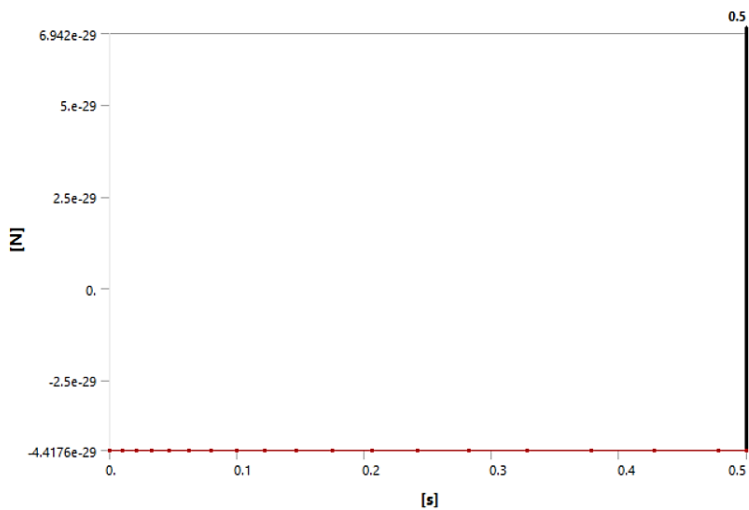
El análisis dinámico se realizó en cuatro puntos de prueba a fin de determinar la evolución de la fuerza en función del tiempo para visualizar el comportamiento de la estructura.

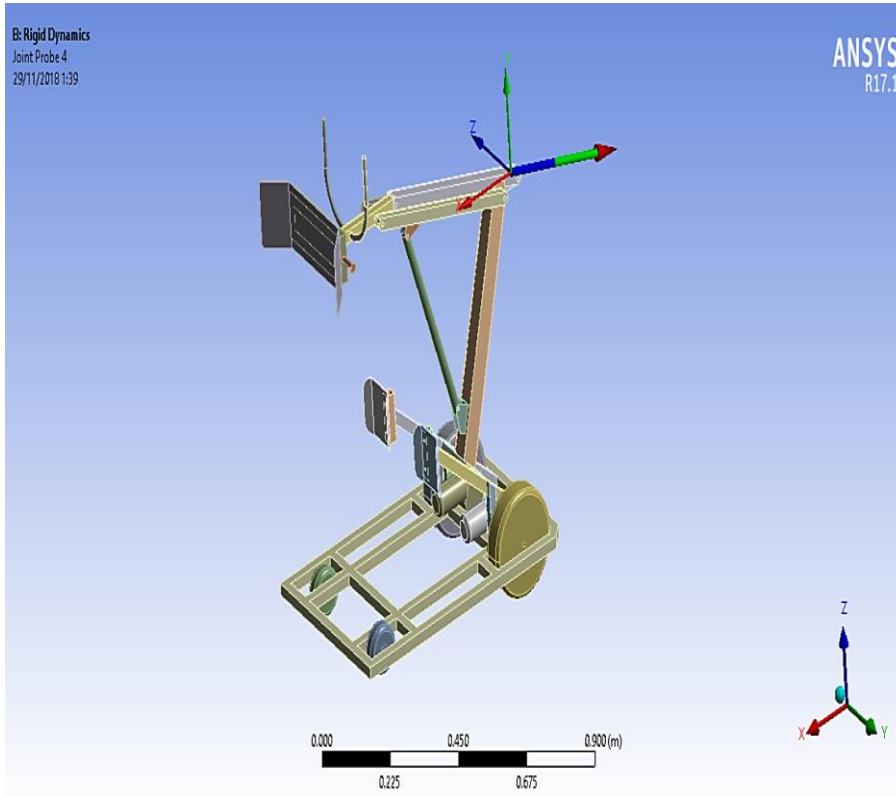


Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura presentando un valor máximo de fuerza de 111.81 N y un valor mínimo de 128.17 N.

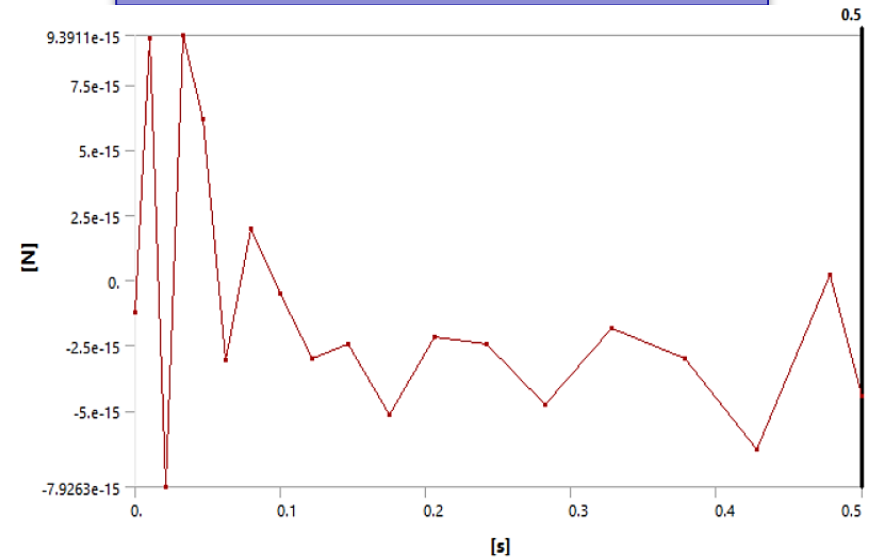


Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura, presentando un valor constante de fuerza de aproximadamente 0N quiere decir que esta junta permanece la fuerza constante en el análisis dinámico.

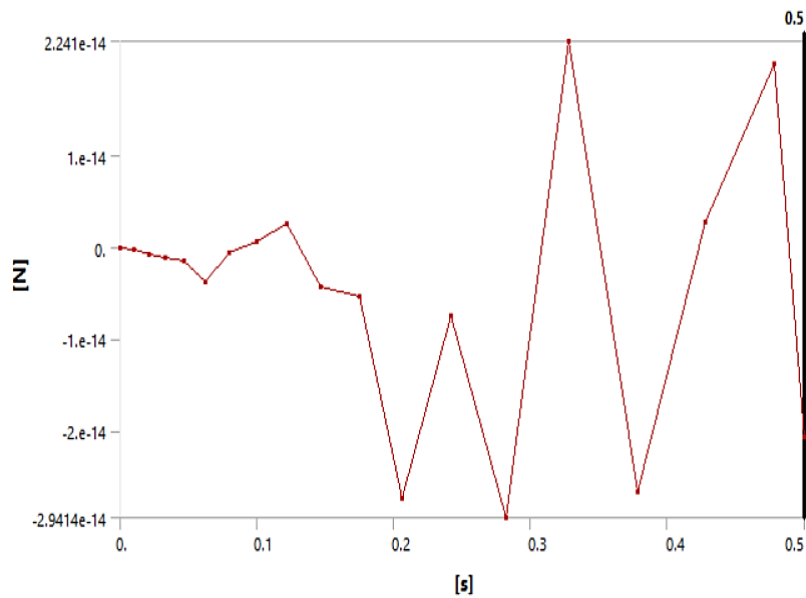




Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura, presentando un valor máximo de fuerza de 9.39×10^{-16} N y un valor mínimo de 7.92×10^{-15} N valores cuyas magnitudes no son tan elevadas considerando las dimensiones de la estructura.

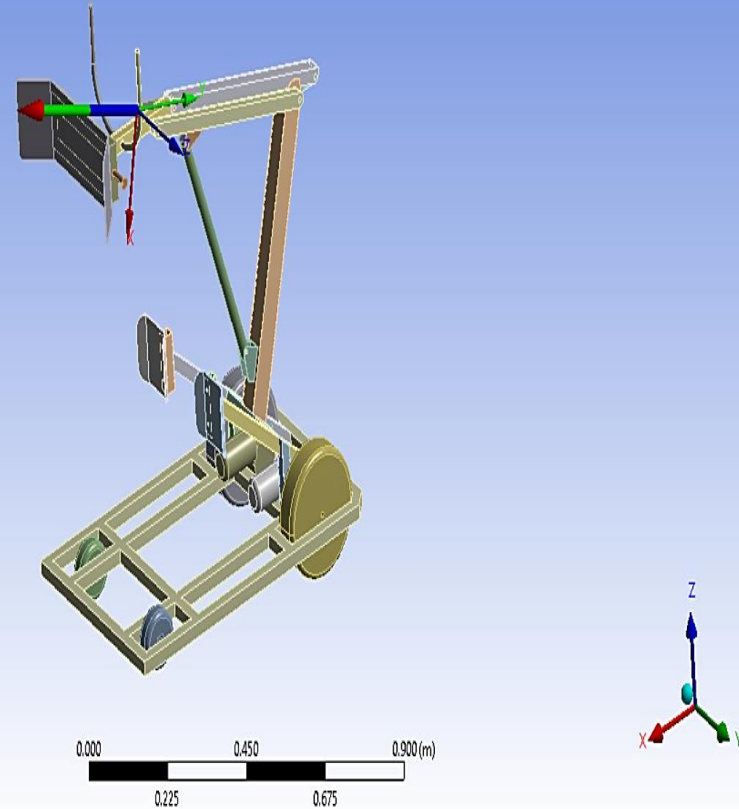


Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura 90, presentando un valor máximo de fuerza de $2.24 \cdot 10^{-14}$ N y un valor mínimo de $-2.94 \cdot 10^{-14}$ N, fuerza que cambia la dirección pero la magnitud permanece constante.

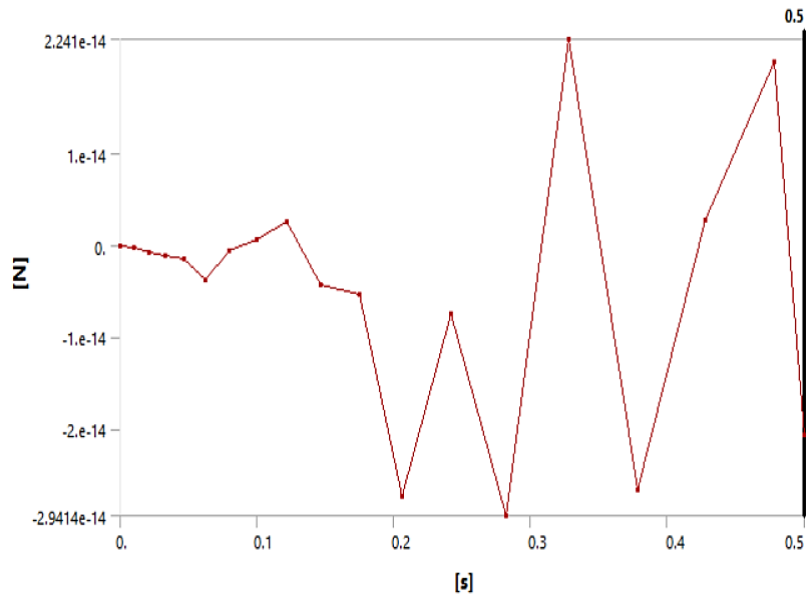


B: Rigid Dynamics
Joint Probe 5
29/11/2018 1:40

ANSYS
R17.1

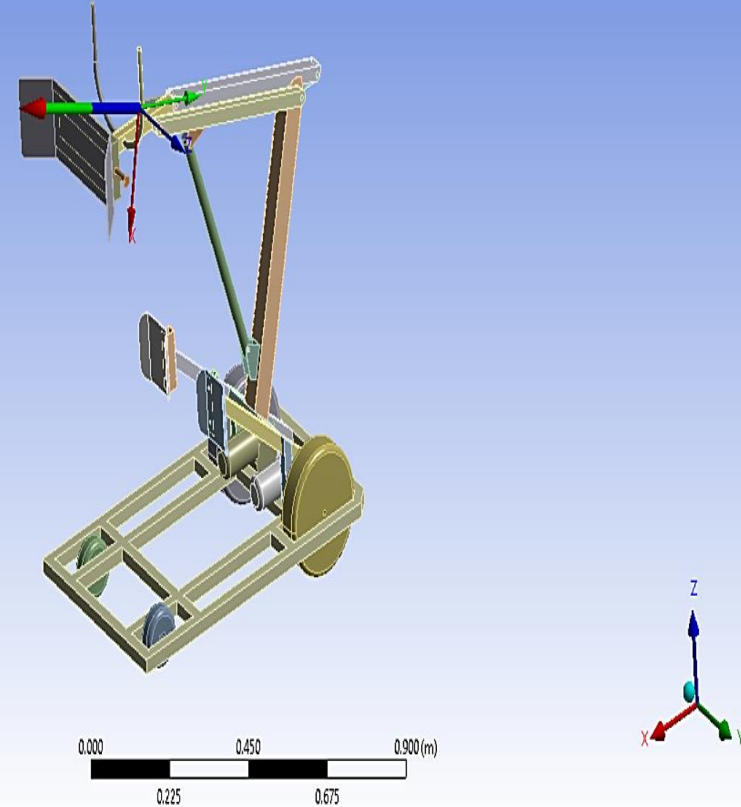


Se obtiene el comportamiento de la junta como se observa en la Figura 90, presentando un valor máximo de fuerza de $2.24 \cdot 10^{-14}$ N y un valor mínimo de $-2.94 \cdot 10^{-14}$ N, fuerza que cambia la dirección pero la magnitud permanece constante.



B: Rigid Dynamics
Joint Probe 5
29/11/2018 1:40

ANSYS
R17.1





Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 1:

- Desplazamiento autosuficiente

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

Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 1:

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 A se muestra el ángulo mínimo y en la Figura B se muestra el ángulo máximo.



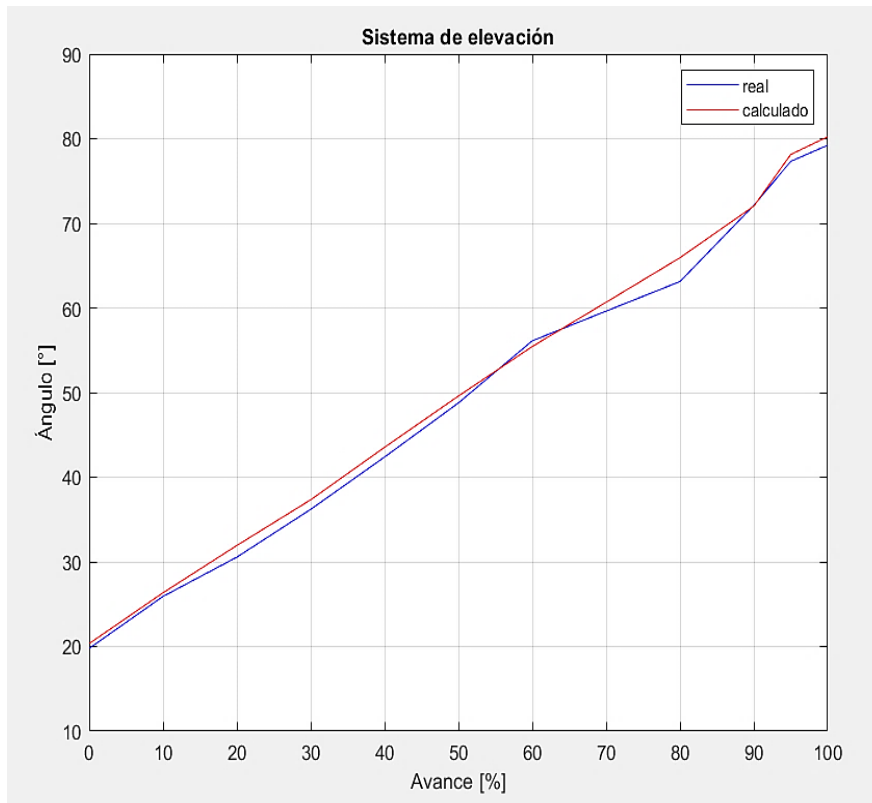
RESULTADO ETAPA 1:

Protocolo de pruebas de elevación

Sistema de elevación			
Avance [%]	Ángulo calculado [°]	Ángulo real [°]	Error [%]
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%

RESULTADO ETAPA 1:

Errores sistema de elevación



- La Figura muestra la variación entre los datos calculados y los reales, se presenta un ángulo máximo de 80.23° y un mínimo de 20.35° .
- Se considero a 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.

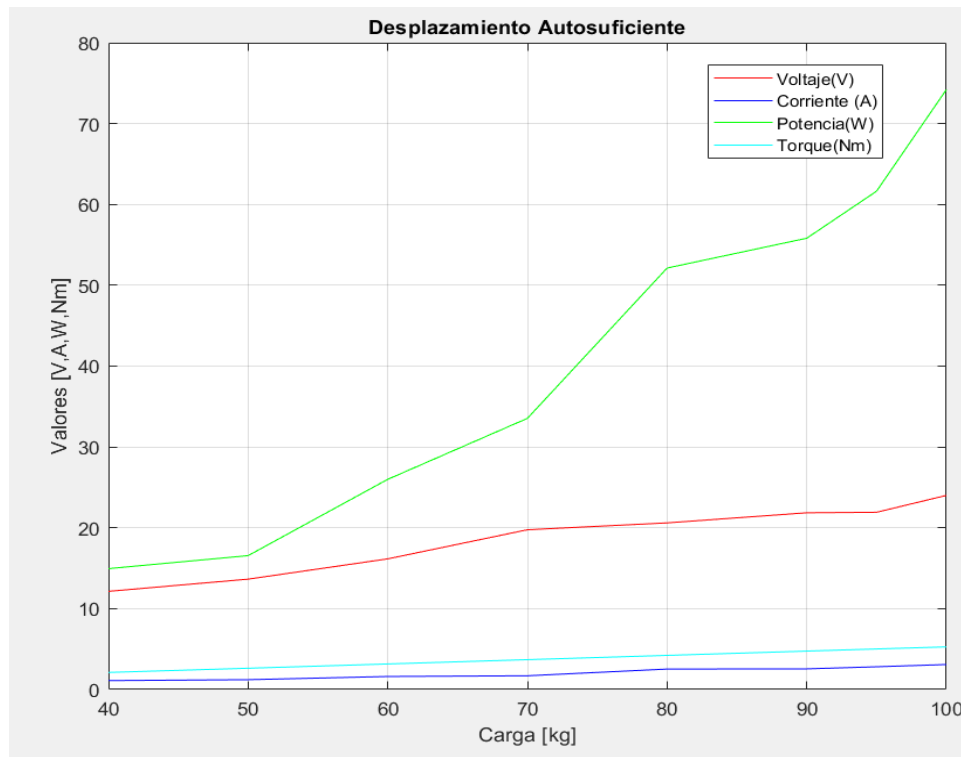
RESULTADO ETAPA 1:

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

Desplazamiento Autosuficiente					
Carga [kg]	Voltaje [V]	Corriente [A]	Potencia [W]	Torque[Nm]	Eficiencia [%]
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

RESULTADO ETAPA 1:

- 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.



RESULTADO ETAPA 1:

Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 1:

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



RESULTADO ETAPA 1:

Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 1:

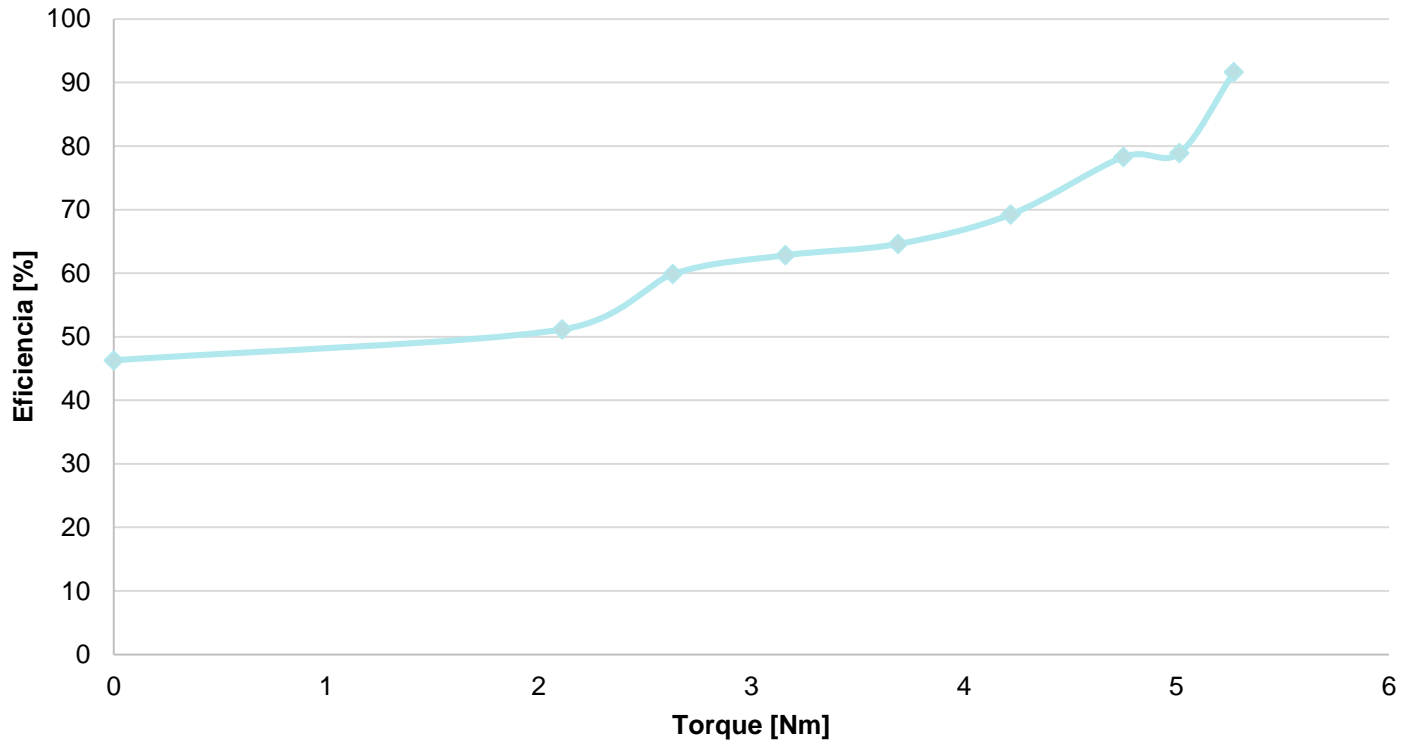
- El bipedestador con una carga de se obtiene una potencia requerida en 14.95W y con un torque de 2.11Nm para poder vencer la inercia.
- .





RESULTADO ETAPA 1:

Eficiencia Vs Torque





RESULTADO ETAPA 1:

- 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.





Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2:

- Ejercitación muscular inferior

Realizar el análisis de movimiento y estabilidad del bipedestador verificando el centro de gravedad de la estructura.



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

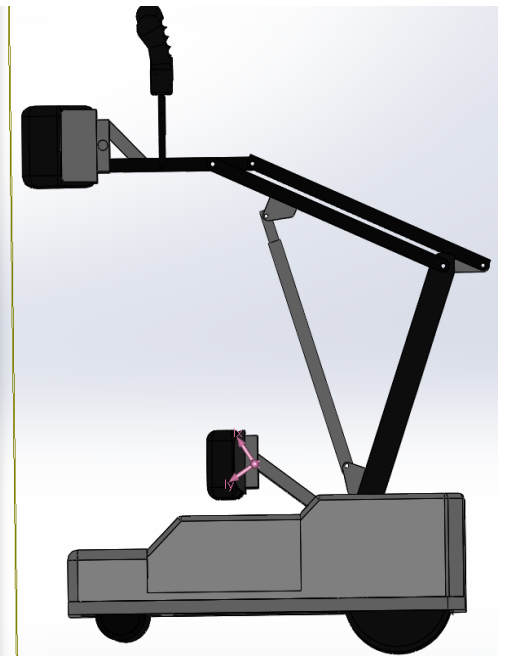
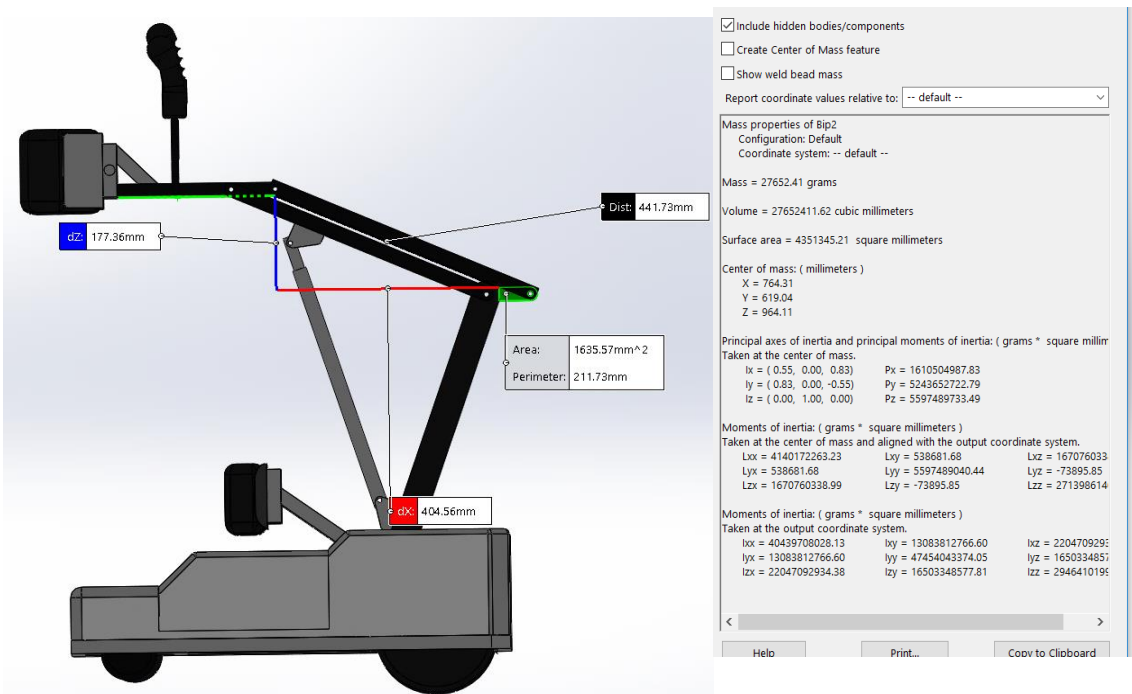
ETAPA 2:

- 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 A se muestra la obtención de las dimensiones para el cálculo del ángulo de inclinación simulado y en la Figura B se muestra el centro de masa obtenido utilizando el software de simulación.



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2:



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2:

Resultados prueba de ejercitación muscular inferior

dz [mm]	h [mm]	°	X [mm]	Y [mm]	Z [mm]
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



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2:

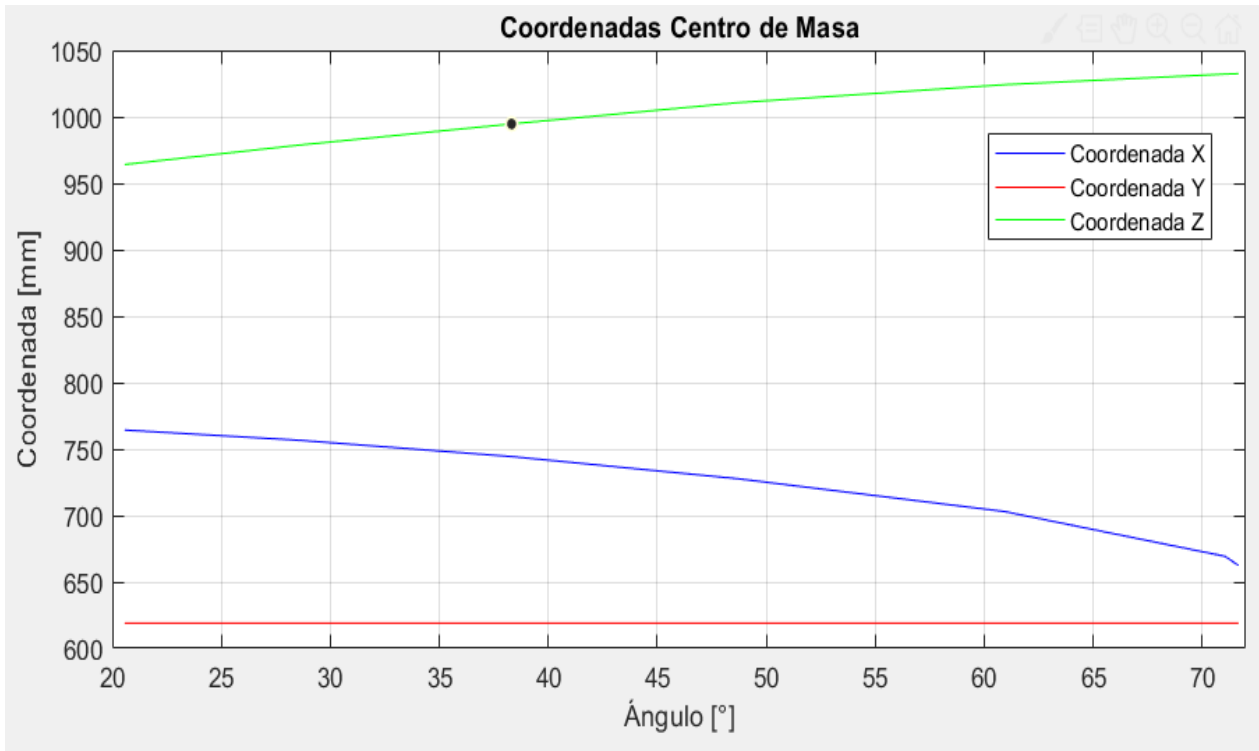
Resultados prueba de ejercitación muscular inferior,

Al analizar la Figura 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.



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2:





Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2:

- Al analizar la Figura 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° , a partir de este valor va en incremento hasta llegar al ángulo máximo que es de 80.90° , 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° .



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

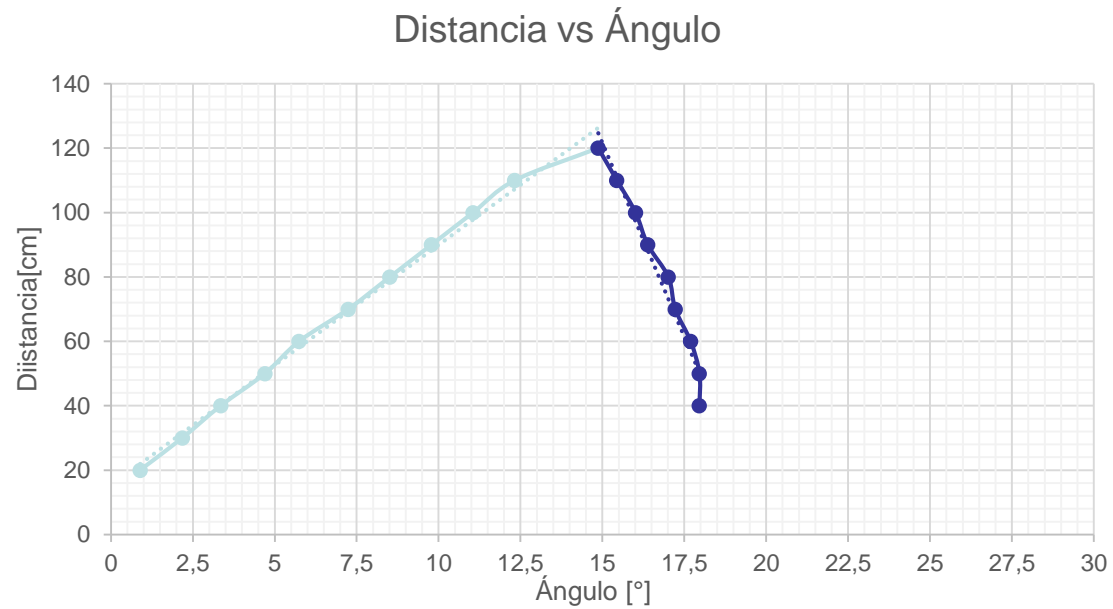
ETAPA 2: Resultados prueba de ejercitación muscular inferior en la rampa normalizada

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		



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2: Resultados prueba de ejercitación muscular inferior en la rampa normalizada





Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 2: Resultados prueba de ejercitación muscular inferior en la rampa normalizada

- La grafica 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°.





Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 3:

- Elevación vertical

Realizar el análisis de las dimensiones de la estación bipedestal.



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 3:

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 A y Figura B se muestra el número de partes consideradas.



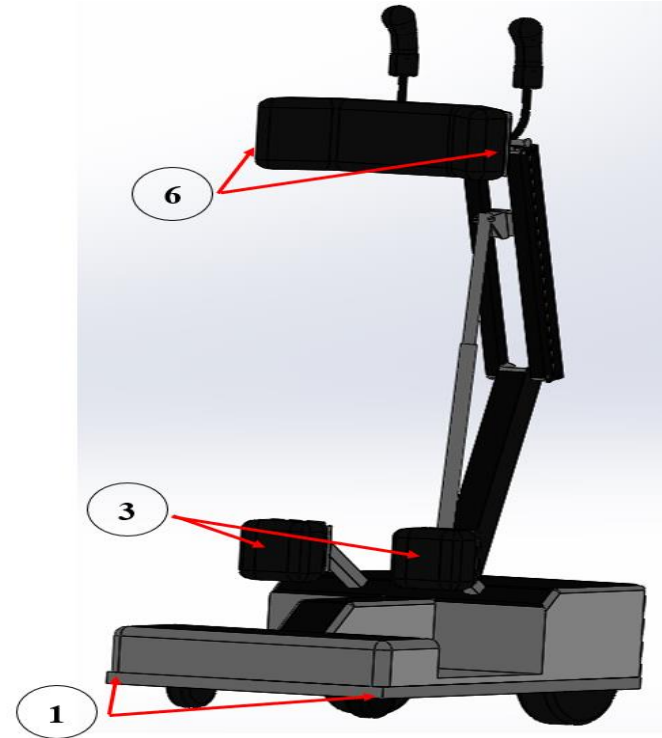
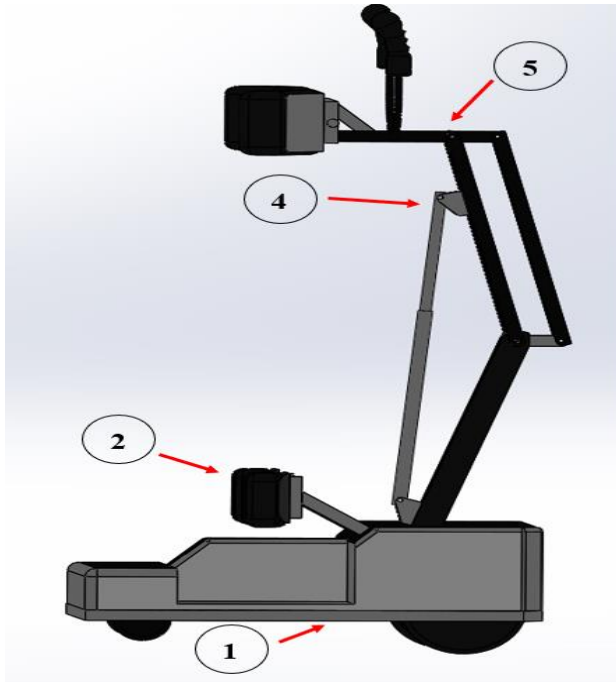
Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

Etapa 4:

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



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.





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





Resultados pruebas 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.



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 4:

- Sujeción de la persona

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.





Sistema de calificación pruebas de sujeción de la persona

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



Resultados pruebas de sujeción de la persona

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	Calificación n	
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%			



Resultados pruebas de sujeción de la persona

Etapa 4

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.



Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 4:

- Arranque suave

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.





Resultados de las pruebas de la estación de bipedestación.

ETAPA 4:

- 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.





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

Resultados de las pruebas de arranque suave

Arranque suave															
	Encuestado	1		2		3		4		5		Real	Sumatorio		
No.	Criterio	Calificación													
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	

Resultados de las pruebas de arranque suave

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.

Índice porcentual

Índice Porcentual			
No.	Criterio	Bipedestador	Silla de Ruedas
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%



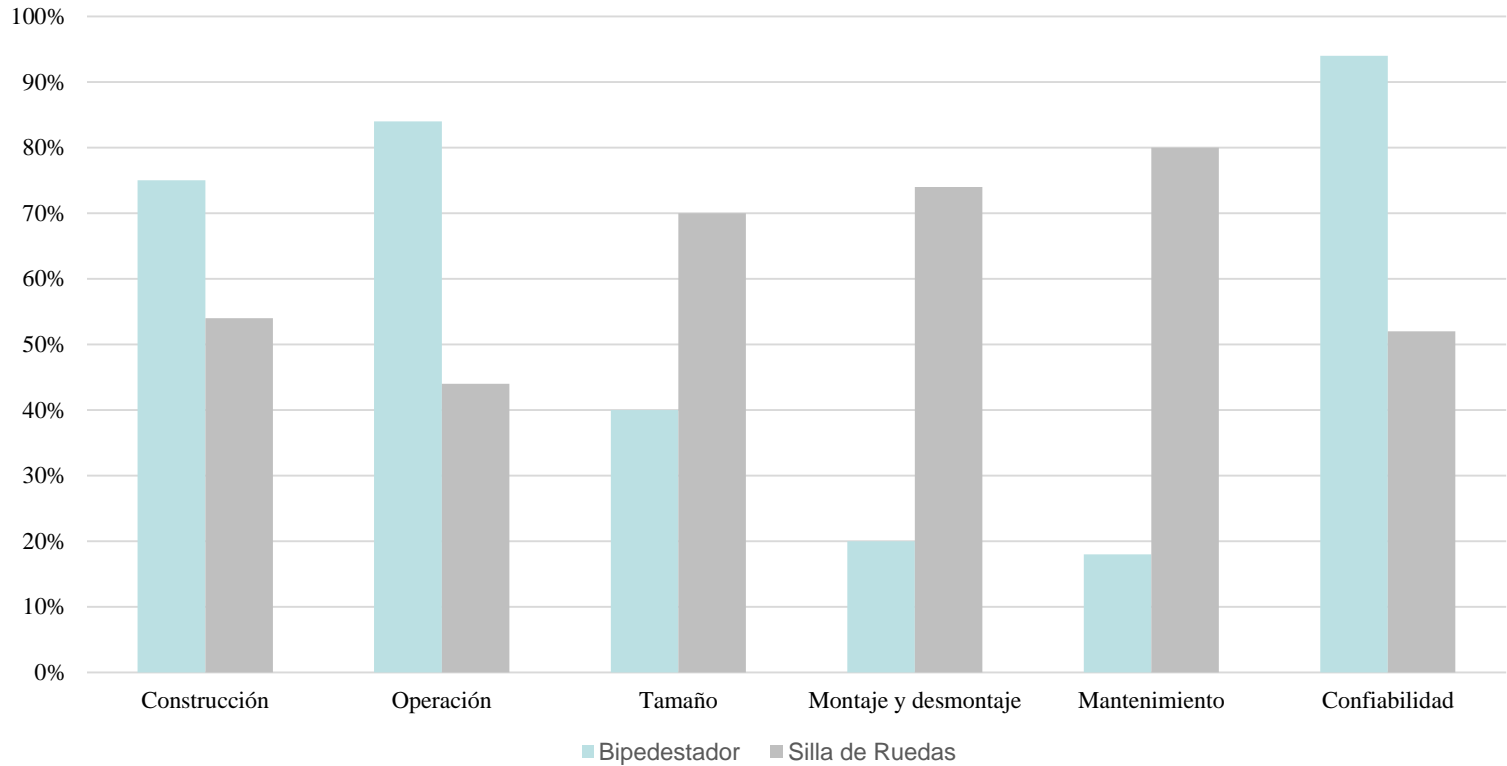
Resultados de las pruebas de arranque suave

- 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%, permitiendo concluir que la plataforma cumple con las necesidades del usuario.





Bipedestador Vs Silla de ruedas





Conclusiones y Recomendaciones

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.





Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- 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.





Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- 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.





Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- 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.





Conclusiones y Recomendaciones

Conclusiones

- 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.





Conclusiones y Recomendaciones

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.





Conclusiones y Recomendaciones

Recomendaciones

- 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.

