



CARRERA DE INGENIERÍA AUTOMOTRIZ

“ESTUDIO PARA LA IMPLEMENTACIÓN DE UNA MONOCICLETA DE MANDO ELÉCTRICO PARA LA MOVILIZACIÓN AUTÓNOMA DE PERSONAS PARAPLÉJICAS”

TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO AUTOMOTRIZ

AUTOR: PAULO MISAEL CUNALATA CUNALATA

MARCELO ALFONSO MANOSALVAS SALAZAR

DIRECTOR: ING. GUIDO TORRES

Latacunga
2017



INTRODUCCIÓN

- El presente trabajo a desarrollar es el estudio de la implementación de una monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas, cuya investigación se realizó para ayudar al traslado de las personas con esta discapacidad.
- La movilización se debe realizar con rapidez, seguridad, eficiencia y debe ser amigable al medio ambiente; por ello se ejecutará el estudio para la implementación de la monocicleta de mando eléctrico considerando su ergonomía, basándose en normas técnicas



JUSTIFICACIÓN

- Con el avance tecnológico se puede implementar dispositivos para que las personas con paraplejía para que puedan movilizarse de una manera autónoma, debido a la ausencia hasta el momento de una solución, es indispensable un medio de transporte innovador, versátil, económico y ecológico que se acople a la movilización de personas con discapacidad.



OBJETIVO GENERAL

- Determinar el estudio para la implementación de una monocicleta de mando eléctrico para la movilización autónoma de personas parapléjicas





OBJETIVOS ESPÉCIFICOS

- Establecer el estado de arte de las sillas de ruedas eléctricas y acoples motrices hasta la actualidad.
- Analizar la viabilidad técnica basada en métodos analíticos con el fin de obtener las exigencias de seguridad con la tecnología disponible para la implementación de la monocicleta de mando eléctrico.
- Realizar el diseño de una monocicleta de mando eléctrico para personas parapléjicas con los componentes eléctricos, electrónicos y mecánicos, mediante software CAD.
- Validar el funcionamiento del sistema motriz a través de cargas y esfuerzos realizados mediante cálculos matemáticos y software CAE.
- Implementar la monocicleta de mando eléctrica con sus accesorios eléctricos, electrónicos y mecánicos en una silla de ruedas convencional para la movilidad de personas parapléjicas.



ESTADO DEL ARTE

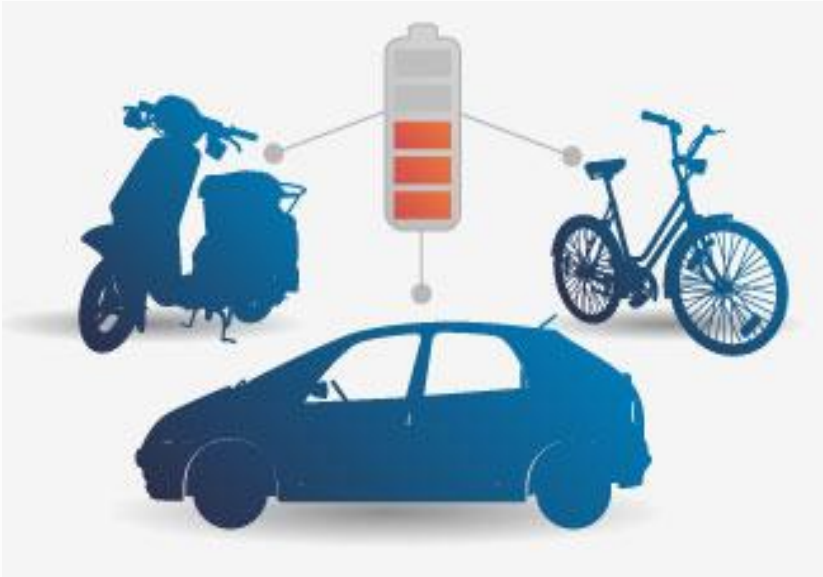
- **PARAPLEJÍA**



La paraplejía es un impedimento en la función motora o sensorial de las extremidades inferiores como se muestra en la figura . Por lo general, la consecuencia de la lesión de la médula espinal como la espina bífida que perturba a los elementos neurales del canal espinal

VEHÍCULOS ELÉCTRICOS

- Los vehículos eléctricos se desplazan por medio de un motor sustentado por baterías que se cargan a través de una toma de corriente. Su utilización muestra ventajas desde el punto de un panorama ambiental, ya que reduce el nivel de emisiones de CO al espacio.



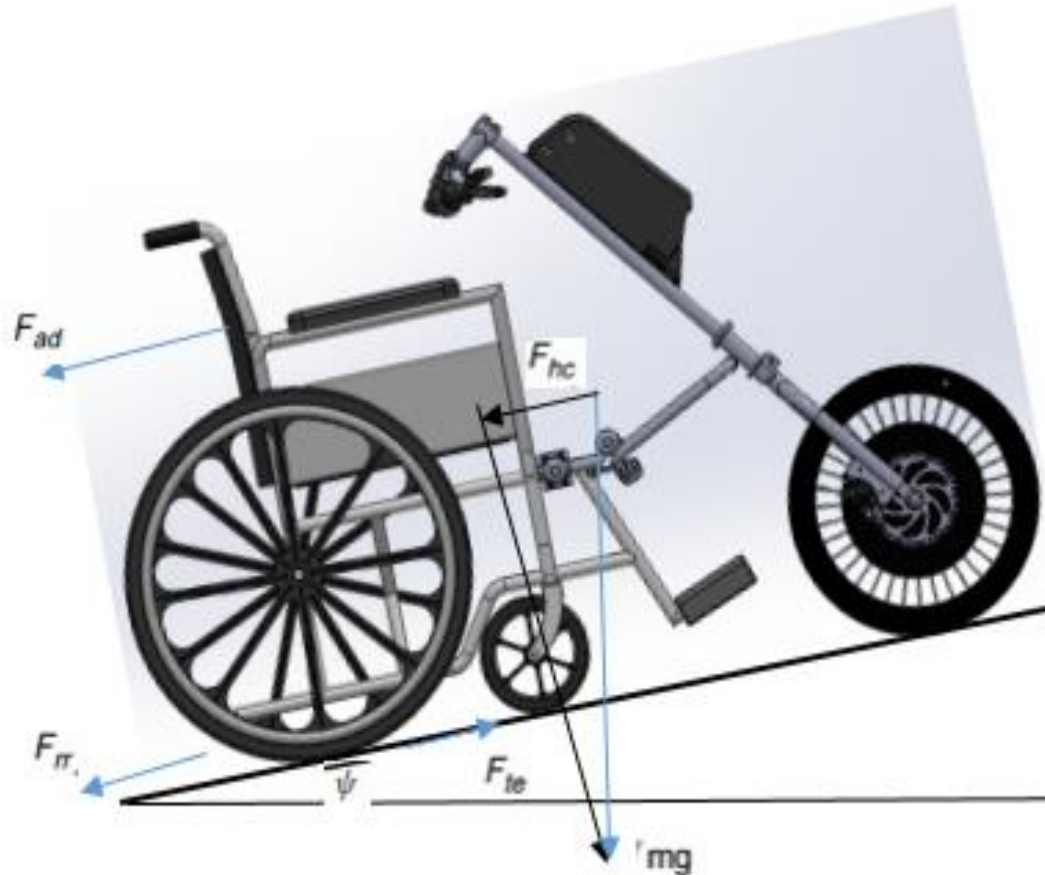


ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA

ESFUERZO DE TRACCIÓN

- El prototipo, en pendiente tendrá que cumplir con la Segunda ley de Newton que plantea que la sumatoria de fuerzas en el eje x es igual a la masa del cuerpo en movimiento por la aceleración que este tenga



- Fuerza de fricción entre la superficie a rodar (F_{rr}).
- Fuerza de fricción con el viento (F_{ad}).
- Componente del peso del vehículo a lo largo de la pendiente (F_{hc}).
- Fuerza de tracción (F_{te}).
- Torque necesario (T_n).
- Potencia necesaria (P_n).



DATOS NECESARIOS PARA EL CÁLCULO

COMPONENTE	PESO EN KG
KIT ELÉCTRICO	7
CHASIS	3
BATERÍAS	4
SILLA DE RUEDAS	20
PASAJERO	90
TOTAL	124

MOVIMIENTO	VELOCIDAD EN KM/H
HACIA ADELANTE	20



CÁLCULOS DE FUERZAS

- $F_{rr} = U_{rr} * m * g * \cos(\psi)$
 $F_{rr} = 24.092 [N]$
- $F_{ad} = \frac{1}{2} * \rho * A * C_d * V^2$
 $F_{ad} = 1.2592 [N]$
- $F_{hc} = m * g * \sin(\psi)$
 $F_{hc} = 169.295 [N]$
- $F_{te} = m * a + F_{rr} + F_{ad} + F_{hc}$
 $F_{te} = 199.606 [N]$



CÁLCULOS DE FUERZAS

- $T_n = R \cdot F$

$$T_n = 25.3499 \text{ [Nm]}$$

- $P_{calculada} = F_{te} \cdot v_{max}$

$$P_{calculada} = 831.758 \text{ W}$$

- $P_{Motor} = \frac{P_{calculada}}{\text{eficiencia}}$

$$P_{Motor} = 996.6977 \text{ [W]}$$

MOTOR SELECCIONADO



PARAMETROS	ESPECIFICACIONES
TIPO DE MOTOR	MOTOR BRUSHLESS
VOLTAJE (V)	48
POTENCIA (W)	1000
CORRIENTE MAX (A)	12
EFICIENCIA (%)	80
VELOCIDAD (Km/h)	20
RADIADO EN LLANTA (IN)	10
TIPO DE FRENO	DISCO
PESO (Kg)	5.47
AUTONOMÍA (Km)	60



BATERÍA SELECCIONADA



Peso		≤ 3.10 kg
Dimensión (L * W * H)		310*150*100mm
Temperatura de trabajo	Temperatura de la carga	0 ~ 45 ° C
	Temperatura de descarga	-20 ~ 65 ° C
2. Datos técnicos		
Tensión nominal		48 V
Capacidad nominal de C1		12 Ah
Resistencia de la batería		≤100mΩ
Carga	Corriente de Carga estándar	2A
	Corriente de Carga máxima	5A
	Max Voltaje De Carga	54.6 V
Descarga	Corriente de descarga estándar	10A se puede personalizar
	Max. Corriente de Descarga	20A puede ser personalizado
	Descarga de Tensión de Corte	39 V
Ciclo de Vida		≥ 600 Ciclos



AUTONOMÍA DE LA BATERÍA

TIEMPO DE DESCARGA	
TIEMPO	1 hora y 20 minutos
DISTANCIA DE RECORRIDO	
PLANO	25 Km
CUESTA	15 Km



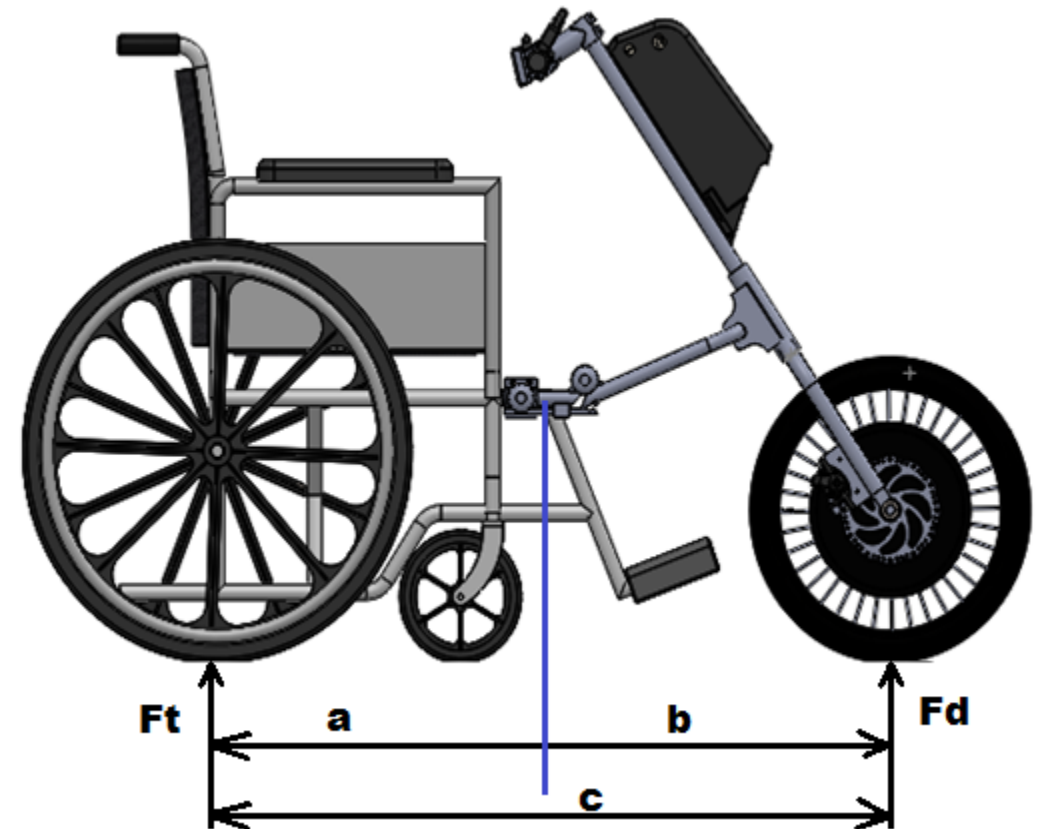
CARGAS REALES

Elementos	Masa (Kg)
Motor	5.47
Batería	3.36
Estructura	3
Silla	20
Total (m_{cm})	31.83

Elementos	Masa (Kg)
Persona con discapacidad	90
Total (m_{cv})	90

DISTRIBUCIÓN DE CARGAS RESPECTO AL CENTRO DE GRAVEDAD

- $\sum F_T = F_{cm(10\%)} + F_{cv(10\%)}$
- $\sum F_T = 971.19 \text{ N} + 455.98 \text{ N}$
- $\sum F_T = 1427.178 \text{ [N]}$
- $F_{d(10\%)} = 925.2969 \text{ [N]}$
- $F_{t(10\%)} = 644.193 \text{ [N]}$



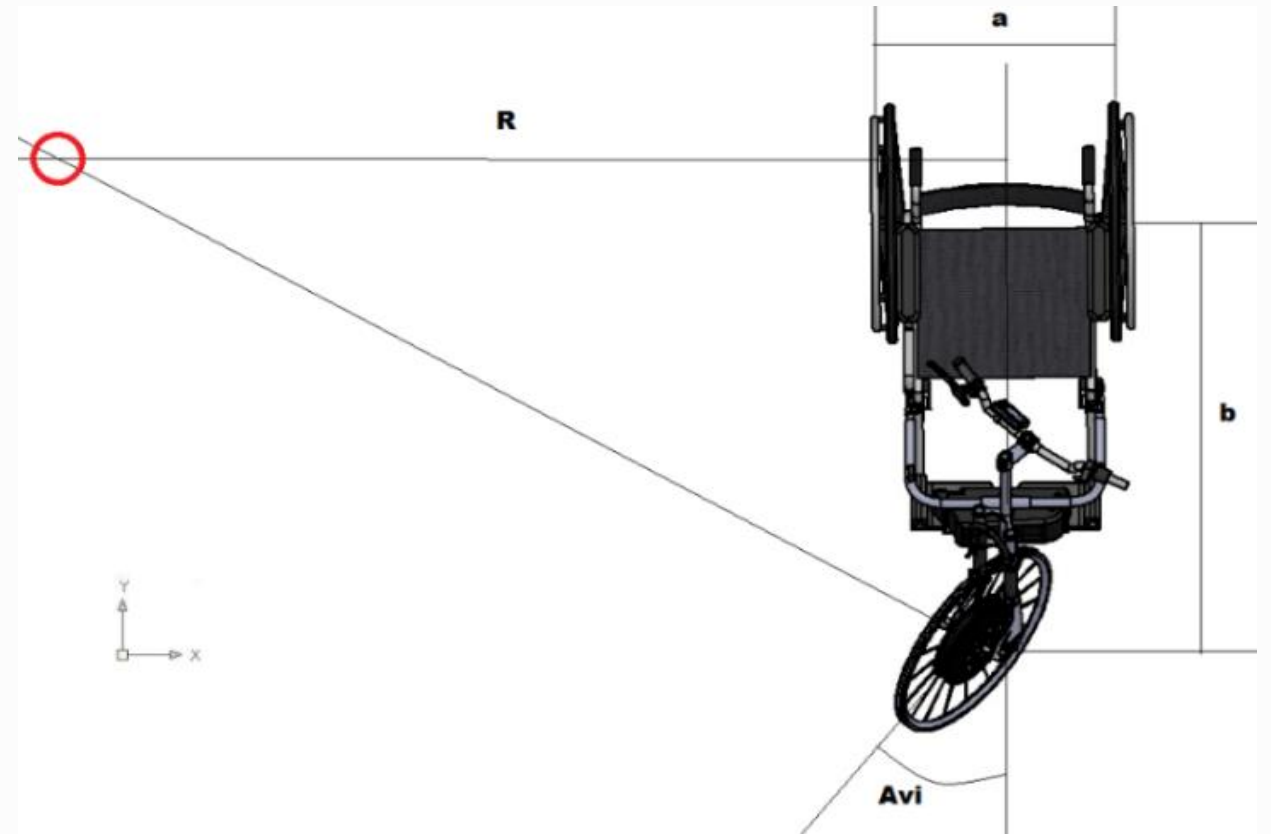
VELOCIDAD DE LÍMITE DE VUELCO Y ÁNGULO DE GIRO

- $V_v = \sqrt{g * r * \frac{A_v}{2 * h_{cg}}}$

- $V_v = 40.12 \frac{Km}{h}$

- $tg(A_{vi}) = \frac{2b}{4b - a}$

- $A_{vi} = 30.08^\circ$





MODELACIÓN Y SIMULACIÓN

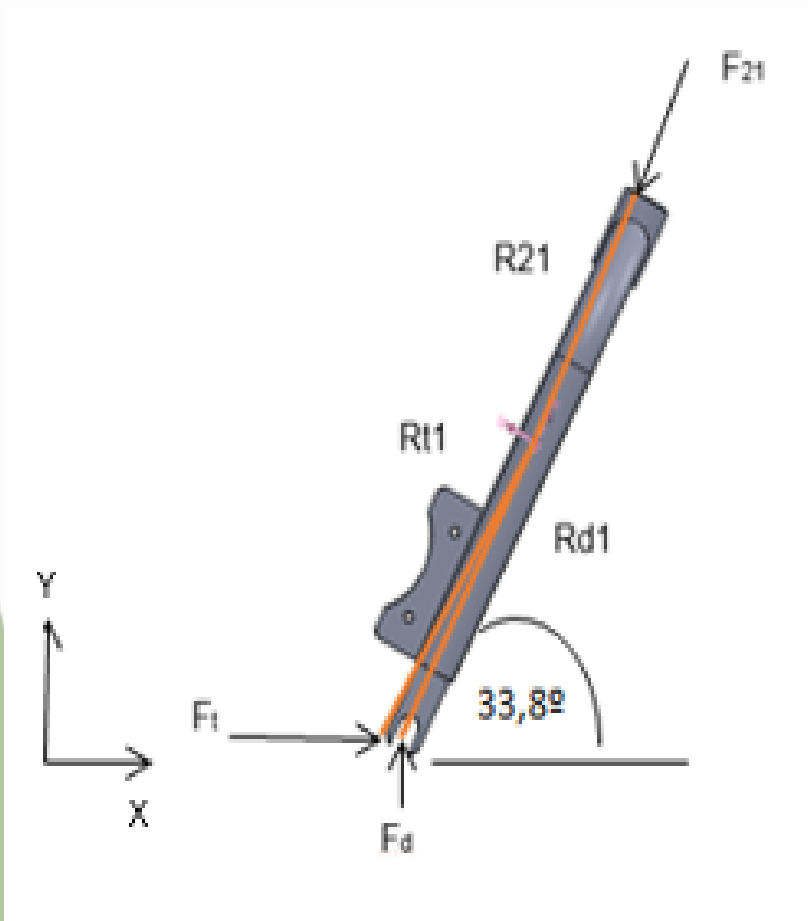
- Con las cargas obtenidas en los cálculos anteriores, se procede a la distribución de las fuerzas en cada elemento que conforma la monocicleta.

$$F_t = W_f = 52,156 [N]$$

$$F_a = W_a = 26.315 [N]$$

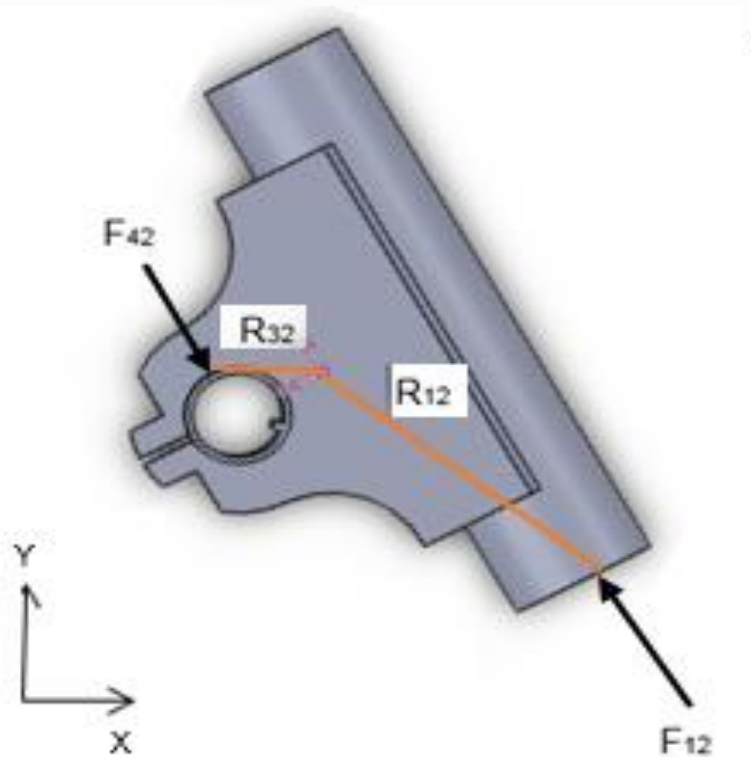
$$F_d = 841,539 [N]$$

REACCIONES EN EL ACOUPLE DE LA LLANTA DELANTERA



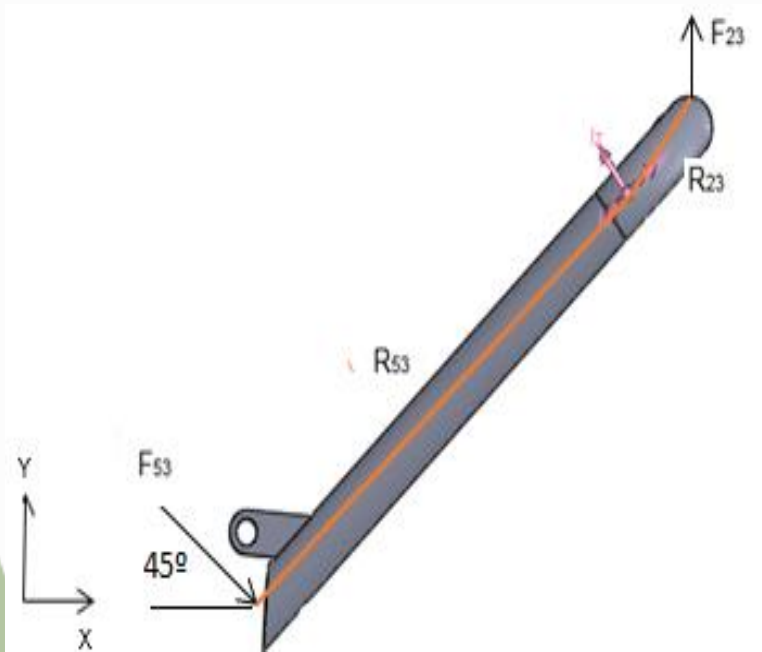
Variable	Valor	Unidad	Comentario
F_{21}	3025,10	N	Fuerza que actúa el elemento 2 en 1
F_d	841,539	N	Fuerza producidas por las masas
F_t	51,156	N	Fuerza de frenado
R_{21}	118,20	mm	Reacción de la fuerza 21
R_{d1}	224,65	mm	Reacción de la fuerza d1
R_{t1}	212,28	mm	Reacción de la fuerza t1
R_{d2}	224,65	mm	Reacción de la fuerza d2
R_{t2}	212,28	mm	Reacción de la fuerza t2

REACCIONES EN LA UNIÓN DEL TRINCHE



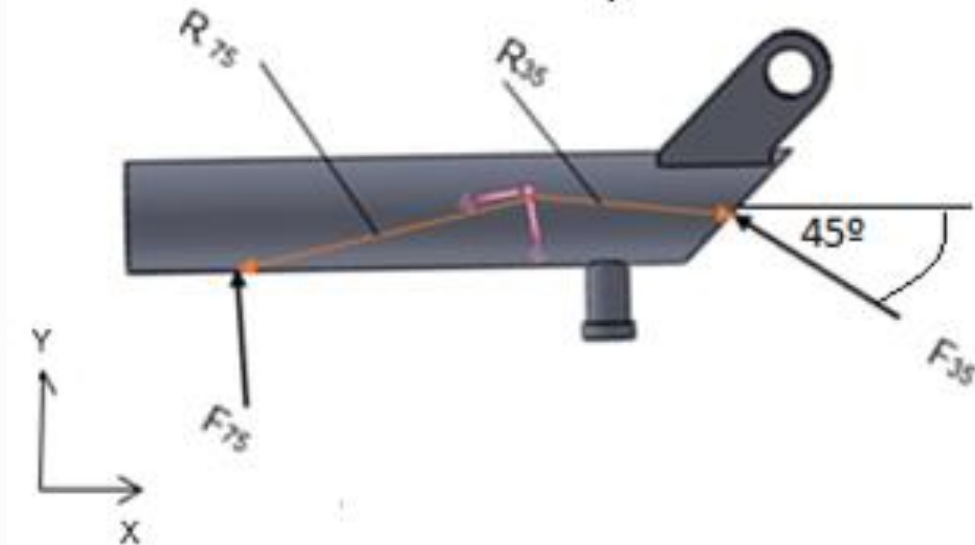
Variable	Valor	Unidad	Comentario
F32	-1512,755	N	Fuerza que actúa el elemento 3 en 2
F42	-1512,755	N	Fuerza que actúa el elemento 4 en 2
F12	-3025,51	N	Fuerza que actúa el elemento 1 en 2
R42	153,79	mm	Reacción de la fuerza 42
R32	153,79	mm	Reacción de la fuerza 32
R12	41,27	mm	Reacción de la fuerza 12

REACCIONES EN LOS TUBOS DEL CHASIS



Variable	Valor	Unidad	Comentario
F23	- 1512,75	N	Fuerza que actúa el elemento 2 en 3
F53	5 2139,35	N	Fuerza que actúa el elemento 5 en 3
R53	251,86	mm	Reacción de la fuerza 53
R23	120,98	mm	Reacción de la fuerza 23

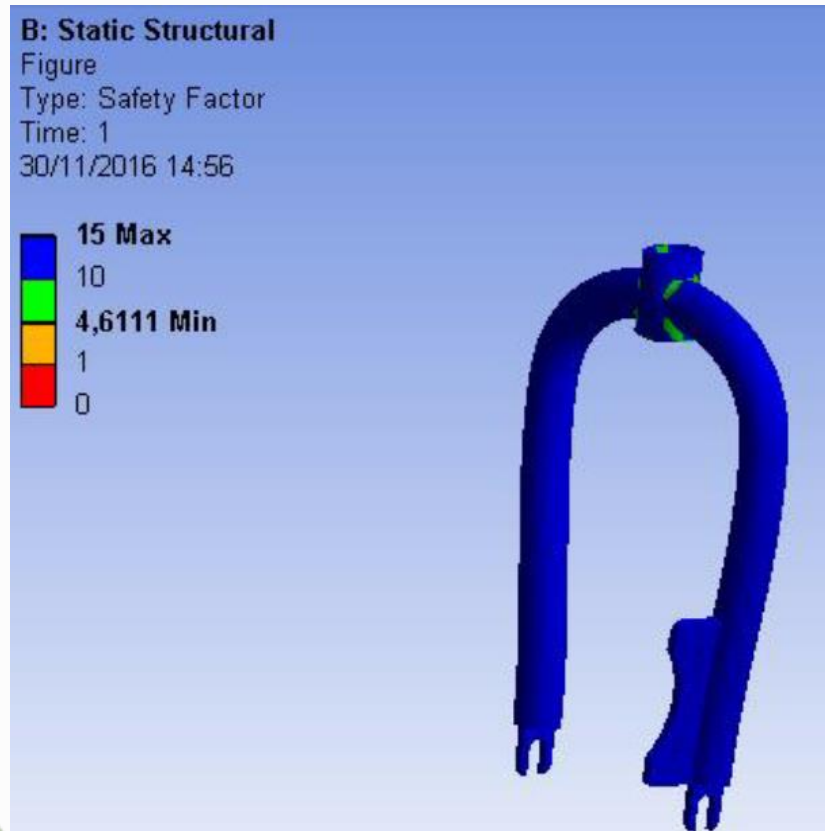
REACCIONES EN LAS CONEXIONES DE SOPORTES



Variable	Valor	Unidad	Comentario
F75	1512,755	N	Fuerza que actúa el elemento 7 en 5
F35	-2139,359	N	Fuerza que actúa el elemento 3 en 5
R35	40,13	mm	Reacción de la fuerza 35
R75	51,9	mm	Reacción de la fuerza 75

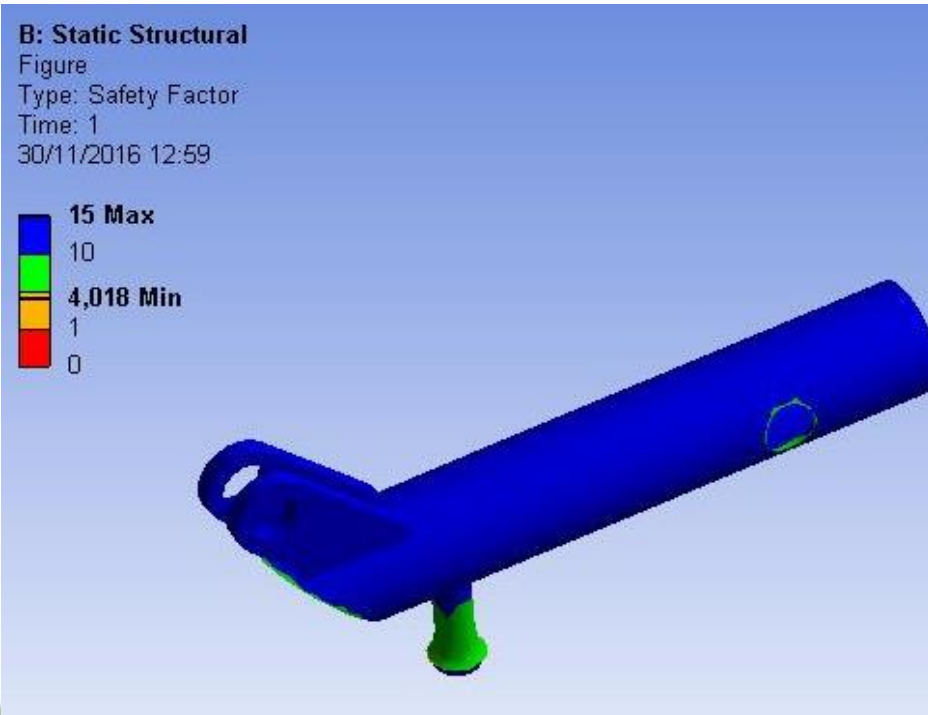


ANÁLISIS DEL TRINCHE



Análisis del Acople	
Nombre de la Prueba	Valor de la prueba
Esfuerzo Equivalente	MAX
	54,217 MPa
	MIN
	1,30e ⁻¹¹ MPa
Esfuerzo Principal Máximo	MAX
	55,794 MPa
	MIN
Deformación Total	-10,536 MPa
	0.0284mm

ACOPLE PARA EL SEGURO DE LA SILLA

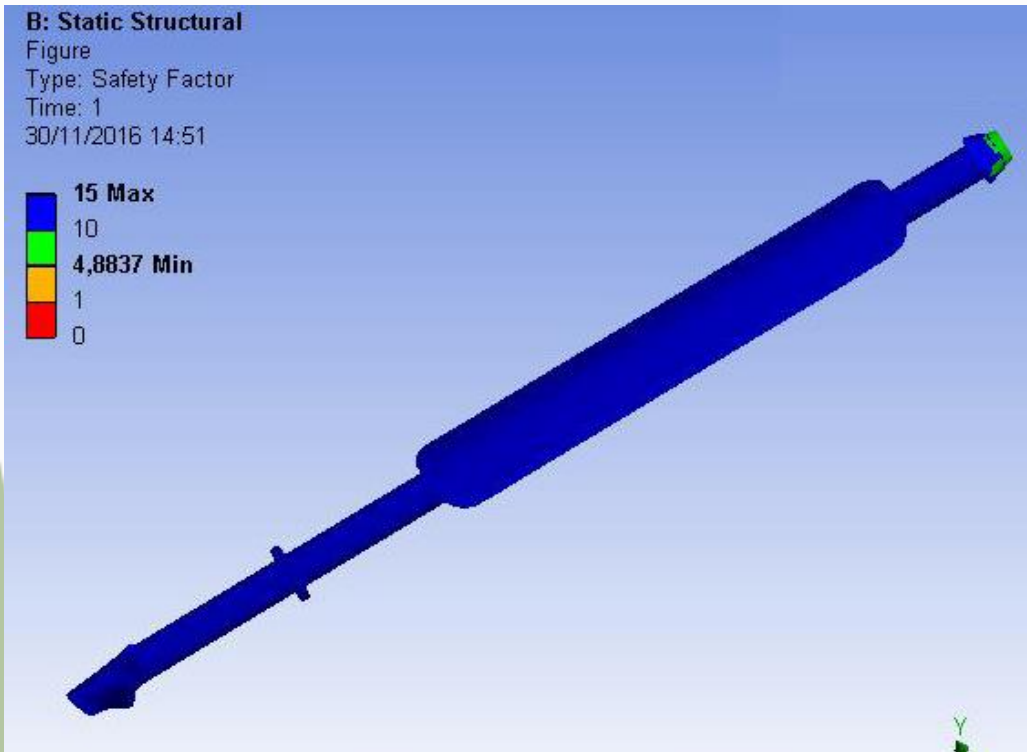


ANÁLISIS SEGURO DE LA SILLA

Nombre de la Prueba	Valor de la prueba
Esfuerzo Equivalente	MAX
	62,72 MPa
	MIN
	8,74e ⁻¹² MPa
Esfuerzo principal máximo	MAX
	74,671 MPa
	MIN
	-7,58 MPa
Deformación Total	0,0027 mm



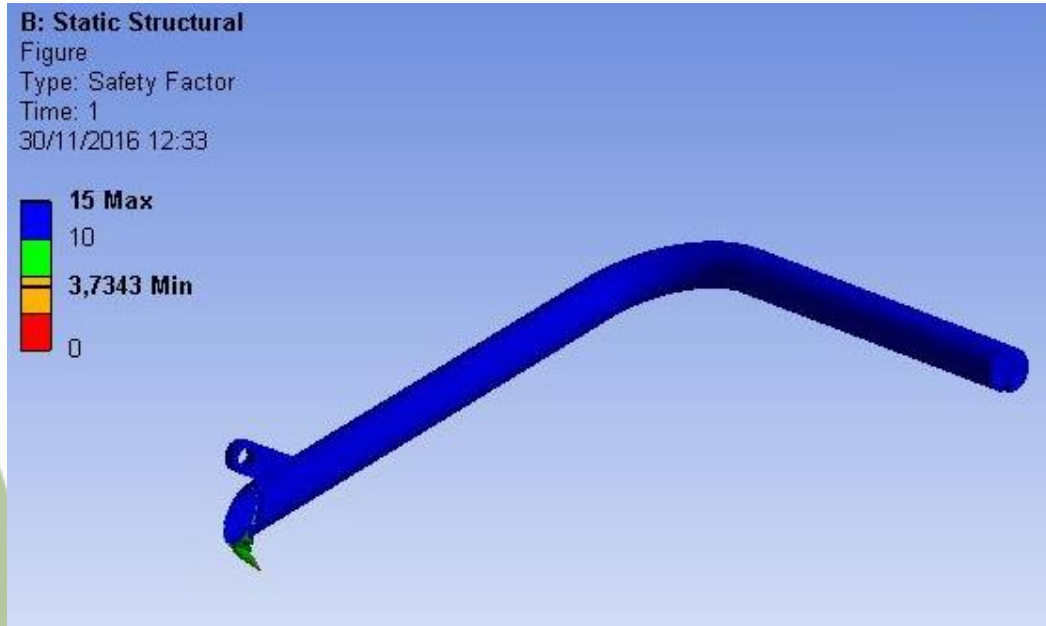
EJE VOLANTE TRINCHE



Nombre de la Prueba	Valor de la prueba
Esfuerzo Equivalente	MAX
	51,191 MPa
	MIN
	5,88 MPa
Esfuerzo principal máximo	MAX
	38,436 MPa
	MIN
	-1,74 MPa
Deformación Total	5,23e-4 mm

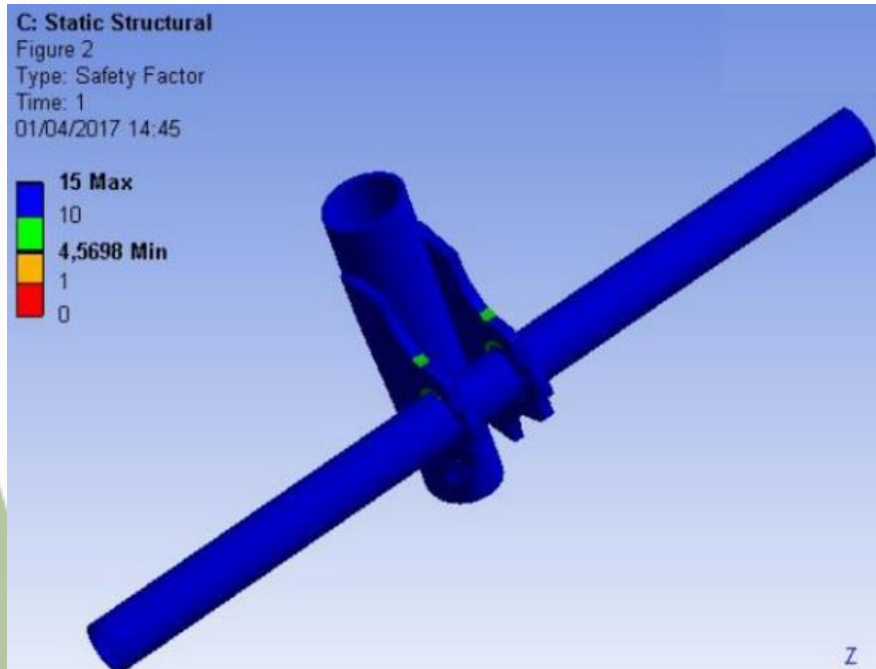


BRAZOS



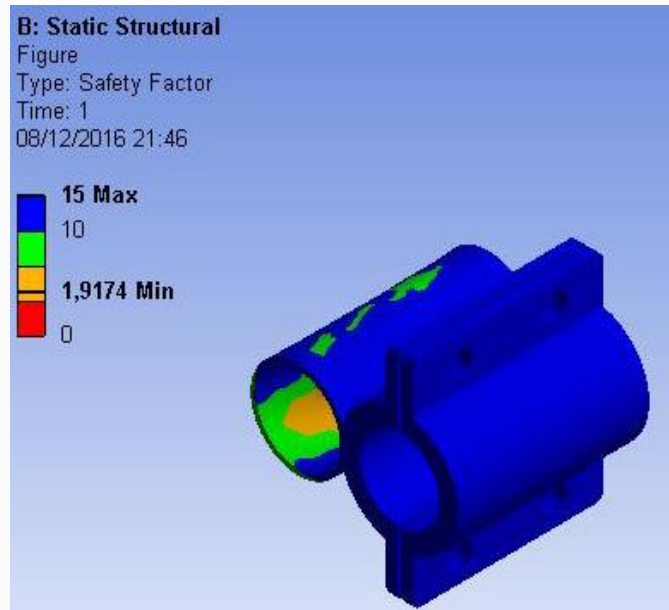
Nombre de la Prueba	Valor de la prueba
Esfuerzo Equivalente	MAX
	66,946 MPa
Esfuerzo Principal Máximo	MIN
	7,43 MPa
Esfuerzo Principal Máximo	MAX
	63,66 MPa
Esfuerzo Principal Máximo	MIN
	-14,61 MPa
Deformación Total	0,00117 mm

UNIÓN DE TRINCHE



Nombre de la Prueba	Valor de la prueba
Esfuerzo Equivalente	MAX
	51,61MPa
Esfuerzo Principal Máximo	MIN
	4,18e ⁻¹² MPa
	MAX
Deformación Total	55,73 MPa
	MIN
	-19,72 MPa
	0,026mm

SEGUROS DE LA SILLA DE RUEDAS



Nombre de la Prueba	Valor de la prueba
Esfuerzo Equivalente	MAX
	138,38 MPa
	MIN
	14,48 MPa
Esfuerzo principal máximo	MAX
	74,76 MPa
	MIN
	-11,148 MPa
Deformación Total	0,0172 mm

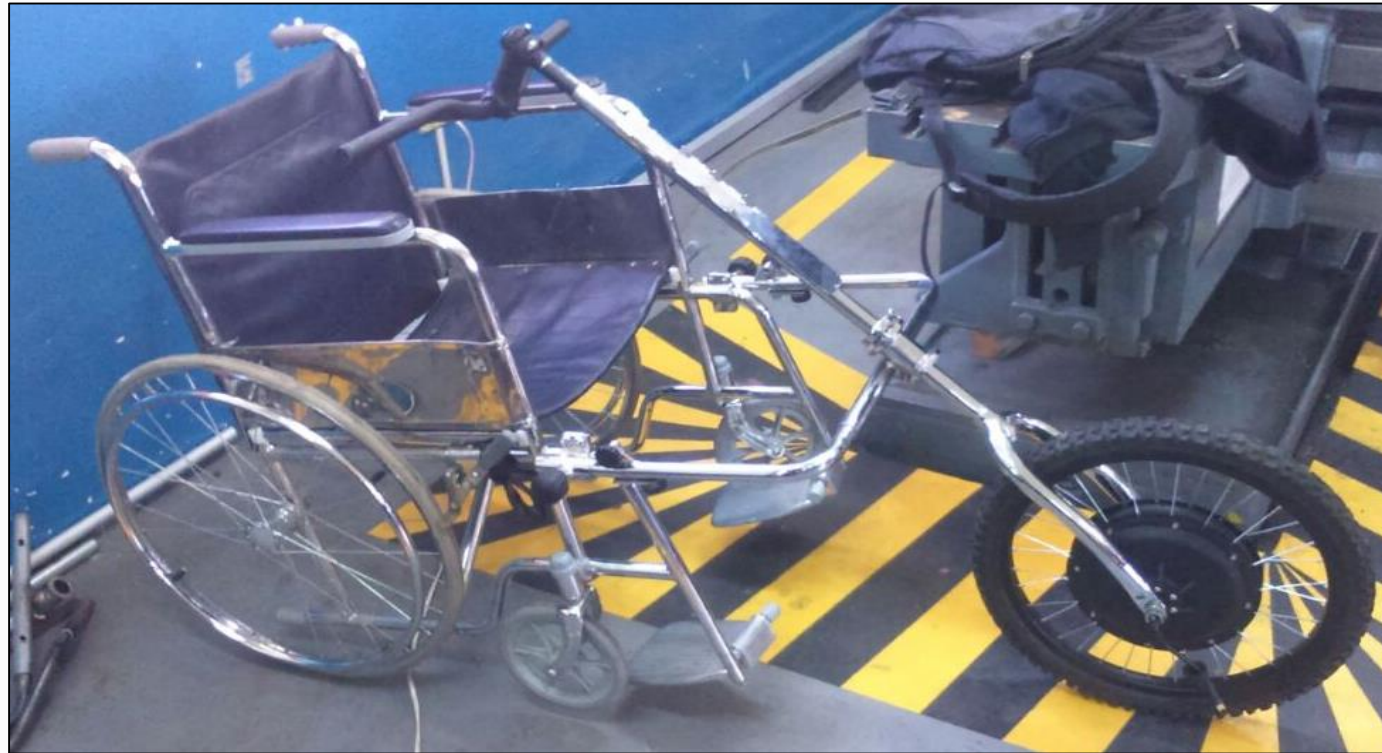


CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO



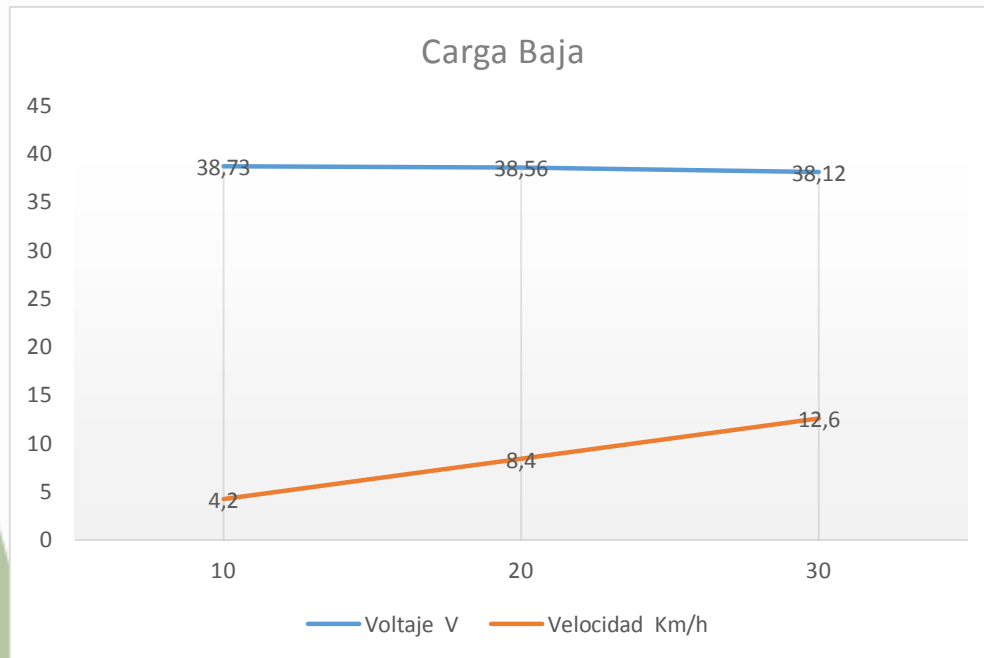


MONOCICLETA

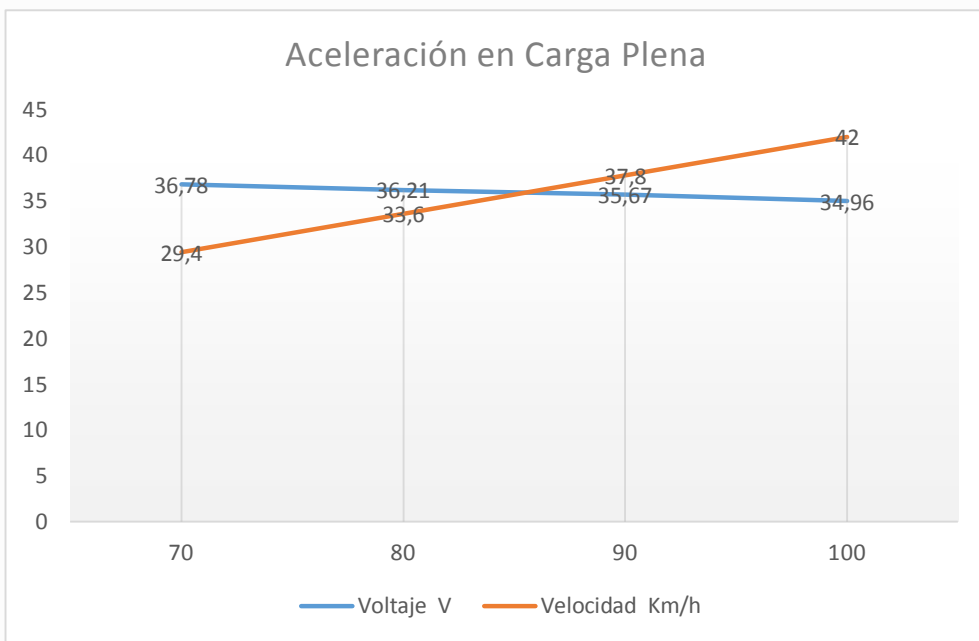




PRUEBAS



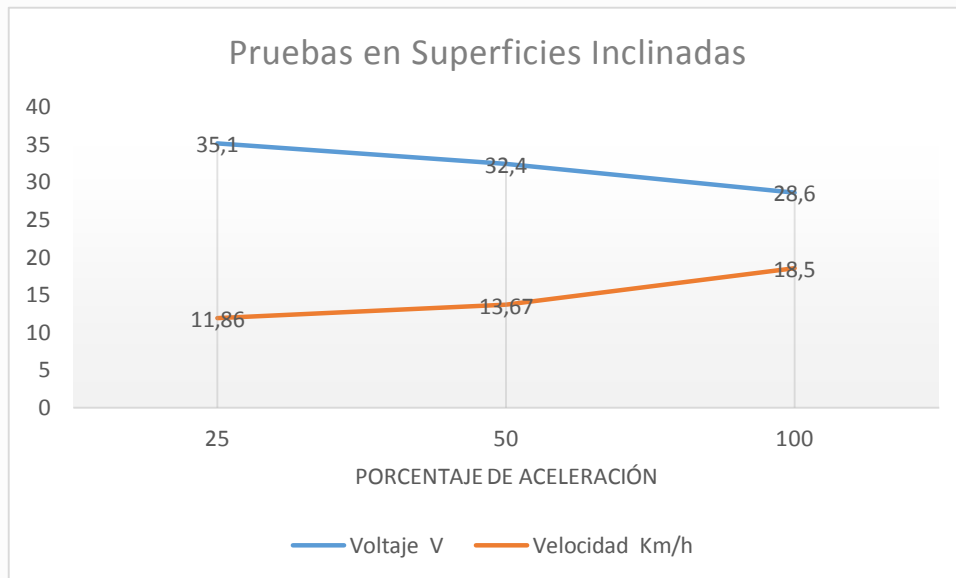
Porcentaje de Aceleración %	Voltaje V	Velocidad Km/h
10	38,73	4,2
20	38,56	8,4
30	38,12	12,6



Porcentaje de Aceleración %	Voltaje V	Velocidad Km/h
70	36,78	29,4
80	36,21	33,6
90	35,67	37,8
100	34.96	42



PRUEBAS EN SUPERFICIES INCLINADAS



Porcentaje de Aceleración %	Voltaje V	Velocidad Km/h
25	35,1	11,86
50	32,4	13,67
100	28,6	18,5



TIEMPO DE ACOUPLE.

Tiempo Condiciones	Tiempo de acople	Tiempo de desacople	Total
Prueba 1 Baja Carga	53	53	106
Prueba 2 Media Carga	49	35	84
Total	102	88	190

Tiempo Condiciones	Tiempo de acople	Tiempo de desacople	Total
Persona 1	43	57	100
Persona 2	49	17	66
Total	92	74	166



PRUEBA DE AUTONOMÍA





CONCLUSIONES:

- La utilización de estos equipos brindan requerimientos como el confort, seguridad, fácil manejo e instalación sencilla; a la vez el prototipo es libre de emisiones de CO₂ las cuales contribuyen con el medio ambiente.
- El sistema eléctrico está constituido de un motor brushless con una potencia de 1000 W y una batería de ION LITIO de 48 V y 12 Ah de acuerdo a un peso máximo de 125 Kg (vehículo y persona).
- La pendiente máxima que puede subir el monociclo es de 8% de inclinación en calzadas de asfalto, adoquín y cemento.
- Con las pruebas realizadas se determinó que a plena carga de la batería es capaz de recorrer 28 Km en 90 minutos en diferentes calzadas a una velocidad promedio de 25 km/h con una persona discapacitada de 96kg.
- La seguridad del Monociclo eléctrico tiene un factor de seguridad de 2.89, logrando así superar el factor establecido en el diseño el cual es de 2. De esta manera se garantiza la seguridad del pasajero, en este caso una persona discapacitada



CONCLUSIONES:

- Con la ayuda del software CAE, se realizó los análisis estáticos y dinámicos a cada una de las piezas, demostrando que el eje horizontal es quien sufre más deformación con el 0,026mm el cual brinda una garantía al momento de la construcción.
- El monociclo cumple con los parámetros de diseño dinámicos y estáticos para una persona parapléjica, dándonos como resultado implementar un sistema eléctrico de propulsión con un motor eléctrico de 1000 W de potencia efectiva el cual alcanzara una velocidad máxima de 40 km/h con un voltaje de 39 voltios y 12 Ah para su funcionamiento.
- El prototipo alcanza su velocidad máxima de 40 km/h en 18.3 segundos recorriendo 500 metros, la cual es igual a la velocidad teórica de 40 km/h, manteniendo la seguridad de la persona con capacidades reducidas.



RECOMENDACIONES:

- Para el funcionamiento óptimo del monociclo de mando eléctrico, la batería de Ion litio deberá estar totalmente cargada, con la verificación del rango de carga de 12 A de carga para poder alargar la vida útil de la batería.
- Se deberá hacer un buen ajuste de los elementos móviles que están en los acoples y el sistema de elevación para evitar posibles accidentes.
- Revisar el sistema de frenos, la tensión en el cable, el manubrio se debe accionar de una manera suave, la pastilla de freno y el disco tiene que tener toda su superficie libre de impurezas o grasas que limiten su capacidad de frenado
- Revisar el sistema de dirección, una vez seleccionada la altura del manubrio debe asegurarse el perno de seguro, el manubrio tiene que tener la protección de goma para las manos y esta no debe chocar con los brazos de la silla de ruedas



RECOMENDACIONES:

- Revisar las conexiones eléctricas de tal forma que cuando el monociclo se encuentre en movimiento estas no se desconecten y en caso de lluvia no ingrese agua en las conexiones y de esta forma evitar posibles accidentes
- Se recomienda una tolerancia IT 15 para los ejes de los brazos de esta manera una vez cromado se dejara un ajuste de 24.5k15 que es un ajuste medio



“Todo parece imposible
hasta que se hace”

- Nelson Mandela



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

GRACIAS