



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PATINETE ELÉCTRICO CON CONTROL
DE VELOCIDAD Y SISTEMA DE FRENADO PARA SU USO COMO MEDIO DE
TRANSPORTE EN CIUDADES**

DANIEL FELIPE ARIAS GONZÁLEZ

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD DE INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA, COLOMBIA
2020**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PATINETE ELÉCTRICO CON CONTROL
DE VELOCIDAD Y SISTEMA DE FRENADO PARA SU USO COMO MEDIO DE
TRANSPORTE EN CIUDADES**

DANIEL FELIPE ARIAS GONZÁLEZ

**Tesis presentada como requisito parcial para optar al título de:
Ingeniero Mecatrónico**

**Línea de Investigación:
Diseño Mecatrónico**

**Director (a):
JOHANN BARRAGÁN GÓMEZ**

**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE BUCARAMANGA
FACULTAD INGENIERÍAS
INGENIERÍA MECATRÓNICA
BUCARAMANGA, COLOMBIA
2020**

RESUMEN

El aumento de los niveles de contaminación por emisiones de gases contaminantes por parte de vehículos además de la congestión vehicular generada por el número de automóviles es alarmante. Como propuestas se proponen los vehículos eléctricos que representan una solución a esta problemática. Se selecciona el patinete eléctrico debido a su eficiencia, y demás factores que son una solución directa a las problemáticas planteadas. Este trabajo de grado se centra en el diseño y construcción de un patinete eléctrico, partiendo desde la construcción de su chasis, hasta la implementación de instrumentación para su funcionamiento. Se diseña un chasis mecánica y estructuralmente resistente analizado por software CAD, luego según cálculos se determina la instrumentación como batería y motor. Se utiliza una suspensión por encapsulado de un eje centro flotante entre barras de Poliuretano. Se realiza la construcción y ensamblaje de componentes y luego se hace la validación del prototipo funcional, en donde se obtienen curvas de velocidad del patinete en operación. Finalmente, en los anexos del documento están los planos de construcción, planos eléctricos videos de validación, matriz QFD y manual de usuario y operación.

ABSTRACT

The increase in pollution levels due to polluting gas emissions by vehicles in addition to the traffic congestion generated by the number of cars is alarming. Electric vehicles that represent a solution to this problem are proposed as proposals. The electric scooter is selected due to its efficiency, and other factors that are a direct solution to the problems raised. This degree work focuses on the design and construction of an electric scooter, starting from the construction of its chassis, to the implementation of instrumentation for its operation. A mechanically and structurally resistant chassis is designed, analyzed by CAD software, then according to calculations the instrumentation such as battery and motor are determined. A suspension by encapsulation of a floating center axis between polyurethane bars is used. The construction and assembly of components is carried out and then the functional prototype is validated, where speed curves of the scooter in operation are obtained. Finally, in the annexes of the document are the construction drawings, electrical drawings, validation videos, QFD matrix and user and operation manual.

NOTA DE APROBACIÓN

Proyecto de grado titulado "Diseño y construcción de un patinete eléctrico con control de velocidad y sistema de frenado para su uso como medio de transporte en ciudades", presentado por el estudiante Daniel Felipe Arias González para optar por el título de ingeniero mecatrónico



Firma director

M. Sc. Johann Barragán Gómez



Firma evaluador

M. Sc. Hernando González Acevedo



Firma evaluador

M. Sc. Oscar Eduardo Rueda Sánchez

CONTENIDO

	Pág.
INTRODUCCIÓN	10
1. OBJETIVOS.....	11
1.1 OBJETIVO GENERAL	11
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	11
2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	12
2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	12
2.2 JUSTIFICACIÓN.....	12
2.3 TECNOLOGÍAS ACTUALES	13
3. MARCO TEÓRICO	15
3.1 DISEÑO MECÁNICO	15
3.2 ANÁLISIS RESPUESTA VIBRATORIA.....	16
3.3 SUSPENSIÓN POR EJES DE TORSIÓN EN GOMA.....	17
3.4 MOTOR BRUSHLESS DC	19
3.5 CONTROLADOR.....	21
3.6 SISTEMA DE FRENADO	23
3.6.1 Frenado de Disco.....	23
3.6.2 Freno Regenerativo	24
3.7 RUEDAS	26
3.8 DASHBOARD	28
3.9 BATERÍA.....	29
4. MÉTODOS.....	33

4.1 METODOLOGÍA	33
5. RESULTADOS ESPERADOS	35
6. DESARROLLO DEL PROYECTO	36
6.1 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL CHASIS	36
6.1.1 Análisis de Esfuerzos del Chasis	38
6.2 SISTEMA DE SUSPENSIÓN.....	39
6.2.1 Simulación Sistema de Suspensión	43
6.3 SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN.....	45
6.3.1 Selección Motor	45
6.3.2 Selección Controlador.....	50
6.3.3 Selección Batería	51
7. CONSTRUCCIÓN.....	53
8. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ELÉCTRICO	63
8.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO CON FRENO REGENERATIVO.....	64
9. PRESUPUESTO	65
10. VALIDACIÓN	66
10.1 PRUEBAS DE OPERACIÓN	66
10.2 CÁLCULOS DE CARGA	69
11. FICHA TÉCNICA	70
12. CONCLUSIONES	71
BIBLIOGRAFÍA.....	73
ANEXOS	79

LISTA DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1. Límites de fluencia aluminio forjado	16
Tabla 2. Tabla baterías desventajas y ventajas.	30
Tabla 3. Tabla valores de potencia requerida por motor.....	49
Tabla 4. Tabla de presupuesto del proyecto.	65
Tabla 5. Pruebas de Operación Viaducto provincial la novena.....	66
Tabla 6. Pruebas de Operación Edificio San Francisco	67
Tabla 7. Cálculos de carga	69
Tabla 8. Datos técnicos del prototipo	70

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1. Patinete Xiaomi M365.....	13
Figura 2. Patinete Dualtron.	14
Figura 3. Sistema de suspensión en patinete.	17
Figura 4. Sistema de suspensión por torsión.....	18
Figura 5. Sistema de suspensión por torsión en moto.	18
Figura 6. Motor brushless DC.	19
Figura 7. Sistema de control de alimentación Motor brushless DC.....	20
Figura 8. Conmutaciones Motor brushless DC.	21
Figura 9. Control PID lazo cerrado.....	22
Figura 10. Freno de disco.	24
Figura 11. Esquema funcionamiento frenado regenerativo.....	24
Figura 12. Implementación freno regenerativo en patinete.	25
Figura 13. Rueda 10" Xiaomi M365.	27
Figura 14. Relación tamaño de rueda obstáculos.....	28
Figura 15. DashBoard Xiaomi M365.	28
Figura 16. Circuito indicador estado de batería.	29
Figura 17. Batería 60V 20 Ah.....	32
Figura 18. Metodología en v.	34
Figura 19. Ideas de configuraciones geométricas patinete.	37
Figura 20. Configuración geométrica seleccionada	37
Figura 21. Enmallado chasis.....	38

Figura 22. Análisis por elementos finitos.....	39
Figura 23 Simulación de esfuerzos resorte torsional.	40
Figura 24. Respuesta análisis de vibraciones sin amortiguador.	40
Figura 25. Respuesta análisis de vibraciones con amortiguador.	41
Figura 26. Ensamble suspensión delantera CAD.	41
Figura 27. Estudio y análisis de movimiento, simulación de vibraciones respuesta.	42
Figura 28. Respuesta Vibratoria – Suspensión.....	43
Figura 29. Sistema de suspensión CAD.	43
Figura 30. Análisis de elementos finitos de mordaza de perfiles y poliuretano.	44
Figura 31. Análisis de elementos finitos eje de suspensión.....	44
Figura 32. Diagrama de cuerpo libre patinete.	45
Figura 33. Motor brushless 1600W 60V.....	50
Figura 34. Controlador 1600W 60V.	51
Figura 35. Batería Seleccionada.....	52
Figura 36. Chapa metálica base patinete.....	53
Figura 37. Corte por plasma de lámina acero INOX.	54
Figura 38. CAD Corte por plasma de lámina acero INOX.....	54
Figura 39. Soldadura de soportes estructurales con argón.....	55
Figura 40. CAD suspensión y prototipo físico.	56
Figura 41. Corte por erosionado pieza hexagonal.	56
Figura 42. CAD avance estructural chasis.	57
Figura 43. Avance estructural chasis.	57

Figura 44. Mecanismo de rodamientos de bola	58
Figura 45. CAD Pistas de dirección y rodamientos.....	59
Figura 46. Montaje pistas de dirección y barra de suspensión.	60
Figura 47. Montaje CAD rueda delantera.....	61
Figura 48. Montaje CAD rueda trasera.	61
Figura 49. CAD Final.	62
Figura 50. Diagrama de cableado del patinete.	63
Figura 51. Diagrama esquemático con freno regenerativo.	64
Figura 52. Validación V vs. T	67
Figura 53. Validación plano inclinado V vs. T	68

INTRODUCCIÓN

Los problemas de movilidad y contaminación en las ciudades necesitan ser solucionados, con base en esto se plantea la idea de generar una solución que reduzca tiempos de desplazamiento y problemas generados por gases contaminantes. ¿Por qué el patinete es una buena opción para desarrollar?, ¿Cuánto se va a reducir el tiempo de desplazamiento y la emisión de gases con esta propuesta?

Según la organización INRIX, compañía encargada de estudiar la movilidad en el mundo y buscar soluciones inteligentes, Colombia es el tercero en la lista de países con peor tráfico solo superado por Tailandia e Indonesia. En este estudio¹ realizado en el año 2017 se hicieron mediciones globales del número promedio de horas que permanecen los conductores en trancones, en Colombia son 49 horas anuales, aunque un valor real es un aproximado de 547 horas anuales con una media de 1,5 horas diarias perdidas en tráfico. El gran número de vehículos que recorren las principales ciudades del país hacen tediosos los trayectos que por lo general no son tan extensos y pueden realizarse con mayor facilidad. Esto plantea el interrogante de cómo se podrían realizar los desplazamientos en un menor tiempo, con un gasto menor de energía y sin generar gases contaminantes.

Teniendo en cuenta la problemática planteada y la acogida que está recibiendo el patinete eléctrico como alternativa de movilidad, este proyecto de grado se centra en el diseño y la construcción de un patinete impulsado con motor eléctrico el cual contará con control de velocidad y sistema de frenado, que busca mejorar en primera instancia la movilidad de los estudiantes universitarios para desplazamientos desde su casa al campus o dentro del mismo campus.

¹ INRIX. Infografía del Cuadro de Mando de Tráfico Global INRIX. [En Línea]. INRIX. 2017. Disponible en: <http://inrix.com/resources/inrix-2017-global-traffic-scorecard/>

1. OBJETIVOS

1.1 OBJETIVO GENERAL

Desarrollar un patinete eléctrico con autonomía de 30 km, control de velocidad y sistema de frenado regenerativo.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Diseñar chasis plegable y el carenado del patinete eléctrico.
- Simular la respuesta vibratoria del patinete eléctrico y seleccionar la suspensión y el sistema de frenado regenerativo de acuerdo con criterios de ingeniería.
- Seleccionar el motor eléctrico con control de velocidad, batería y sistema de recarga de acuerdo con criterios de ingeniería.
- Seleccionar la instrumentación para monitorear el estado de batería, velocidad e información del patinete.
- Validar autonomía del patinete, velocidad promedio alcanzada, y distancia mínima de frenado.

2. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

2.1 DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Los problemas de movilidad y contaminación en las ciudades necesitan ser solucionados, con base en esto se plantea la idea de generar una solución que reduzca tiempos de desplazamiento y problemas generados por gases contaminantes. ¿Por qué el patinete es una buena opción para desarrollar?, ¿Cuánto se va a reducir el tiempo de desplazamiento y la emisión de gases con esta propuesta?

2.2 JUSTIFICACIÓN

Actualmente existen muchas alternativas amigables con el ambiente que buscan mejorar la movilidad en las ciudades, entre las cuales destacan los vehículos impulsados por motor eléctrico. Como nueva tendencia se está implementando el patinete eléctrico en países europeos como Francia, Bélgica y Holanda. Estados Unidos es otro país que ha apostado por estos nuevos medios de transporte. El periódico El País destaca en un artículo², que en San Francisco, a principios de Marzo de 2018, se introdujeron los patinetes eléctricos que tienen como ventaja competitiva el bajo costo de operación y la posibilidad de poderlos usar sin una licencia de conducción. En Colombia la revista Dinero publicó un artículo³ destacando la llegada de este vehículo al mercado, siendo Rappi el principal impulsador.

² JIMÉNEZ CANO, Rosa. Un ejército de patinetes eléctricos toma San Francisco, Estados Unidos. [En Línea]. Periódico El País. 11 de Abril de 2018. Disponible en: https://elpais.com/tecnologia/2018/04/08/soy_techie/1523151553_387405.html

³ REVISTA DINERO. Rappi inicia el “boom” de las patinetas eléctricas en Colombia. [En Línea]. Revista Dinero. Noviembre 10 de 2018. Disponible en: <https://www.dinero.com/emprendimiento/articulo/los-negocios-de-patinetas-electricas-en-colombia/263113>

Con lo anterior en mente se propone este proyecto de grado como una alternativa a los actuales medios de transporte, con el valor agregado de la baja contaminación, al ser una tecnología impulsada eléctricamente. Teniendo en cuenta que en las principales capitales de varios países del mundo están teniendo buen recibimiento por el público.

2.3 TECNOLOGÍAS ACTUALES

Los patinetes actuales cuentan con características distintivas de valor agregado, el modelo M365 de la compañía XIAOMI cuenta con los siguientes aspectos: El motor Brushless es de 250W de potencia, una batería de iones de Litio de 7800 mAh con potencia de 280W. Con estos atributos de motor y batería se genera una velocidad máxima de 25 km/h, una autonomía de 30 Km y la subida de pendientes de hasta 16 grados con una carga máxima de 120 Kg.

Figura 1. Patinete Xiaomi M365.



Fuente: NEWSBOOK. Patinete Xiaomi M365. [En Línea]. T.a.i. Editorial S.A. 2019. Disponible en: <https://newsbook.es/tag/patinete-electrico>

El patinete Dualtron es otra referencia de productos actuales en el mercado que cuenta con las mejores características de un patinete más robusto, de mayor potencia y funcionalidades adicionales. Este modelo tiene motor en llanta delantera

y trasera cada uno de 1500W de potencia, una batería de 60V y 20Ah, sistemas de suspensión de última generación, mayor autonomía por la capacidad de la batería. Los controladores que utiliza son desarrollados en USA por la empresa minimotors, encargada también del desarrollo de los motores brushless que utiliza el patinete, tienen también un sistema de monitoreo del estado del patinete con funcionalidades como estado de carga de batería, velocidad, modos diferentes de manejo como modo crucero o programación de velocidad de motor en diferentes niveles.

Figura 2. Patinete Dualtron.



Fuente: MINI MOTOR SUSA. Scooter Eléctrico Dualtron Thunder. [En Línea]. MINI MOTOR SUSA. 2019. Disponible en: <https://minimotorsusa.com/products/dualtron-thunder>

3. MARCO TEÓRICO

3.1 DISEÑO MECÁNICO

Los requerimientos de resistencia establecen que el chasis esté diseñado de tal forma que soporte las cargas que actúen sobre él. Las fallas en la función de resistencia pueden ser causadas por fatiga del material, por esta razón se debe hacer un correcto análisis estático y dinámico del cual se obtienen características del material. Puntos críticos para destacar:

Límite de fluencia: Punto en el cual la deformación se incrementa rápidamente sin un incremento proporcional en el esfuerzo. La resistencia de fluencia S_y es la tensión a la cual el material presenta una deformación permanente.

Resistencia última: Determina el esfuerzo o tensión máxima que puede resistir un material antes de producirse la fractura de este, denominado de la forma S_{ut} .

Factor de seguridad: Con el fin de evitar fallas estructurales, las cargas que una estructura permite deben ser mayores a las cargas a las que estará sometida, en otras palabras la resistencia real de una estructura debe ser mayor que la resistencia requerida.

$$N = \frac{S_y}{\sigma_1}$$

Ec 1. Ecuación por falla estática.

$$R = \frac{\sigma_{min}}{\sigma_{max}}$$

Ec 2. Ecuación falla por fatiga.

$$\sigma = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2 + (\sigma_y - \sigma_z)^2 + (\sigma_z - \sigma_x)^2 + 6(\tau_{xy}^2 + \tau_{yz}^2 + \tau_{zx}^2)}{2}}$$

Ec 3. Esfuerzo efectivo Von Misses.

Para una correcta selección de material a trabajar es necesario tener en cuenta tablas de propiedades mecánicas, con factores determinantes al momento de trabajar el material o de especificar límites de operación. En la tabla 1 se muestra un ejemplo de la tabla de propiedades mecánicas de aleaciones de aluminio forjado.

Tabla 1. Límites de fluencia aluminio forjado

TABLA 2 Propiedades mecánicas de algunas aleaciones de aluminio forjado
 Datos provenientes de varias fuentes. * Valores aproximados. Consulte los fabricantes de los materiales para información más precisa

Aleación de aluminio forjado	Estado	Límite elástico a la tensión (convencional al 2%)		Resistencia máxima a la tensión		Resistencia a la fatiga a 5E8 ciclos		Elongación en 2 in %	Dureza Brinell -HB
		kpsi	MPa	kpsi	MPa	kpsi	MPa		
1100	recocido en hoja	5	34	13	90			35	23
	laminado en frío	22	152	24	165			5	44
2024	recocido en hoja	11	76	26	179			20	-
	tratamiento térmico	42	290	64	441	20	138	19	-
3003	recocido en hoja	6	41	16	110			30	28
	laminado en frío	27	186	29	200			4	55
5052	recocido en hoja	13	90	28	193			25	47
	laminado en frío	37	255	42	290			7	77
6061	recocido en hoja	8	55	18	124			25	30
	tratamiento térmico	40	276	45	310	14	97	12	95
7075	recocido en barra	15	103	33	228			16	60
	tratamiento térmico	73	503	83	572	14	97	11	150

* Properties of Some Metals and Alloys, International Nickel Co., N.Y., Metals Handbook, American Society for Metals, Materials Park, Ohio.

Fuente: INTERNATIONAL NICKEL COMPANY. Propiedades de los Materiales. Tabla 2: Propiedades Mecánicas de Aleaciones de Aluminio Forjado. [En Línea]. IngeMecánica. 2018. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html#tabla2>

3.2 ANÁLISIS RESPUESTA VIBRATORIA

Como factor importante en la selección del sistema de suspensión se toma a consideración el impacto de la respuesta vibratoria del sistema sobre el cuerpo humano. Una vibración mecánica está definida como el movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio, sin que se produzca desplazamiento

"neto" del mismo. Si el objeto que está vibrando entra en contacto con el cuerpo humano produce diversos efectos que dependen de las características de la vibración. Para vibraciones de hasta 3 Hz el cuerpo se mueve como una unidad, a medida que aumenta la frecuencia de vibración, la respuesta de diferentes órganos va variando. Como selección para el sistema de suspensión se analizan las vibraciones clasificadas como "de baja frecuencia" comprendidas entre 1 - 20 Hz. El sistema de suspensión está constituido por los elementos que unen al chasis con las ruedas y permiten absorber el impacto de las irregularidades del terreno sobre el que se transita. También está relacionado con la estabilidad el confort y la maniobrabilidad del vehículo. Cumple la función de mantener al vehículo a la altura correcta durante la conducción, reduce el efecto de fuerzas de choque, mantiene una correcta alineación de las ruedas, soporta el peso del vehículo, controla la dirección y mantiene los neumáticos en contacto con la carretera.

Figura 3. Sistema de suspensión en patinete.



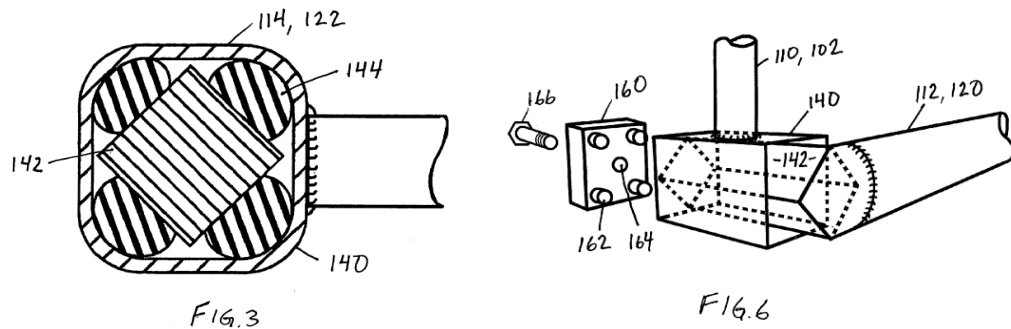
Fuente: KONTAKI ELECTRIC SCOOTER. Beneo Vector 1000w Electric Scooter, 48V. [En Línea]. MUZIKER. 2020. Disponible en: <https://www.muziker.si/beneo-vector-1000w-electric-scooter-48v>

3.3 SUSPENSIÓN POR EJES DE TORSIÓN EN GOMA

Este sistema de suspensión es utilizado en tráileres y en vehículos pesados, respondiendo como sistema de amortiguación efectivo y con una respuesta suave.

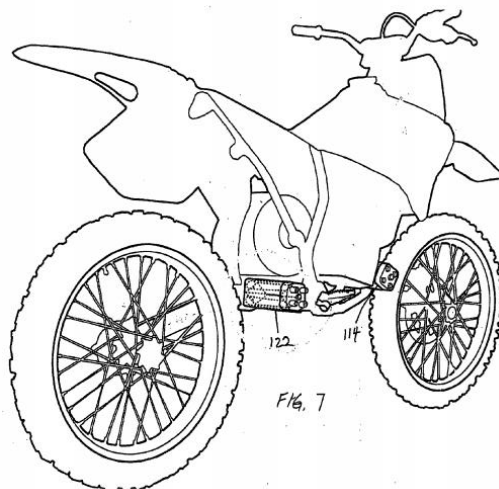
El principio en el que se basa es el de un eje de torsión que se encuentra suspendido y aprisionado por unos cinturones de un polímero resistente el cual permite la rotación del eje pero a su vez restringe el movimiento de manera suave y lo retorna a su estado inicial. En las siguientes figuras se puede apreciar gráficamente el funcionamiento de este sistema de suspensión.

Figura 4. Sistema de suspensión por torsión



Fuente: CLAIMS PATENT SERVICES. Motocicleta con absorción de impactos por torsión. Estados Unidos. [En Línea]. Google Patentes. 2009. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20100259026A1/en?q=us2010%2f0259026+A1>

Figura 5. Sistema de suspensión por torsión en moto.



Fuente: CLAIMS PATENT SERVICES. Motocicleta con absorción de impactos por torsión. Estados Unidos. [En Línea]. Google Patentes. 2009. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20100259026A1/en?q=us2010%2f0259026+A1>

3.4 MOTOR BRUSHLESS DC

Motores brushless DC (sin escobillas): En los motores convencionales las escobillas hacen contacto con el estator y generan desgaste y pérdida de energía por fricción y calentamiento. En los motores brushless esto no sucede debido a que cuando se energizan, actúan los polos como un electroimán generando movimiento sin fricción alguna. Estos motores tienen dos entradas que energizan al estator y la otra entrada está conectada al ESC (Electronic Speed Controller) que detecta por medio de un sensor cuando es necesario cambiar la polaridad de los imanes y de esta manera se controla la velocidad del motor Brushless.

Figura 6. Motor brushless DC.

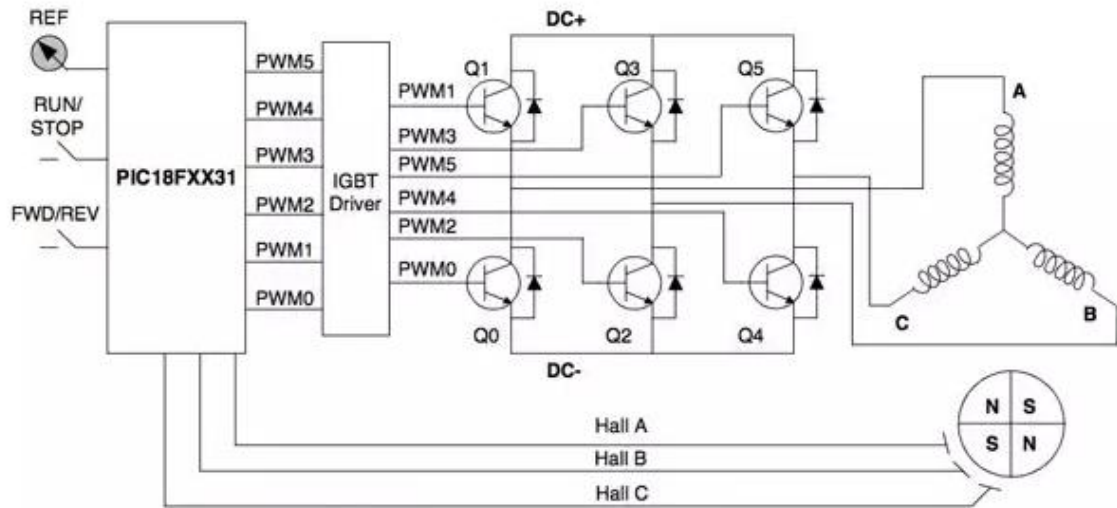


Fuente: PROYECTOS WIKIMEDIA. Motor eléctrico sin escobillas. [En línea]. Enciclopedia Wikipedia. 2013. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico_sin_escobillas

En el sistema de control se observan las 3 bobinas del motor con conexión en Y, así mismo un microcontrolador, un controlador, transistores bipolares de puerta aislada y un inversor trifásico. A la salida del microcontrolador se incluyen señales PWM, las cuales determinan el promedio de voltaje y corriente que pasa por las bobinas y por tanto velocidad y torque del motor. El motor utiliza 3 sensores de

efecto Hall llamados A, B y C los cuales indican la posición del rotor el cual a su vez utiliza dos pares de imanes para generar el flujo magnético necesario.

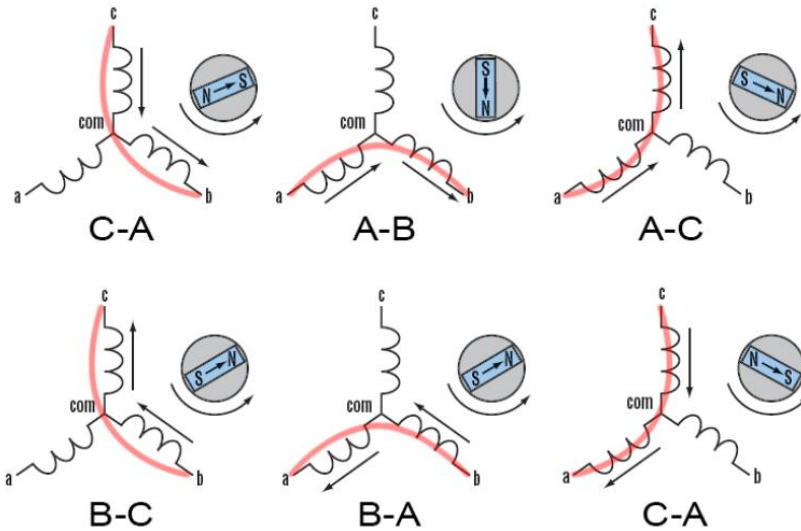
Figura 7. Sistema de control de alimentación Motor brushless DC.



Fuente: PÉREZ DE LAZÁRRAGA, Gonzalo Solchaga y CORRES SANZ, Jesús María. Control motor brushless sensorless. ((Trabajo Fin de Grado). E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicaciones. Universidad Pública de Navarra. Junio de 2015. Disponible en: http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1

El sistema usa una secuencia de conmutación que consta de 6 pasos para generar cada revolución eléctrica. Al tener dos pares de imanes se requieren dos revoluciones para que el motor realice un giro. Como se evidencia en la siguiente figura.

Figura 8. Conmutaciones Motor brushless DC.



Fuente: PÉREZ DE LAZÁRRAGA, Gonzalo Solchaga y CORRES SANZ, Jesús María. Control motor brushless sensorless. ((Trabajo Fin de Grado). E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicaciones. Universidad Pública de Navarra. Junio de 2015. Disponible en: http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1

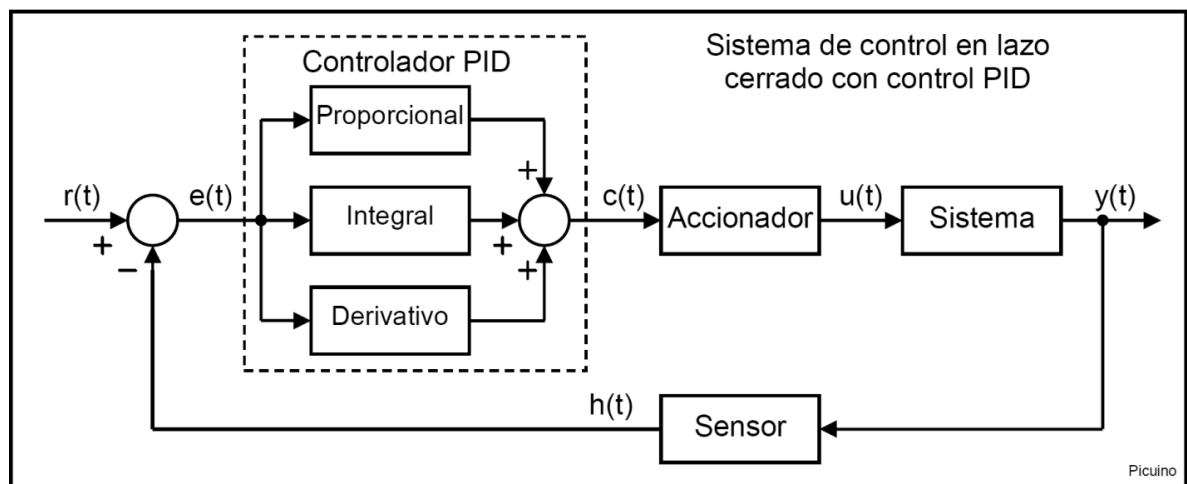
3.5 CONTROLADOR

La unidad de control de estos sistemas conocida como ESC (electrónico speed control) o variadores de velocidad, es posible encontrarlos con regulador de voltaje para el controlador de velocidad y otros que no lo tienen y es necesario alimentar el controlador externamente. El microprocesador es el corazón del regulador ya que aquí se encuentra el programa controlador del subsistema. Estos controladores se encuentran en el mercado, con una amplia selección de funciones tales como: Función de limitación de velocidad, distancia de carga máxima por duración de batería, siendo la principal además del control de velocidad la función inversa, invirtiendo el sentido de giro del motor para la opción de frenado regenerativo.

Específicamente para este tipo de productos como patinetes eléctricos los controladores trabajan a voltajes entre 48-60V y para motores eléctricos de potencia en rangos de valor de 250W hasta 2000W. Entre las funcionalidades que tienen están: control de velocidad, control de sentido de giro, control de velocidad baja, media o alta, frenado electrónico throttle (aceleración). Para los motores brushless cuentan con conexión de sensor hall el cual le indica al controlador la posición y la polarización de los imanes del motor lo que permite la aceleración de estos motores.

Es común encontrar que estos controladores e implementen bajo el principio de control PID. El algoritmo del control PID consiste de tres parámetros distintos: el proporcional, el integral, y el derivativo. El valor Proporcional depende del error actual. El Integral depende de los errores pasados y el Derivativo es una predicción de los errores futuros. La suma de estas tres acciones es usada para ajustar el proceso por medio de un elemento de control.

Figura 9. Control PID lazo cerrado.



Fuente: PÉREZ DE LAZÁRRAGA, Gonzalo Solchaga y CORRES SANZ, Jesús María. Control motor brushless sensorless. ((Trabajo Fin de Grado). E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicaciones. Universidad Pública de Navarra. Junio de 2015. Disponible en: http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1

3.6 SISTEMA DE FRENADO

En la implementación del sistema de frenado, a diferencia de los vehículos convencionales, el patinete cuenta con dos tipos de frenado, el hidráulico convencional que detiene el vehículo usando fricción, y el regenerativo en el que el dispositivo que detiene el patinete es un generador eléctrico, transformando parte de la energía cinética en energía eléctrica, que es almacenada para su uso posterior. De esta manera se complementa con el frenado convencional, y alarga la vida útil del mismo debido a que se reparte el desgaste en ambos sistemas de frenado.

3.6.1 Frenado de Disco. El otro sistema de frenado que es posible utilizar es el freno de disco convencional, en el cual su funcionamiento viene definido por la parte solidaria que viene girando con la rueda, en este caso el disco y es sometido al rozamiento de una superficie con alto coeficiente de fricción, las pastillas, que ejercen sobre ellos la fuerza necesaria para disminuir la velocidad o detener el vehículo según sea necesario.

Sus componentes son, la mordaza, elemento de soporte de las pastillas y los pistones de freno, los pistones cuentan con una fijación alrededor de ellos y unos sellos para impedir el escape de presión ejercida por el líquido de los frenos a través del cual son accionados. Las pastillas de freno que están diseñadas para generar una alta fricción con el disco, son de tipo cerámico, orgánicas y semi-metálicas siendo éstas últimas las mejores en relación duración-eficiencia de frenado llegando a alcanzar un uso de hasta 15.000 Km.

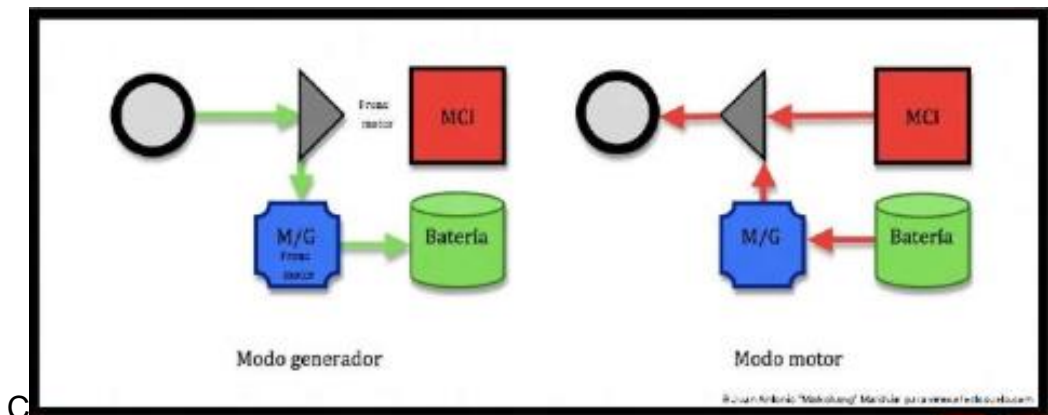
Figura 10. Freno de disco.



Fuente: GUTIÉRREZ, Eduardo. Sistema de Frenos de tambor o disco: ¿cuál es la diferencia? [En Línea]. Chevrolet MONTOTO. Junio 15 de 2019. Disponible en: <https://chevroletmontoto.mx/2019/06/15/frenos-de-tambor-o-disco-cual-es-la-diferencia/>

3.6.2 Freno Regenerativo. La implementación de un sistema de freno regenerativo se plantea como opción para aumentar la autonomía del patinete. El principio que utiliza es la del aprovechamiento de la energía que se pierde al momento de frenar (Fricción). Esto se realiza invirtiendo el sentido de giro del motor, cambiando el funcionamiento del motor al de un generador momentáneamente y redirigiendo esa energía como carga para la batería. Este proceso es manejado por el controlador.

Figura 11. Esquema funcionamiento frenado regenerativo.

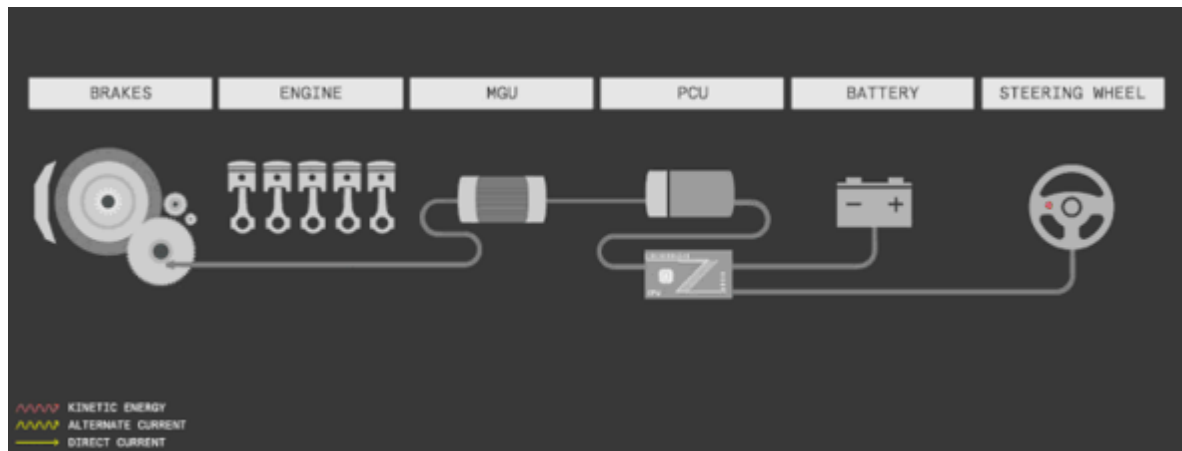


Fuente: MARCHÁN, Juan Antonio. Frenado Regenerativo o Kers: Eléctrico. [En Línea]. SlideShare. Mayo 11 de 2012. Disponible en: <https://www.slideshare.net/Francckko/frenado-regenerativo>

Como se explica en la Figura 12, cuando los frenos se activan, y el sistema de frenado regenerativo está activado la energía cinética producida por el giro del motor (Engine) pasa por la MGU (Motor Generator Unit) la cual convierte energía cinética a eléctrica posterior a esto la energía eléctrica es convertida de AC a DC por la PCU (Power Control Unit) la cual finalmente es almacenada en la batería como carga.

Inversamente el gráfico 12 muestra el proceso de descarga de la batería en un proceso de aceleración. Cabe resaltar que durante la fase de transición de energía cinética a eléctrica el motor gira en sentido inverso, responsable de la reducción de la velocidad en el patinete y permitiendo el frenado. En la figura 12 se puede apreciar detalladamente el funcionamiento en un patinete eléctrico del sistema de frenado regenerativo.

Figura 12. Implementación freno regenerativo en patinete.



Fuente: KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM. Cinética Sistema de recuperación de energía. [En Línea]. Enciclopedia Wikipedia. 2019. Disponible en: https://es.qwe.wiki/wiki/Kinetic_energy_recovery_system

3.7 RUEDAS

Actualmente existen cinco diferentes tipos de ruedas para patinetes eléctricos:

- Rueda dura de poliuretano: Son las más económicas, resistentes no se pinchan al no tener aire, aunque solo funcionan de manera correcta sobre superficies lisas.
- Rueda semidura de goma: Son similares a las de poliuretano, su diferencia principal es que están recubiertas por una goma. Este tipo de ruedas no sería la indicada debido a que no presenta un buen amortiguamiento frente a obstáculos o resaltos en la vía.
- Rueda con neumático mediano: Presenta como ventajas la adaptación a diferentes terrenos y vienen en tamaños desde 4" de radio además de brindar mayor seguridad y estabilidad frente a cambios en la vía.
- Rueda con neumático grande: Los mismos beneficios de la mediana, pero con mayor estabilidad y seguridad, presentan radios de 10" o 12" y pueden cruzar por la mayoría de terrenos con relativa facilidad.
- Rueda con neumático tubeless: Presentan mayor duración ya que al no tener cámara de aire es más difícil que se pinchen, aunque su costo es más elevado.

Figura 13. Rueda 10" Xiaomi M365.

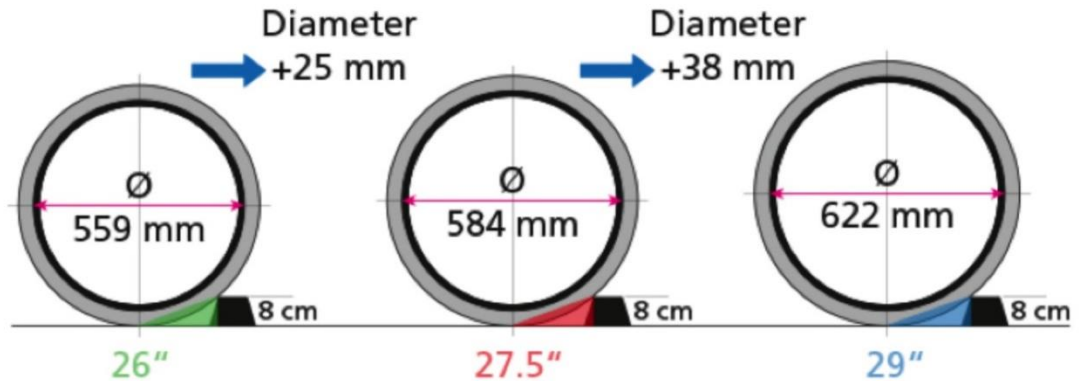
Xiaomi M365 Pneu Plein



Fuente: XIAOMI. Scooters eléctricos y accesorios: Rueda TH-SOME 10" Xiaomi M365. [En Línea]. Amazon. 2020. Disponible en: <https://www.amazon.es/xiaomi-m365-neumaticos/s?k=xiaomi+m365+neumaticos>

Como criterio de selección de las ruedas en relación con la altura del obstáculo a superar se presenta la siguiente información en la que se evidencian diámetros de ruedas en los cuales existe un límite para cada tamaño de rueda. A mayor altura será requerida una rueda de mayor diámetro. Para patinetes como el Dualtron en el mercado es común encontrar ruedas de 12" de diámetro. En la Figura 14 se puede observar que a mayor diámetro de rueda el área de impacto del obstáculo con la rueda está en un punto más bajo lo que se traduce en que la rueda puede superar con más facilidad el sobresalto.

Figura 14. Relación tamaño de rueda obstáculos.



Fuente: FORO MTB. Diámetro aproximado de rueda. [En Línea]. Foro MTB Mecánica. 15 de diciembre de 2008. Disponible en: <https://www.foromtb.com/threads/hilo-de-preguntas-r%C3%81pidas-de-mec%C3%81nica.826110/page-608>

3.8 DASHBOARD

En relación a la visualización de los datos medidos existen diferentes tipos de display, en el xiaomi M365 se utiliza una DashBoard con distintas características de visualización en pantalla: Información de la batería, de la velocidad, del estado de carga, configuración de encendido y apagado de leds.

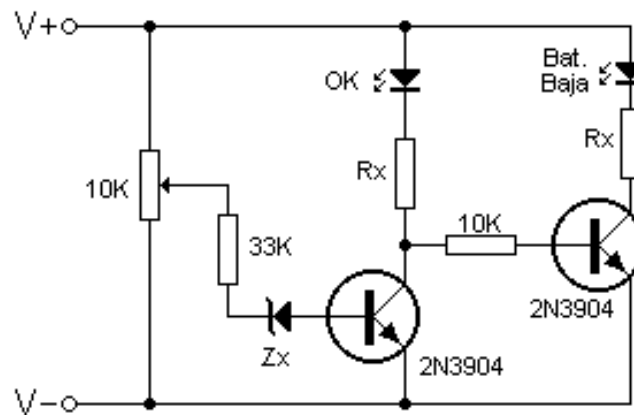
Figura 15. DashBoard Xiaomi M365.



Fuente: XIAOMI. DashBoard Xiaomi M365. [En Línea]. DESERTCART. 2020. Disponible en: <https://brunei.desertcart.com/products/139280600-vap26-dashboard-accessories-bluetooth-circuit-board-screen-cover-for-xiaomi-m365-pro-black>

Como ejemplo para la implementación de un circuito indicador de estado de batería se presenta la siguiente solución como alternativa para explicar el circuito en donde por medio de Leds de color es posible determinar el estado de carga de una batería. Cuando la tensión en el cursor del potenciómetro supera el valor del diodo Zener (Z_x) más la tensión menos el emisor del transistor más la caída de tensión de la resistencia de $33\text{ k}\Omega$ el transistor se disparará, haciendo que el Led verde brille.

Figura 16. Circuito indicador estado de batería.



Fuente: ELECTRÓNICA FÁCIL. Indicador de estado para baterías. [En Línea]. Blog Electrónica Fácil. 2017. Disponible en: <https://www.electronicafacil.net/circuitos/Indicador-de-estado-para-baterias.html>

3.9 BATERÍA

Para la selección de la correcta batería para el proyecto es necesario tener la configuración geométrica que indique el peso total del chasis y agregar además el peso del usuario, es decir es necesario saber cómo uno de los aspectos más importantes la cantidad total de peso a mover. Existen otros factores que hacen de esto un tema variable, como el estado de la carretera o la inclinación de movimiento. Con esto en mente es posible realizar un análisis dinámico del patinete y obtener en primera instancia la potencia del motor necesaria. Estos motores en relación con

su potencia vienen con un voltaje de trabajo y teniendo estas dos variables es posible hallar los puntos críticos de corriente que exige el motor. Estos valores de corriente y voltaje determinan la categoría de la batería más adecuada.

Las baterías que más se comercializan son las Litio por su peso ligero, y capacidad de descarga más alta y mayor autonomía, tienen también una mayor vida útil alcanzando hasta 3000 ciclos de carga. La principal desventaja es su elevado precio.

Existen diferentes tipos de baterías, entre las cuales destacan dos grupos; baterías de ciclo corto, y baterías de ciclo profundo. La principal diferencia radica en el uso para el que están destinadas. Las baterías de ciclo corto son utilizadas comunmente en automoviles los cuales requieren una gran cantidad de corriente durante ciclos cortos de tiempo. Un ejemplo de esto son los automotores los cuales requieren una gran corriente de arranque por ciclos de 3 a 5 segundos. Por otra parte las baterías de ciclo profundo, utilizadas en vehículos eléctricos presentan la particularidad de entregar una determinada carga de corriente por horas. Los amperios por hora miden la cantidad de amperes que puede entregar la batería en un ciclo de 20 horas. Por ejemplo una batería de 200 Ah entrega 10 amperios durante 20 horas hasta descargarse completamente.

Tabla 2. Tabla baterías desventajas y ventajas.

TIPO DE BATERÍA	LITIO	PLOMO	NIQUEL	GEL
VENTAJAS	Más ligeras actualmente.	Alta corriente de arranque.	Más ligeras que Plomo.	No desprenden líquidos.
	Mayor duración, 3x Plomo.	Alta entrega de potencia.	Mayor duración respecto a las de Plomo.	Resistencia a golpes.
	Poco mantenimiento sin uso.	Menor precio.		Poca corrosión
	Sin efecto memoria.			

TIPO DE BATERÍA	LITIO	PLOMO	NIQUEL	GEL
DESVENTAJAS	Precio elevado	Peso Tamaño Contaminantes Duración depende de factores externos.	Más costosas que las de Plomo. Peso	Peso Geometría

Fuente: Autor del Proyecto

Las baterías encontradas en el mercado para este tipo de patinetes que cumplen los requerimientos de voltaje/corriente están entre valores de 48-60V y 12-20A. Por lo que en base a los cálculos realizados para casos puntuales pero haciendo especial énfasis en casos de mayor exigencia se determina que la batería seleccionada debe ser una batería de Litio de ciclo profundo de 60V y 20A para cumplir con lo estipulado del proyecto.

A continuación se muestra en la figura 14 una imagen de la batería seleccionada. Cabe resaltar que los valores de autonomía/exigencia son variables, y dependen de varios factores que pueden determinar cambios en la duración/rendimiento de la batería, tales como peso del usuario, estado de la vía a transitar, pendiente a la cual va a trabajar el motor, con esto en mente se destaca que los valores seleccionados son para un estimado de unos casos puntuales analizados detallados en la sección 6.3.1.

Para la selección de la batería se tuvo en cuenta principalmente los cálculos realizados de exigencia de potencia al motor, con esto en mente y teniendo casos analizados de exigencia máxima se realiza una búsqueda de baterías que en el mercado actual estén dentro del rango de valores obtenidos de voltaje y amperaje necesario para poder suplir demanda de corriente.

Características de la batería seleccionada:

Voltaje	Ah	Ciclos de carga	Material	Peso	Tiempo de carga
60	20	800	Litio	7,5 kg	8hr +

Figura 17. Batería 60V 20 Ah.



Fuente: CITYCOCO. Batería interna Litio 60V/20AH. [En Línea]. Gran Scooter Electric Vehicles. 2018. Disponible en: <https://www.gran-scooter.com/repuestos-repuestos-citycoco-bateria-interna-60v-20ah-itycoco-p-615.html>

4. MÉTODOS

4.1 METODOLOGÍA

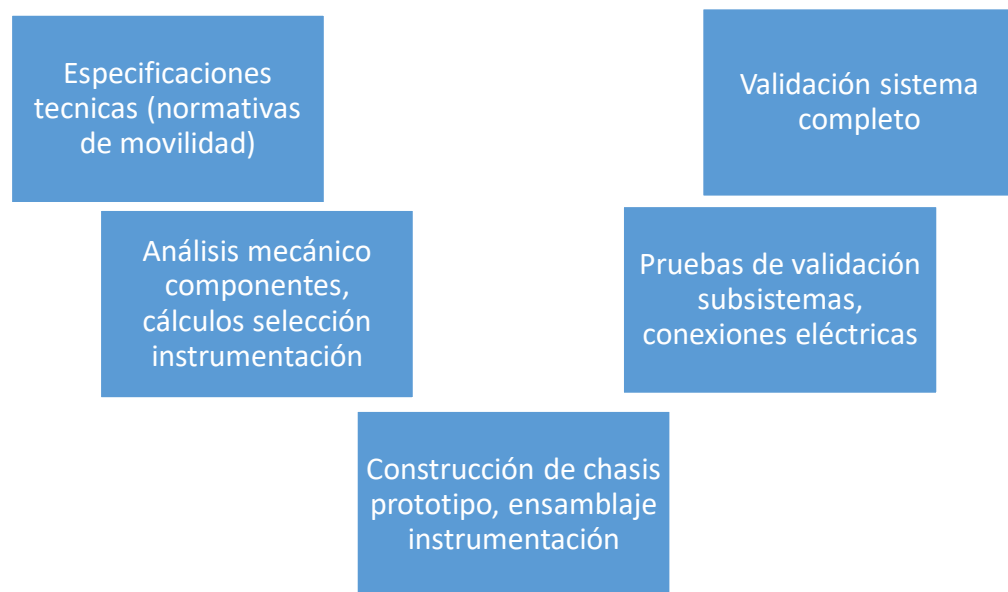
El conjunto de procedimientos para alcanzar los objetivos del presente proyecto se plantean en la metodología del modelo en V, empezando por la identificación de las necesidades del cliente definidas por especificaciones técnicas que también están limitadas por normativas de movilidad estableciendo límites de velocidad. De esta manera se identifican posibles soluciones para las especificaciones, analizando desde los aspectos más generales hasta una selección detallada de los criterios técnicos y de componentes, tales como; Diseño del chasis, motor y control de velocidad, sistema de frenado, sistema de suspensión, baterías y sistema de recarga.

A nivel de componentes, una vez realizada la selección específica de los elementos se estipulan las especificaciones de manufactura y ensamble de los componentes y subcomponentes para posterior prototipado.

La etapa de validación comienza con análisis de la parte mecánica de los componentes, verificando su correcto funcionamiento y resistencia, en el caso de este proyecto validando el chasis diseñado, a continuación, se realiza el ensamble de componentes a la estructura del patinete y se realizan test de los subsistemas ensamblados verificando su funcionamiento como pruebas de frenado o de aceleración del motor por separado, cerciorándose de que se encuentran bien ensamblados los componentes. Posterior a esto se realiza la validación del sistema completo en conjunto verificando que las funciones y las necesidades especificadas se cumplen de manera satisfactoria para proceder a la etapa de producción.

Para realizar esta validación se realizarán trayectos desde el campus del jardín de la UNAB hasta el Centro de Servicios Universitarios, todo esto registrado por un display que contenga la información de nivel de batería y velocidad del patinete, ya que son los criterios para evaluar en la validación.

Figura 18. Metodología en v.



Fuente: Autor del Proyecto

5. RESULTADOS ESPERADOS

Planos mecánicos y planos eléctricos de detalle del prototipo.

Patinete eléctrico construido con control de velocidad, sistema de suspensión y sistema de frenado regenerativo con indicadores.

Patinete construido con autonomía de desplazamiento de 30 km y velocidad promedio de 20 km/h de acuerdo a normativas de movilidad⁴.

Protocolo de pruebas para validar el desempeño del patinete en la ciudad de Bucaramanga.

Manual de operación y mantenimiento.

⁴ SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Circular 006. Recomendaciones de tránsito para vehículos tipo patinetas o con motor. [En Línea]. Distrito de Movilidad Bogotá. Diciembre 12 de 2019. Disponible en: <http://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/2018-12-17/Circular%20006%20de%202018.PDF>

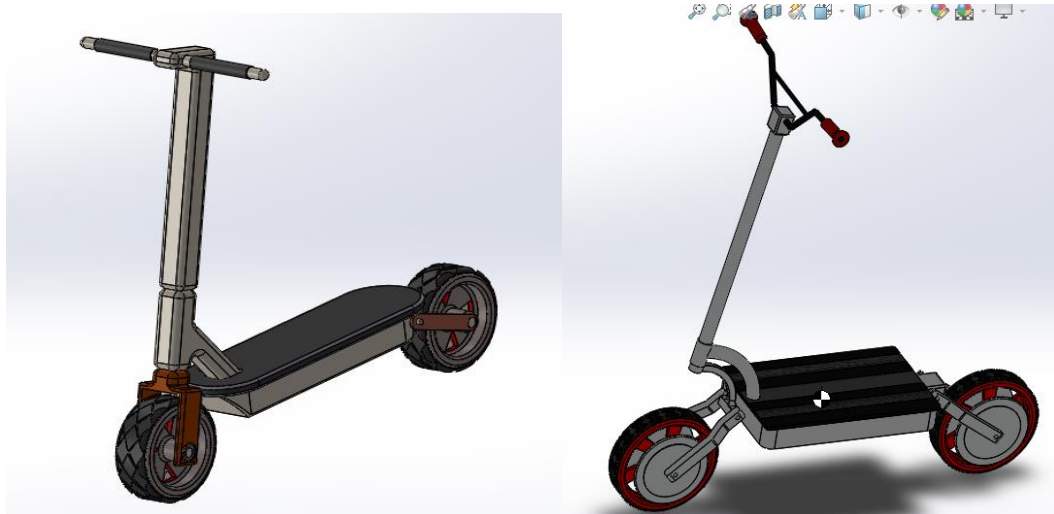
6. DESARROLLO DEL PROYECTO

Se realiza un diagrama QFD con el fin de determinar la instrumentación adecuada en el proyecto se toma 1 como bajo, 3 como medio y 9 como alto. Los resultados obtenidos entregan que en función de desplazamiento la mejor opción es un motor brushless DC, la selección de batería indica que la de Litio es la ideal. El control del dispositivo más adecuado es por medio de un ESC (Electronic Speed Controller). El accionamiento de frenado más indicado es por medio de freno de disco y un bloqueo inicial por medio de una llave de encendido es la opción que mejor se ajusta al proyecto. Se tuvo en cuenta otros tipos de instrumentación utilizados en el mercado para llevar a cabo la selección final.

6.1 CONFIGURACIÓN GEOMÉTRICA DEL CHASIS

Fueron propuestas 3 configuraciones geométricas del chasis como posibles soluciones. Las dos primeras fueron descartadas debido a que no cumplían con la idea general de un patinete robusto, con un sistema de suspensión acorde al planteado.

Figura 19. Ideas de configuraciones geométricas patinete.



Fuente: Autor del Proyecto

Finalmente, la configuración geométrica seleccionada cumplía con el objetivo general, además de estar más acorde a la idea concebida de un patinete eléctrico robusto, resistente y cómodo.

Figura 20. Configuración geométrica seleccionada

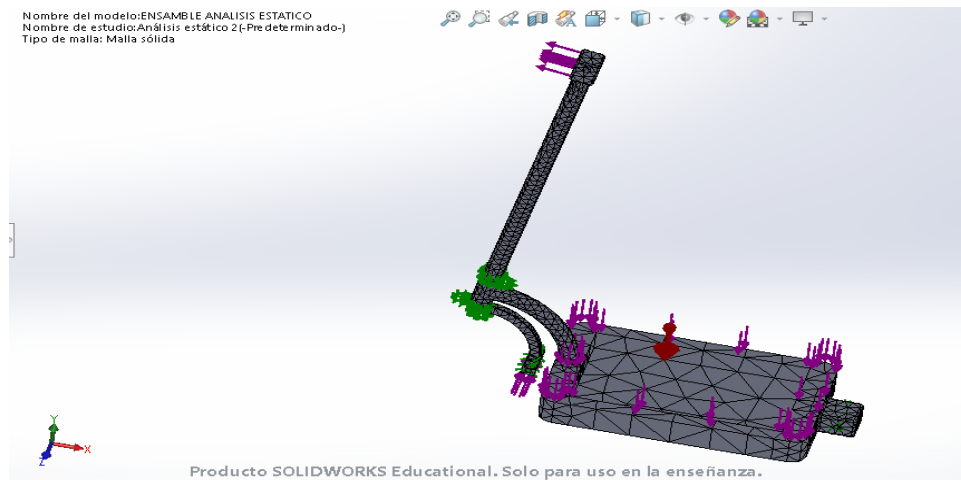


Fuente: Autor del Proyecto

Para desarrollar esta configuración se realizó el CAD en SOLIDWORKS, desglosando las partes del patinete; Base, Manubrio, Ruedas, Horquillas de suspensión, Base de manubrio. Se utilizaron relaciones de posición para realizar el acople entre estas piezas y obtener el ensamblaje final.

6.1.1 Análisis de Esfuerzos del Chasis. Este análisis estático del chasis se determinó aplicando sujeciones y cargas al chasis para determinar los esfuerzos a los que se encuentra sometido y determinar las piezas y los lugares en los que se encuentra una mayor concentración de esfuerzos corriendo el riesgo de deformarse o sufrir fracturas o desgastes. Por lo cual fue asignado un material que cumpliera tanto con los requisitos de peso, y a su vez cumpliera con criterios de resistencia que permitieran el uso del proyecto.

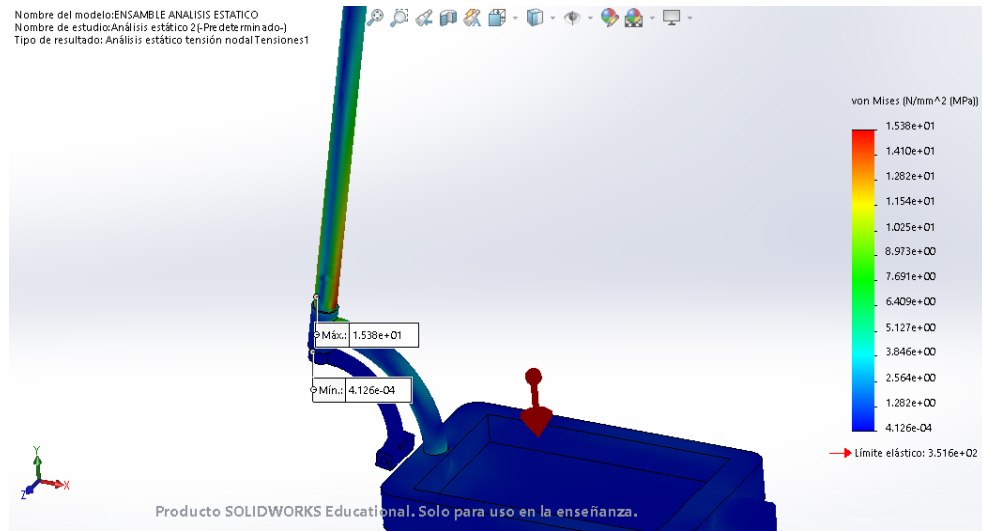
Figura 21. Enmallado chasis.



Fuente: Autor del Proyecto

La primera parte del estudio estático consiste en el enmallado para realizar el análisis por elementos finitos (FEA), en esta sección se determinó las cargas (Morado), las sujeciones (Verde), los contactos entre piezas y el sentido de la fuerza de gravedad que actúa sobre el chasis.

Figura 22. Análisis por elementos finitos.



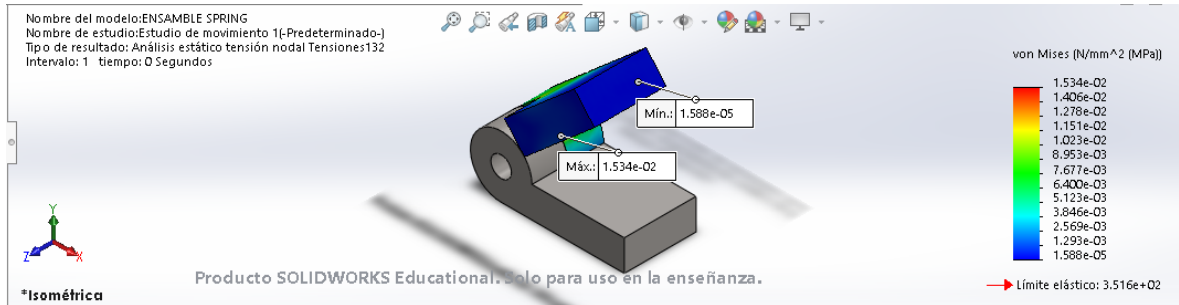
Fuente: Autor del Proyecto

Una vez realizado este procedimiento de enmallado se ejecutó el análisis obteniendo los resultados de los esfuerzos von Mises, el factor de seguridad, la tabla de deformaciones y las zonas de mayor carga estática.

6.2 SISTEMA DE SUSPENSIÓN

Se propuso como opción inicial una suspensión por resorte torsional como solución, a la cual se realizaron simulaciones de respuesta vibratoria con el objetivo de determinar el comportamiento del sistema de suspensión frente a cargas dinámicas. Como principio del modelo de resorte torsional se realiza una prueba en SOLIDWORKS a partir de una geometría de prueba en la que se pudiera visualizar este tipo de suspensión.

Figura 23. Simulación de esfuerzos resorte torsional.



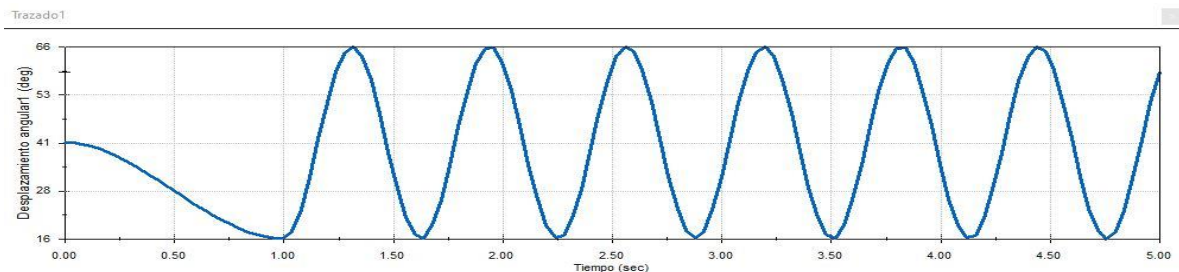
Fuente: Autor del Proyecto

Para esta simulación se utilizó un motor rotacional que se acciona por un ángulo de 15 grados, posteriormente se apaga y retorna a su posición inicial el resorte. Este estudio tiene en cuenta la gravedad dentro de sus cálculos.

Con el fin de obtener una comparativa entre la respuesta del sistema únicamente con un resorte torsional, y otra con el resorte torsional y además un amortiguador torsional se realizan dos estudios de movimiento para determinar el comportamiento.

La respuesta vibratoria que presenta el modelo es la siguiente, en la que se puede observar que únicamente actúa el resorte torsional, a su vez el modelo oscila entre 16 y 66 grados durante 5 segundos y el comportamiento es el de un sistema con un resorte sin ningún tipo de amortiguamiento que disipe energía.

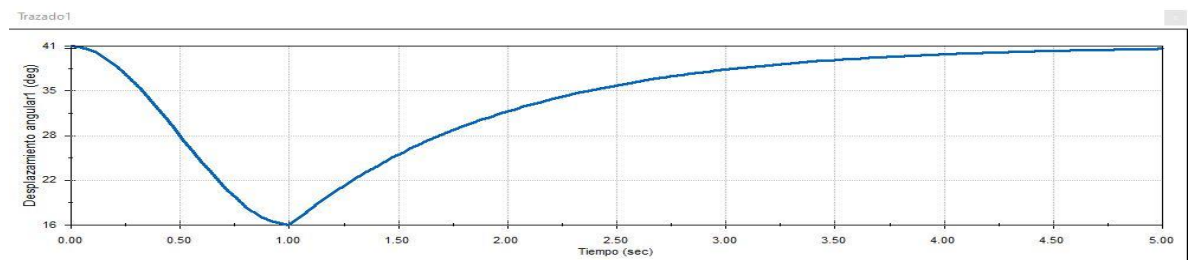
Figura 24. Respuesta análisis de vibraciones sin amortiguador.



Fuente: Autor del Proyecto

Se incluye el amortiguador torsional y la respuesta cambia significativamente mostrando un comportamiento más acorde a un sistema de suspensión. Retornando a su posición inicial con una respuesta más suave y sin oscilar. El sistema inicia en su posición original a 41 grados y baja hasta 16 grados, pero retorna sin sobrepaso y tiene un tiempo de estabilización de 4 segundos, ofreciendo una respuesta adecuada. De esta manera se puede realizar la simulación del sistema de suspensión para determinar el comportamiento de este en relación al que se va a desarrollar.

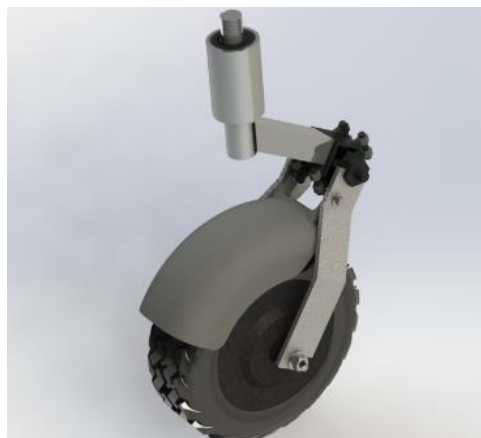
Figura 25. Respuesta análisis de vibraciones con amortiguador.



Fuente: Autor del Proyecto

Una vez realizado el análisis del resorte torsional por separado se realiza el mismo estudio para el ensamblaje de la suspensión delantera del patinete.

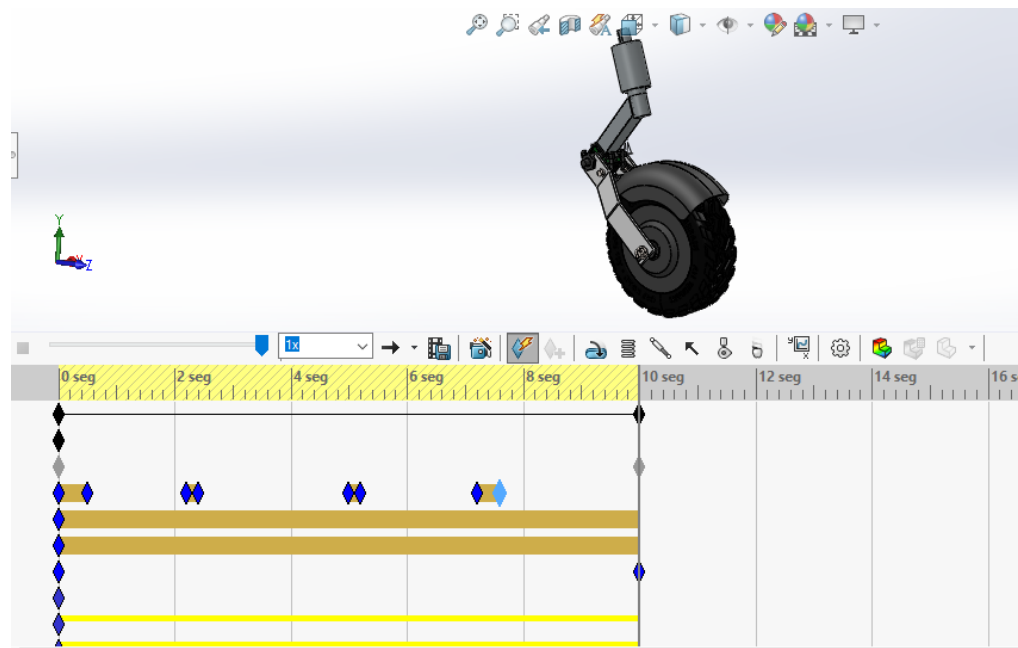
Figura 26. Ensamble suspensión delantera CAD.



Fuente: Autor del Proyecto

Se aplican fuerzas en instantes de tiempo en la suspensión delantera y trasera para ver la respuesta de la suspensión. Se aplican 3 instantes de fuerzas sobre el ensamble de modo que se estimule su respuesta vibratoria en el resorte torsional. La respuesta se asemeja a la obtenida físicamente en el prototipo con el diseño de suspensión por cartuchos de goma de poliuretano. De esta forma se puede interpretar con un modelo de resorte de torsión con amortiguador la respuesta vibratoria obtenida en un modelo de suspensión por eje centro-flotante en barras de poliuretano.

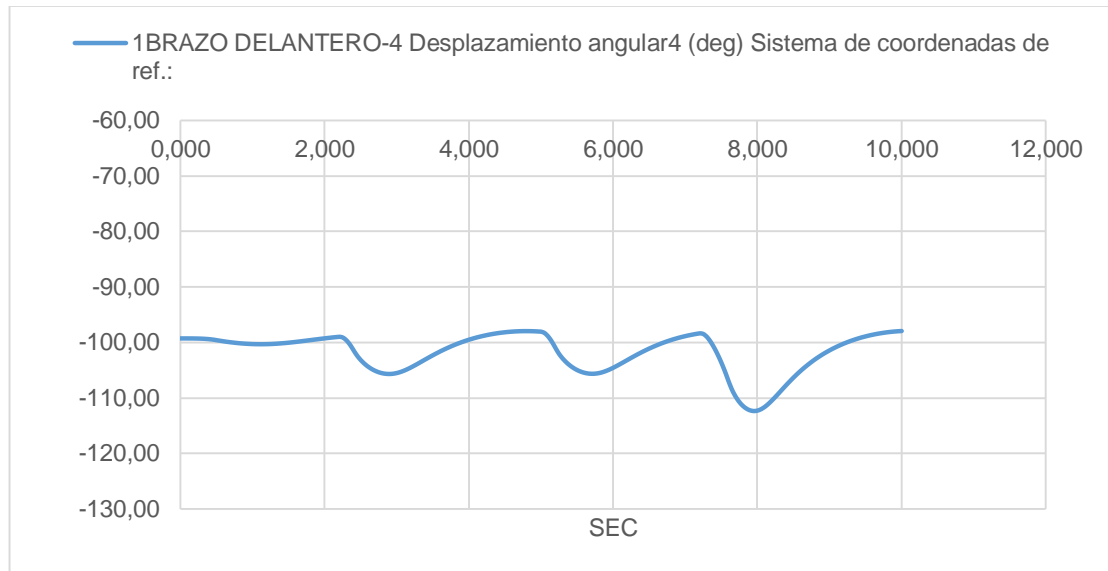
Figura 27. Estudio y análisis de movimiento, simulación de vibraciones respuesta.



Fuente: Autor del Proyecto

Del estudio de movimiento se obtiene la siguiente gráfica representativa del desplazamiento angular respecto al tiempo de simulación.

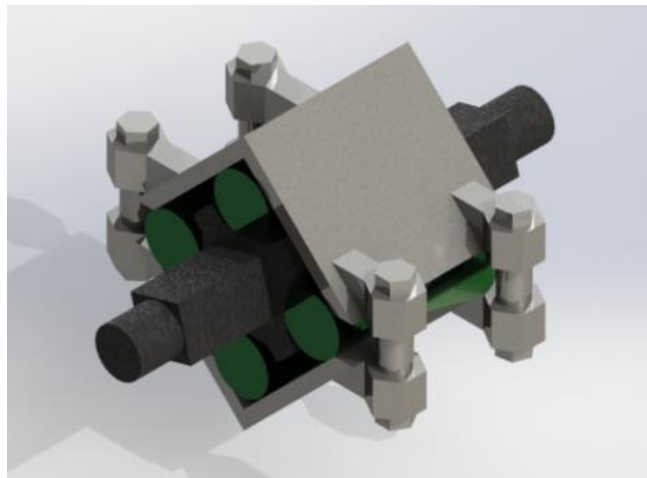
Figura 28. Respuesta Vibratoria – Suspensión



Fuente: Autor del Proyecto

6.2.1 Simulación Sistema de Suspensión. Se realiza el diseño de las piezas y la simulación del cartucho de suspensión, el polímero que se selecciona es el poliuretano, que debido a sus cualidades de alta resistencia a la tracción, al impacto, con un amplio rango de temperaturas es el material ideal y más utilizado para estos tipos de suspensión.

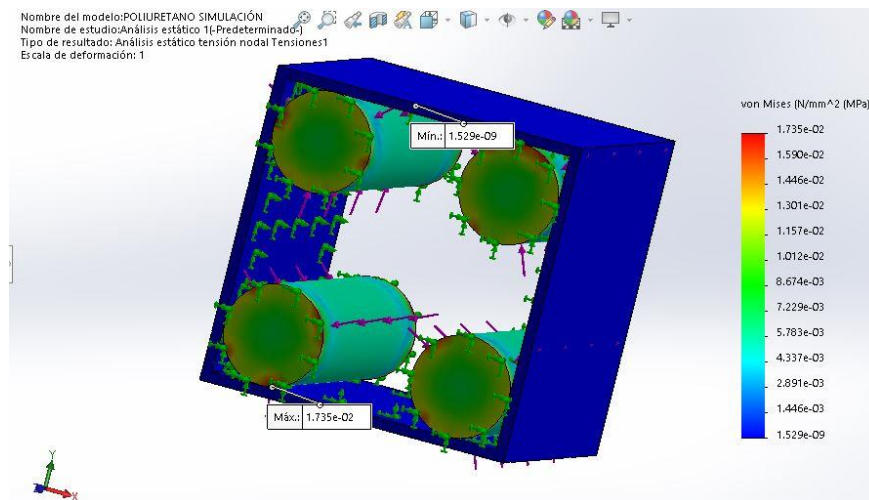
Figura 29. Sistema de suspensión CAD.



Fuente: Autor del Proyecto

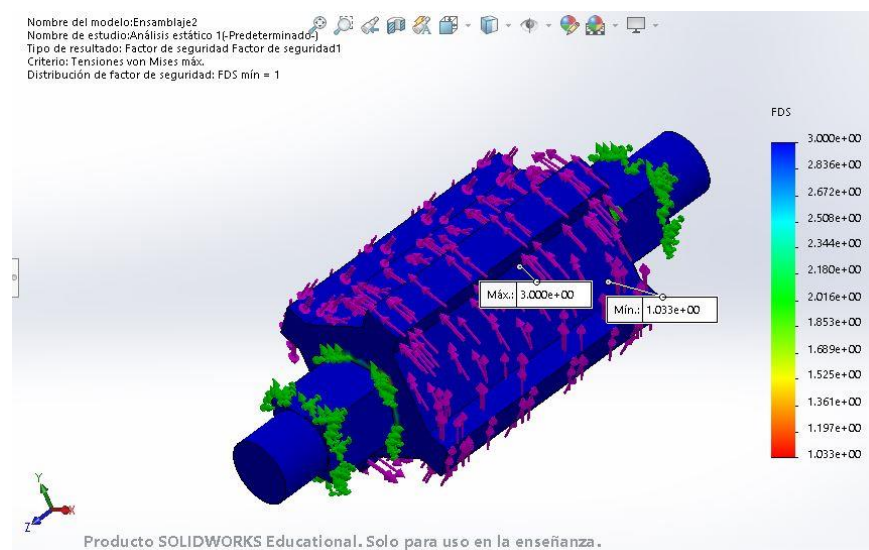
Se realizó un diseño CAD del sistema de suspensión con el eje de suspensión y las barras de poliuretano sujetas a las horquillas de la suspensión. Se aplica una carga a las barras de poliuretano, ejercidas por el eje y la reacción del cartucho que contiene el sistema con respecto a esas fuerzas obteniendo los siguientes resultados de esfuerzos y FDS (Factor de Seguridad).

Figura 30. Análisis de elementos finitos de mordaza de perfiles y poliuretano.



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 31. Análisis de elementos finitos eje de suspensión.

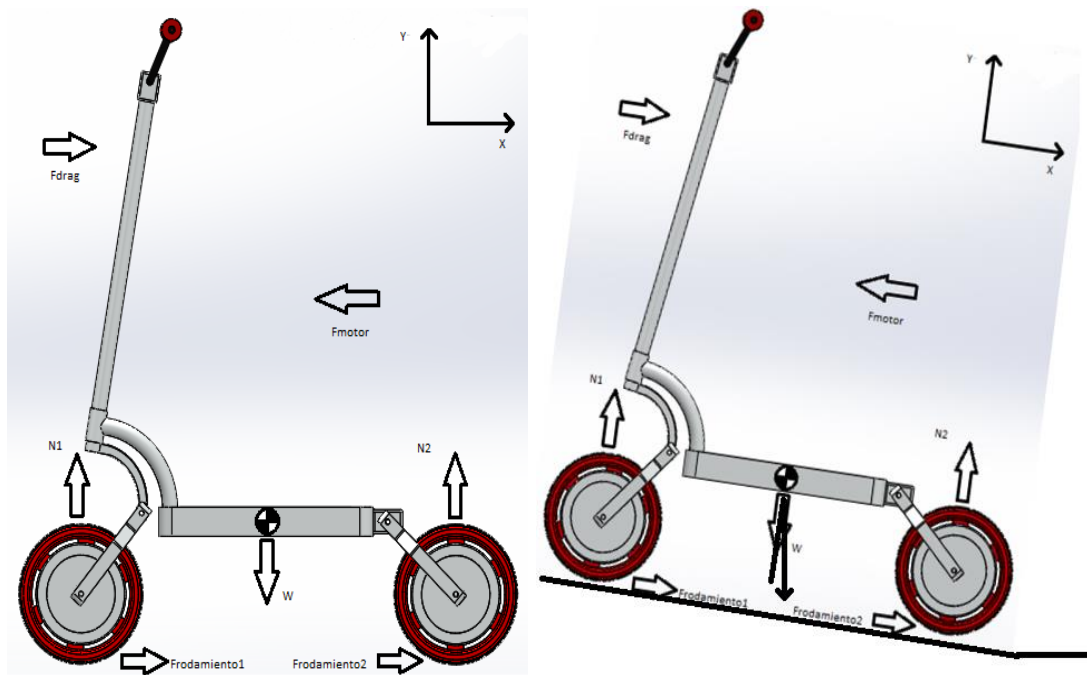


Fuente: Autor del Proyecto

6.3 SELECCIÓN DE INSTRUMENTACIÓN

Se realizaron los cálculos para la selección del motor y de la batería requeridos para cumplir con los objetivos propuestos en el proyecto, para esto se analizaron casos dinámicos en los cuales se evidencian puntos críticos de potencia y corriente del motor y de esta manera realizar una selección adecuada. Para la selección del controlador a implementar se analizaron los objetivos del proyecto y voltaje y potencia del motor.

Figura 32. Diagrama de cuerpo libre patinete.



Fuente: Autor del Proyecto

6.3.1 Selección Motor. El primer caso analiado estableció los siguientes criterios; para un peso total de 30KG patinete y 100KG usuario, una velocidad alcanzada de 20 km/h, un terreno plano sin inclinación y para vencer el movimiento de inercia. Coeficiente de fricción usado es de rodadura de caucho contra pavimento.

$$\sum F_y = W - N = 0$$

$$(30kg + 100kg) * (9.8 \frac{m}{s^2}) = N$$

$$N = 1274N = W$$

$$\sum F_x = -F_{DRAG} + F_{MOTOR} - F_{RODADURA} = 0$$

$$F_{MOTOR} = F_{DRAG} + F_{RODADURA}$$

$$F_{DRAG} = C_D * \frac{1}{2} * \rho_{FLUIDO} * A * V^2$$

$$F_{DRAG} = 1.3 * \frac{1}{2} * 1.225 \frac{kg}{m^3} * 0,36m^2 * (1.38 \frac{m}{s})^2$$

$$F_{DRAG} = 1.098 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

$$F_{RODADURA} = C_R * W$$

$$F_{RODADURA} = 0.035 * 1274N$$

$$F_{RODADURA} = 44.59N$$

$$F_{MOTOR} = 1.098N + 44.59N$$

$$F_{MOTOR} = 45.688N$$

$$Potencia = F_{MOTOR} * Velocidad$$

$$Potencia = 45.688N * 20 \frac{km}{h} \left(\frac{1000m}{1km} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right)$$

$$Potencia = 247.72W \cong 0.3321HP$$

En el segundo caso analizado se establecieron los siguientes criterios; para un peso total de 30KG patinete y 100KG usuario, una velocidad alcanzada de 20 km/h, un terreno plano sin inclinación y para un movimiento de aceleración.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{(20 \frac{km}{h} - 0)}{5s} * \left(\frac{1000m}{1km}\right) * \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$a = 1.11 \frac{m}{s^2}$$

$$\sum F_x = -F_{DRAG} + F_{MOTOR} - F_{RODADURA} - ma = 0$$

$$F_{MOTOR} = F_{DRAG} + F_{RODADURA} + ma$$

$$F_{MOTOR} = 44.59N + 19.89N + \left(130kg * 1.11 \frac{m}{s^2}\right)$$

$$F_{MOTOR} = 1.098N + 44.59N + 144.3N$$

$$F_{MOTOR} = 189.988N$$

$$Potencia = F_{MOTOR} * Velocidad$$

$$Potencia = 189.988N * 20 \frac{km}{h} \left(\frac{1000m}{1km}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$Potencia = 1055.48W \cong 1.4154HP$$

En el tercer caso analizado se establecieron los siguientes criterios; para un peso total de 30KG patinete y 100KG usuario, una velocidad alcanzada de 20 km/h, un terreno con una inclinación de 8.53° y para vencer la inercia.

$$\sum F_y = W \cos 8.53^\circ - N = 0$$

$$130kg * \left(9.8 \frac{m}{s^2}\right) \cos 8.53^\circ = N$$

$$1274N * 0.98 = N$$

$$N = 1248.52N = W$$

$$\sum F_x = -F_{DRAG} + F_{MOTOR} - F_{RODADURA} - W \sin 8.53^\circ = 0$$

$$F_{MOTOR} = F_{DRAG} + F_{RODADURA} + W \sin 8.53^\circ$$

$$F_{DRAG} = C_D * \frac{1}{2} * \rho_{FLUIDO} * A * V^2$$

$$F_{DRAG} = 1.3 * \frac{1}{2} * 1.225 \frac{kg}{m^3} * 0,36m^2 * (1.38 \frac{m}{s})^2$$

$$F_{DRAG} = 0.3955 \frac{kg \cdot m}{s^2}$$

$$F_{RODADURA} = C_R * W \sin 8.53^\circ$$

$$F_{RODADURA} = 0.035 * 1248.52N \sin 8.53^\circ$$

$$F_{RODADURA} = 0.035 * 185.189N$$

$$F_{RODADURA} = 6.4816N$$

$$F_{MOTOR} = 0.3955N + 6.4816N + 185.189N$$

$$F_{MOTOR} = 192.06N$$

$$Potencia = F_{MOTOR} * Velocidad$$

$$Potencia = 192.06N * 20 \frac{km}{h} \left(\frac{1000m}{1km} \right) \left(\frac{1h}{3600s} \right)$$

$$Potencia = 1067.03W \cong 1.43HP$$

En el cuarto caso analizado se establecieron los siguientes criterios; para un peso total de 30KG patinete y 100KG usuario, una velocidad alcanzada de 20 km/h, un terreno con una inclinación de 8.53° y para un movimiento de aceleración.

$$a = \frac{\Delta v}{\Delta t}$$

$$a = \frac{(20 \frac{km}{h} - 5 \frac{km}{h})}{7s} * \left(\frac{1000m}{1km}\right) * \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$a = 0.59 \frac{m}{s^2}$$

$$\sum F_x = -F_{DRAG} + F_{MOTOR} - F_{RODADURA} - ma - W \sin 8.53^\circ = 0$$

$$F_{MOTOR} = F_{DRAG} + F_{RODADURA} + ma + W \sin 8.53^\circ$$

$$F_{MOTOR} = 0.3955N + 6.4816N + \left(130kg * 1.1 \frac{m}{s^2}\right) + 185.189N$$

$$F_{MOTOR} = 0.3955N + 6.4816N + 76.7N + 185.189N$$

$$F_{MOTOR} = 268.766N$$

$$Potencia = F_{MOTOR} * Velocidad$$

$$Potencia = 268.766N * 20 \frac{km}{h} \left(\frac{1000m}{1km}\right) \left(\frac{1h}{3600s}\right)$$

$$Potencia = 1493.145W \cong 2.13HP$$

Tabla 3. Tabla valores de potencia requerida por motor.

CASO ANALIZADO	POTENCIA MÁXIMA REQUERIDA [W]
Vencer inercia sin pendiente	247.72
Aceleración sin pendiente	1055.48
Vencer inercia pendiente 15%	1067.03
Aceleración pendiente 15%	1493.145

Fuente: Autor del Proyecto

Habiendo determinado según casos críticos de peso máximo 130KG, pendiente máxima de subida 15% (8.53°), y una velocidad máxima alcanzada de 20 km/h, los valores de potencia obtenidos y acorde a valores de potencia en el mercado se selecciona un motor de 1600W de potencia para cumplir con los resultados esperados.

Figura 33. Motor brushless 1600W 60V.



Fuente: Fuente: ALIEXPRESS. Motor brushless 1600w 60v. [En Línea]. Gran Scooter Electric Vehicles. 2018. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/i/32974041179.html>

6.3.2 Selección Controlador. De acuerdo a los objetivos específicos del presente proyecto el requerimiento en las funciones del patinete es el siguiente:

- Control de velocidad
- Sistema de frenado electrónico
- Funciones extras de encendido y accionamiento

Con esos criterios y teniendo en cuenta especificaciones voltaje y potencia del motor (60V/1600W) se realiza la búsqueda de un controlador de velocidad electrónico que cumpla con los requisitos. El pico de corriente de acuerdo a las tablas de potencia crítica y el voltaje de trabajo de motor es de $\frac{1493.145W}{60V} = I_{max}, 24.88A = I_{max}$, por lo

que en los limitantes de selección la corriente no puede superar ese valor de corriente.

Figura 34. Controlador 1600W 60V.



Fuente: LAZY BIKE STORE. Controlador de onda sinusoidal de 60, 120, 15000, 1600w, w, 18 MOS y 45 A para Motor de cubo, controlador de motos eléctricas. [En Línea]. AliExpress. 2019. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/33021450653.html>

6.3.3 Selección Batería. Teniendo los datos de motor y controlador, se busca una batería que supla voltaje y amperaje. Teniendo en cuenta que el motor y el controlador trabajan a 60V, esto mismo determina el valor del voltaje de trabajo de la batería. En cuanto al amperaje en el mercado se encuentran para este tipo de sistemas de 12 y 20 Ah. Ambas pueden funcionar para el proyecto pero se opta por la de 20 Ah debido a su mayor autonomía y además teniendo en cuenta que la batería de 12 Ah podría suplir momentáneamente el requerimiento de amperaje pero eventualmente terminara deteriorándose debido a que la corriente que exige el motor es más grande. Como fue explicado en el apartado 3.9 la selección es por la batería de Litio.

Figura 35. Batería Seleccionada

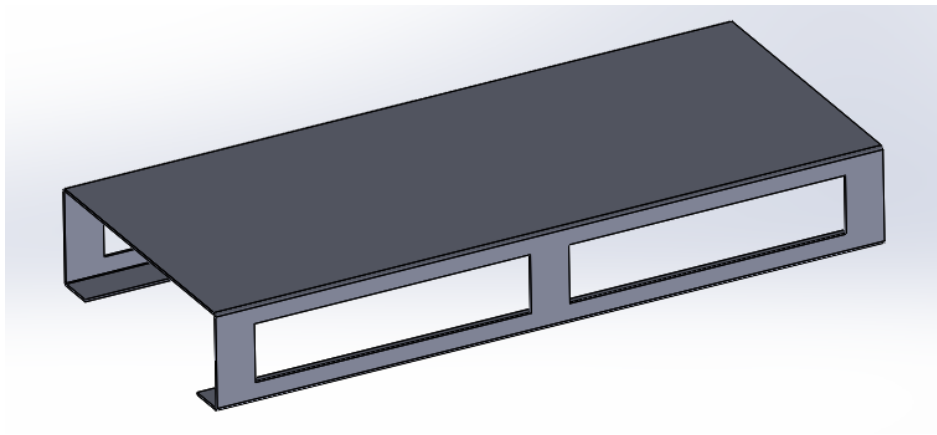


Fuente: CITYCOCO. Batería interna Litio 60V/20AH. [En Línea]. Gran Scooter Electric Vehicles. 2018. Disponible en: <https://www.gran-scooter.com/repuestos-repuestos-citycoco-bateria-interna-60v-20ah-itycoco-p-615.html>

7. CONSTRUCCIÓN

El mecanizado del chasis del patinete fue realizado en Bucaramanga Santander su mayoría en la empresa IMR, la cual cuenta con la infraestructura necesaria para gran parte de los procesos de mecanizado. Se partió por la construcción de la base de soporte, en donde se encuentran la batería y el controlador. El material utilizado fue acero inoxidable de 2.5 mm de calibre y se compró una lámina de 60x60. Posterior a esto se realizó por prensado los dobleces necesarios para darle forma a partir del diseño de chapa metálica realizado en CAD. Con la lámina plegada se procedió a realizar por medio de tecnica de cortado por plasma una reducción de material a los costados con el fin de reducir peso total de la estructura manteniendo la rigidez estructural. A continuación se presenta la imagen de la BASE con piegues y cortes.

Figura 36. Chapa metálica base patinete.



Fuente: Autor del Proyecto

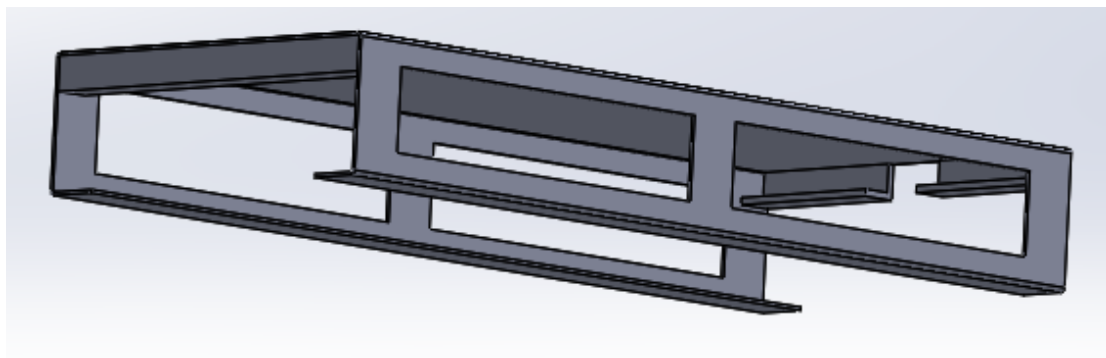
Figura 37. Corte por plasma de lámina acero INOX.



Fuente: Autor del Proyecto

Como parte adicional y con el fin de añadir resistencia a la estructura se soldaron dos perfiles de acero inoxidable en la parte delantera y trasera del patinete, debajo de la lámina superior de la BASE con la función de soportes estructurales. En la siguiente figura se presenta el CAD e imágenes del proceso de soldadura con argón.

Figura 38. CAD Corte por plasma de lámina acero INOX.



Fuente: Autor del Proyecto

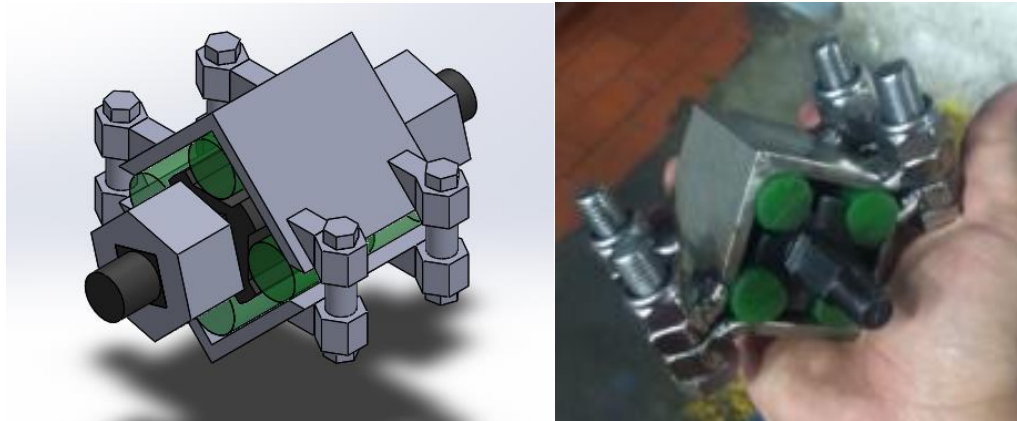
Figura 39. Soldadura de soportes estructurales con argón.



Fuente: Autor del Proyecto

Lo siguiente a realizar fueron los sistemas de suspensión basados en el principio de torsión de un eje encapsulado sobre poliuretano, Se realizó el diseño CAD con el eje y las barras de goma de PU comprados. Debido a la dificultad al momento de realizar el montaje de este sistema de suspensión se opta por diseñar una variante que facilite el ensamble de este sistema. Se utilizan dos perfiles de acero inoxidable de 2.5 mm y a estos se les sueldan dos roscas a cada uno. En el proceso de soldadura se utilizó soldadura eléctrica y por argón. Con los perfiles y las roscas soldadas se introduce el eje y se prensa con tornillos y roscas de seguridad utilizadas para reducir la posibilidad de que pierdan agarre por vibraciones. Fue necesario además mecanizar unos cuadrantes también en acero inox en los cuales encajaran las caras del eje al que van sujetas las láminas que unen la suspensión a las ruedas, esto para facilitar la unión del eje de la suspensión a las láminas. Para esto se compraron 4 cortes hexagonales y por medio de corte por erosionado se adecuó el agarre al eje. El funcionamiento para la suspensión trasera es el mismo de la delantera. A continuación se presenta el CAD y el desarrollo del mismo.

Figura 40. CAD suspensión y prototipo físico.



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 41. Corte por erosionado pieza hexagonal.

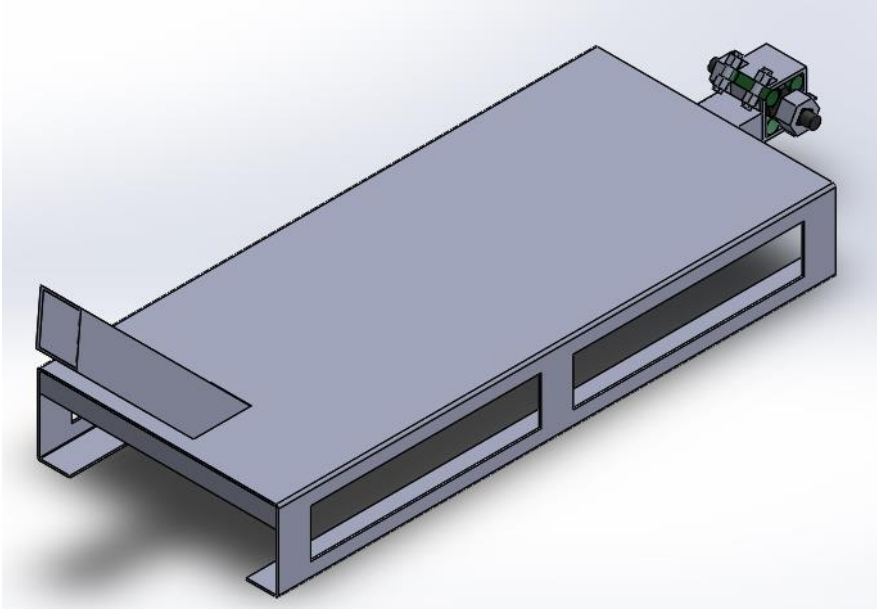


Fuente: Autor del Proyecto

El siguiente paso fue soldar a la base la unión entre la base, y el tubo con las pistas y rodamientos para la dirección, se realizó el corte de una tubería cuadrada de acero inoxidable de 2.5 mm de grosor y se soldó a la base al igual que un tubo cuadrado

de las mismas características a uno de los perfiles de la suspensión y a la parte trasera de la base a su vez. A continuación se presenta el CAD de lo realizado.

Figura 42. CAD avance estructural chasis.



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 43. Avance estructural chasis.



Fuente: Autor del Proyecto

Para el sistema de dirección se utilizó el mecanismo de rodamientos de bola. Se adquirió el rodamiento superior e inferior con esas medidas se mecanizó un tubo hueco para contener los rodamientos y las tapas, el cual se soldó a la estructura.

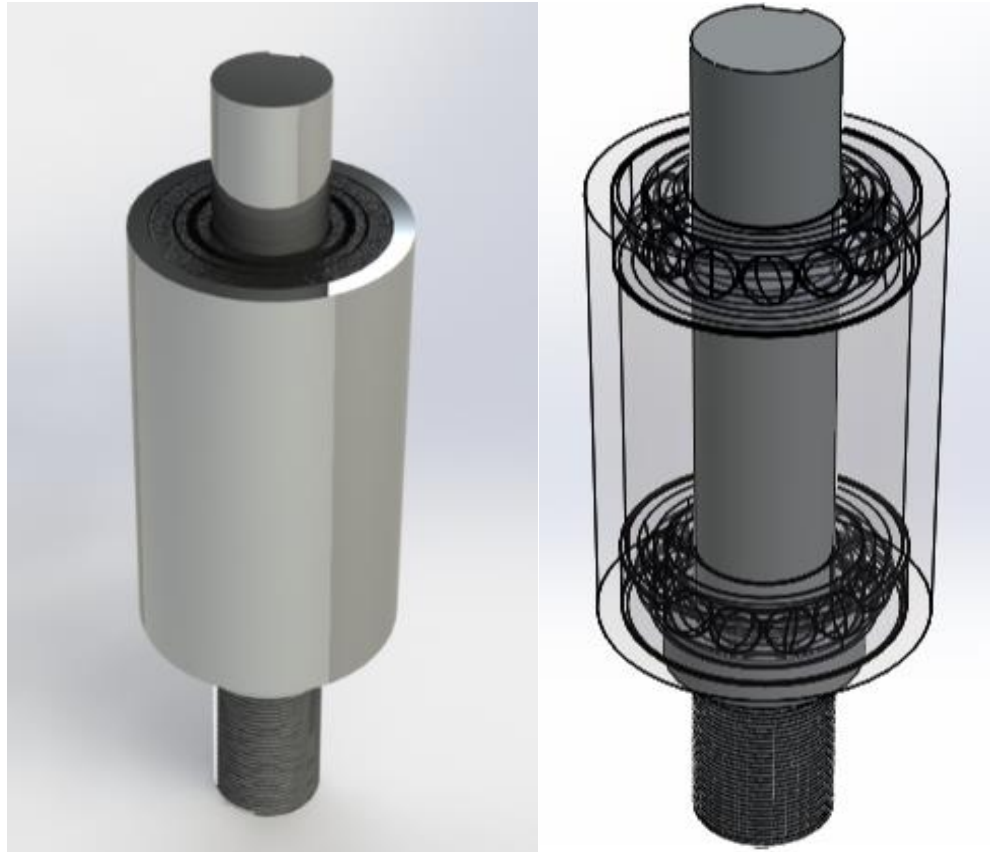
Figura 44. Mecanismo de rodamientos de bola



Fuente: Autor del Proyecto

Lo siguiente fue realizar el torneado de un eje de acero inoxidable el cual va en el interior del tubo hueco y conecta el manubrio con la suspensión delantera y cumple la función de direccionamiento. Con la herramienta motor tool se dio forma al tubo cuadrado con el radio del tubo mecanizado para soldarlo.

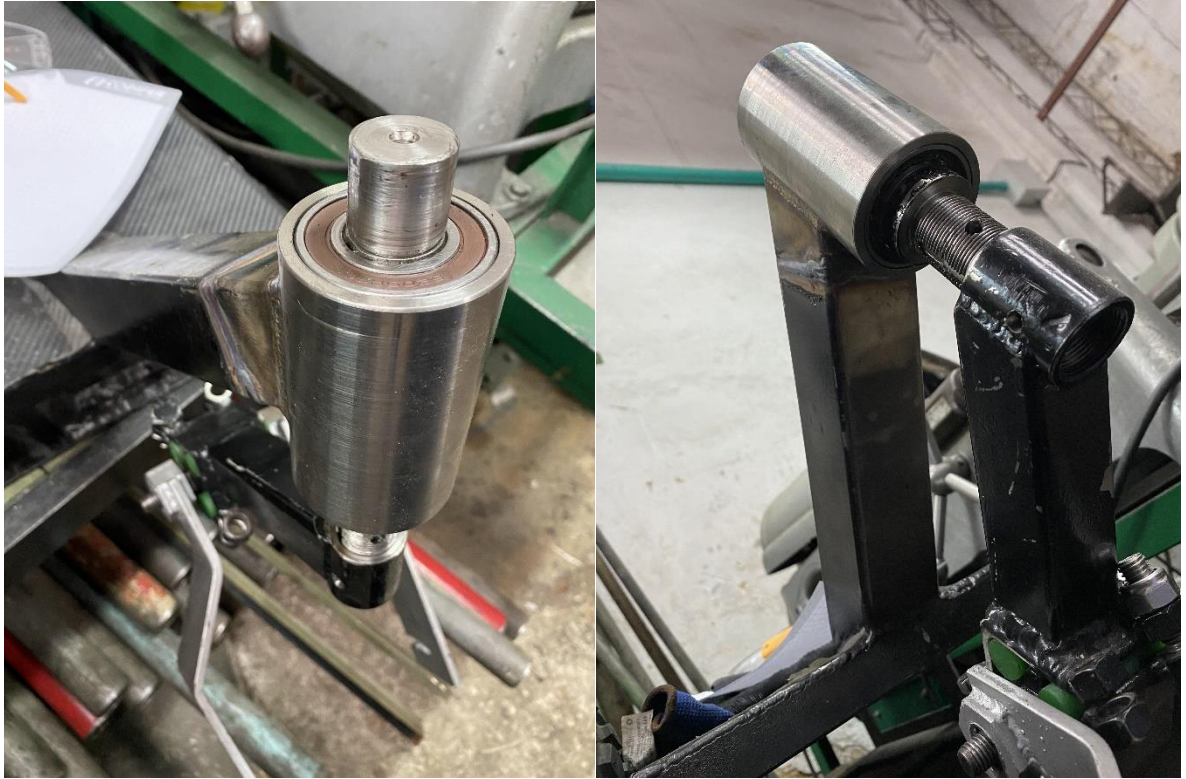
Figura 45. CAD Pistas de dirección y rodamientos.



Fuente: Autor del Proyecto

Se realizo un roscado al eje en la parte inferior para dejar poder realizar el acople restante con el resto del prototipo. De esta manera los sistemas de suspensión pueden ser ensamblados ya sobre el diseño final. Al igual que en el anterior punto se realizo el desvaste de material con motor tool con la medida del radio del tubo a soldar. A continuación se presenta el resultado fisico del prototipo.

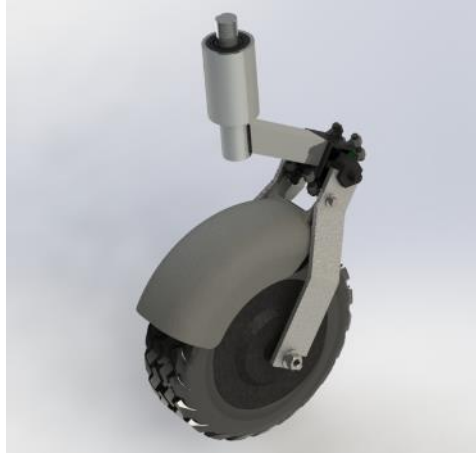
Figura 46. Montaje pistas de dirección y barra de suspensión.



Fuente: Autor del Proyecto

Continuando con el mecanizado del prototipo se procede a realizar el diseño por chapa metálica de las láminas que unen sistema de suspensión y ruedas. Con la longitud del radio de la llanta delantera se realizó el CAD para una lámina de 6.4 mm de grosor de acero inoxidable. Se adicionaron pliegues realizados con una prensa hidráulica para evitar que el material se pandee o fluctue por movimiento de la rotación en la dirección, de esta manera se asegura la resistencia estructural adecuada para este tipo de pieza.

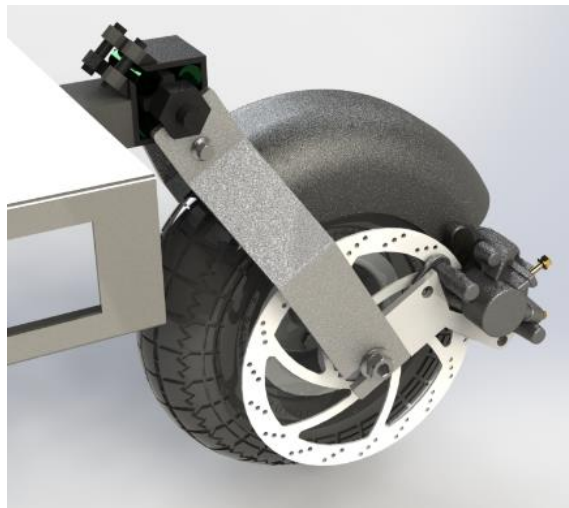
Figura 47. Montaje CAD rueda delantera.



Fuente: Autor del Proyecto

La compra de la rueda trasera presentó dificultad debido a que en el mercado local no se comercializan ruedas de las mismas características, por lo que se optó por comprar una con radio y espesor similar, aunque de un menor rin lo cual limita la velocidad de giro, por lo cuál es necesario realizar un cambio de rodamientos internos para corregir este problema. Además de anexar el sistema de frenado de disco, por lo que es necesario realizar varias correcciones a la rueda comprada.

Figura 48. Montaje CAD rueda trasera.



Fuente: Autor del Proyecto

Figura 49. CAD Final.

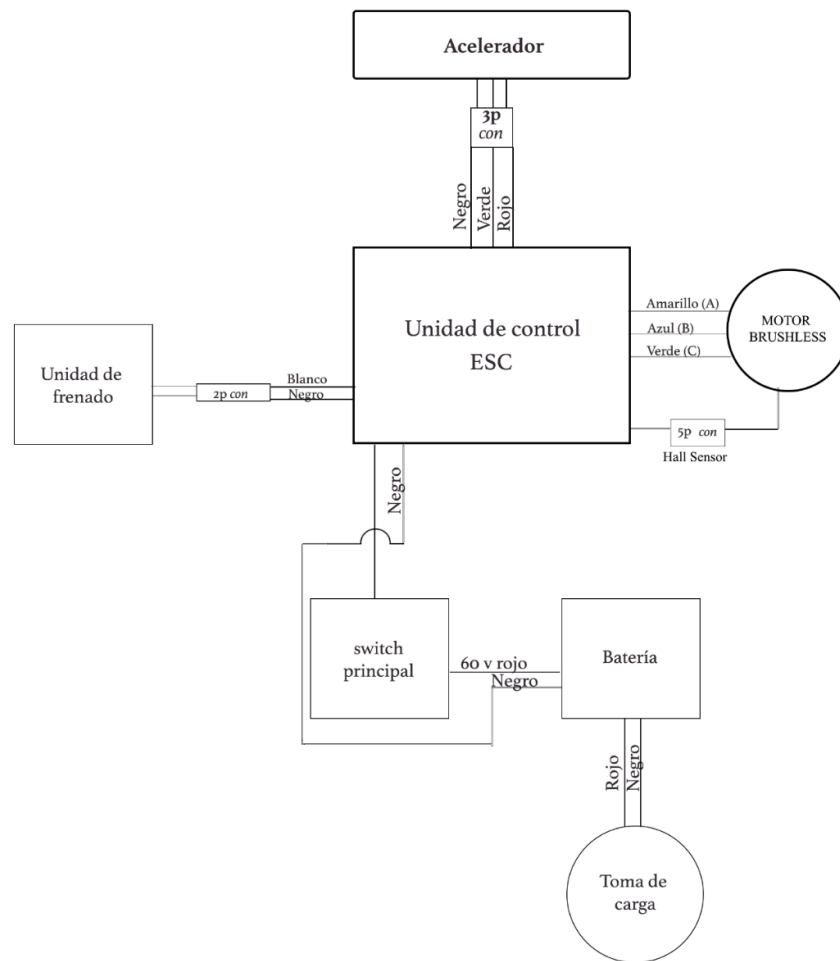


Fuente: Autor del Proyecto

8. DIAGRAMA ESQUEMÁTICO ELÉCTRICO

Para identificar las conexiones del ESC adquirido fue necesario realizar pruebas de salida de voltaje esto con el fin de determinar la funcionalidad de cada salida de conexión. Fue necesario porque el producto proveniente de china no contaba con manual instructivo de las funciones ni esquema de cableado. Una vez determinadas las salidas a 5V y a 60V fue posible determinar el cableado para el cual se realiza un diagrama para dejar establecido el orden por color de la conexión de todo el sistema.

Figura 50. Diagrama de cableado del patinete.



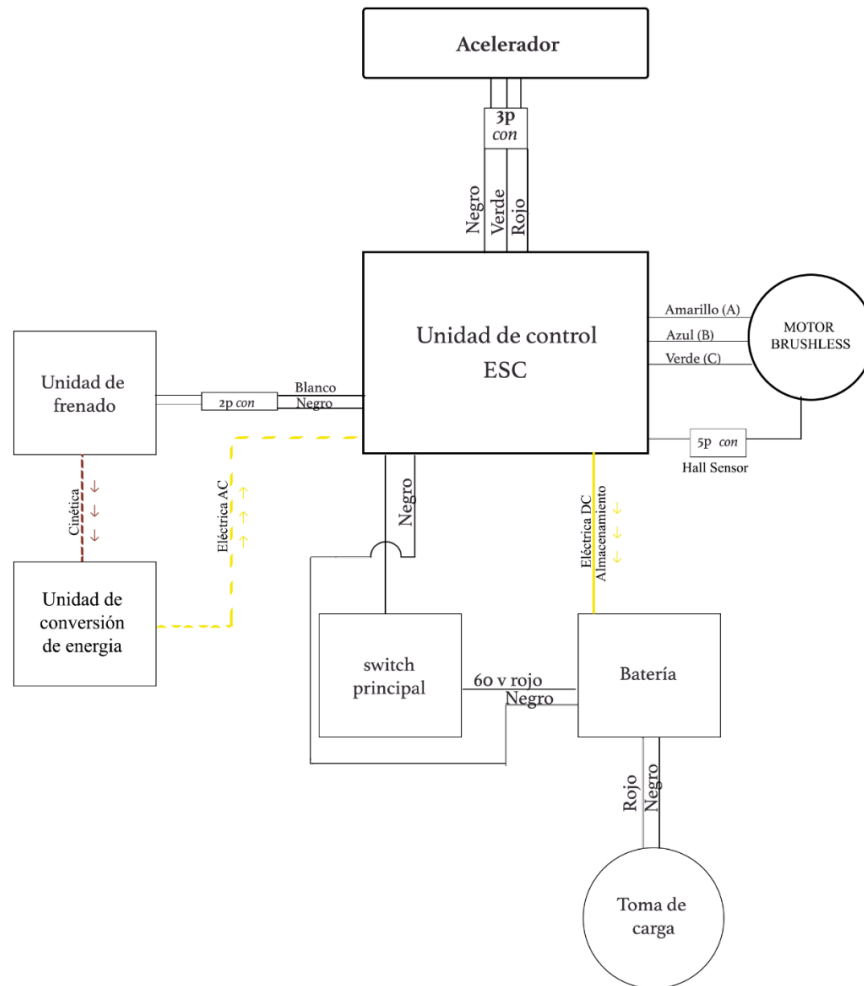
Fuente: Autor del Proyecto

Para el cableado eléctrico del patinete se determinaron las funciones a utilizar con el controlador y se estableció la conexión por cada ítem, los cuales son: Aceleración, reversa o giro invertido, llave de ignición o encendido, frenado electrónico, conexión al motor, y alimentación de batería.

8.1 DIAGRAMA ESQUEMÁTICO CON FRENO REGENERATIVO

Con la inclusión del sistema regenerativo, el esquema eléctrico de conexiones sería el siguiente.

Figura 51. Diagrama esquemático con freno regenerativo.



Fuente: Autor del Proyecto

9. PRESUPUESTO

Tabla 5. Tabla de presupuesto del proyecto.

ARTICULO	CANTIDAD	VALOR TOTAL [COP]
Motor 1600W 60V	1	533.095
Controlador 1600W 60V	1	221.613
Eje de hierro suspensión	2	200.000
Cinturón redondo PU	1 Metro	43.990
Lámina acero INOX $\frac{3}{4}$	60x60 cm	200.000
Lámina acero INOX $\frac{1}{4}$	60x60 cm	50.000
Corte plasma	4	25.000
Gastos de envío	1	578.218
Gastos de Aduana	1	280.000
Batería 60V 20 Ah	1	800.000
Soldadura eléctrica	$\frac{1}{2}$ Kg	15.000
Pieza hexagonal A. INOX	4	12.000
Corte erosionado	4	140.000
Disco para freno	1	10.000
Mordaza de freno	1	15.000
Conexiones con terminales 6	2	10.000
Conexiones con terminales 4	2	8.000
Conexiones con terminales 3	2	6.000
Conexiones con terminales 2	2	4.000
Cinta termoencogible	4 metros	10.000
Cinta aislante	1 Rollo	3.000
TOTAL		3'164.916

Fuente: Autor del Proyecto

10. VALIDACIÓN

Para la validación del prototipo se realizaron en 3 partes y dos pruebas diferentes. La primera prueba consiste en pruebas de velocidad realizadas en un terreno plano. La segunda prueba consistió en una prueba de subida en un terreno con pendiente de subida, y la tercera parte de la validación consta de cálculos de costos de carga del prototipo para la instrumentación seleccionada.

10.1 PRUEBAS DE OPERACIÓN

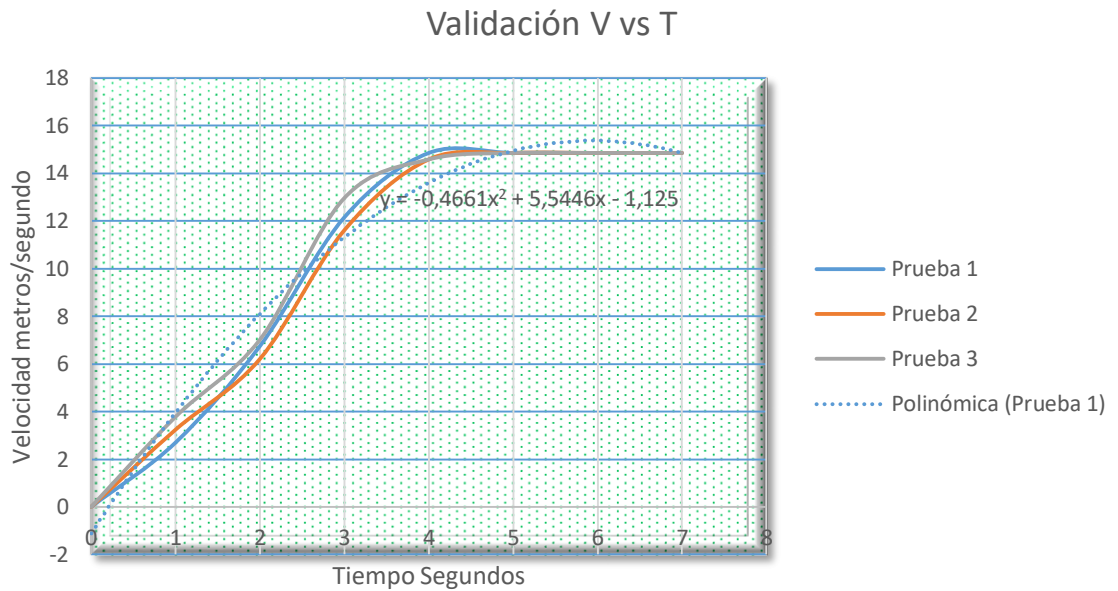
Tabla 6. Pruebas de Operación Viaducto provincial la novena

Viaducto provincial la novena
Dirección: Cra. 9 # 45, Bucaramanga, Santander
Longitud total: 550 m
Material: Mixto concreto - acero
Tipo: Puente atirantado
Datos obtenidos de la validación
<i>Velocidad máxima alcanzada: 55 km/h (15,28 m/s)</i>
<i>Tiempo promedio en aceleración a Vmax: 4 s</i>
<i>Peso total probado: 30kg + 80kg</i>
<i>Duración total por prueba: 39,5 s</i>

Prueba 1		Prueba 2		Prueba 3	
<i>t s</i>	<i>v m/s</i>	<i>t s</i>	<i>v m/s</i>	<i>t s</i>	<i>v m/s</i>
0	0	0	0	0	0
1	2,7	1	3,24	1	3,78
2	6,75	2	6,21	2	7,02
3	12,15	3	11,61	3	12,96
4	14,85	4	14,58	4	14,58
5	14,85	5	14,85	5	14,85
6	14,85	6	14,85	6	14,85
7	14,85	7	14,85	7	14,85

Fuente: Autor del Proyecto

Figura 52. Validación V vs. T



Fuente: Autor del Proyecto

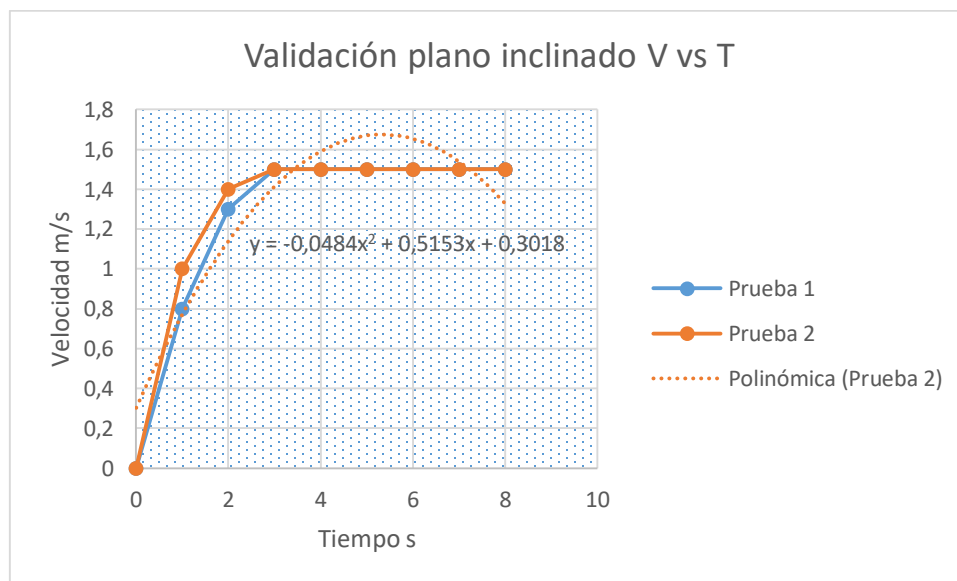
Tabla 7. Pruebas de Operación Edificio San Francisco

Edificio San Francisco
Dirección: Calle 15#20-36, Bucaramanga, Santander
Longitud total: 12 m
Inclinación 25°
Material: Concreto
Datos obtenidos de la validación
<i>Velocidad máxima alcanzada: 55 km/h (15,28 m/s)</i>
<i>Tiempo promedio en aceleración a Vmax: 3 s</i>
<i>Peso total probado: 30kg + 80kg</i>
<i>Duración total por prueba: 8 s</i>

Prueba 1		Prueba 2	
<i>t</i> s	<i>v</i> m/s	<i>t</i> s	<i>v</i> m/s
0	0	0	0
1	0,8	1	1
2	1,3	2	1,4
3	1,5	3	1,5
4	1,5	4	1,5
5	1,5	5	1,5
6	1,5	6	1,5
7	1,5	7	1,5
8	1,5	8	1,5

Fuente: Autor del Proyecto

Figura 53. Validación plano inclinado V vs. T



Fuente: Autor del Proyecto

10.2 CÁLCULOS DE CARGA

Para los cálculos de carga realizados se tuvo en cuenta datos de potencia, amperaje y voltaje del motor, batería y cargador para la instrumentación seleccionada, y se estableció un consumo de 250 w de potencia a velocidad de 20 km/h basado en cálculos previos para realizar el análisis de descarga de batería. Posterior a esto se buscó el precio por kwh en Bucaramanga y se realizó el cálculo correspondiente para determinar un tiempo de carga de 8 horas para una batería de 60V 20Ah y un precio total por carga de 708 COP.

Tabla 8. Cálculos de carga

ELÉCTRICA				
<i>Potencia (W)</i>	<i>Voltaje (V)</i>	<i>Corriente (A)</i>	<i>Capacidad batería (Ah)</i>	<i>Autonomía (Km)</i>
1600	60	26,66666667	20	0,75
MECÁNICA				
<i>Potencia (W)</i>		<i>Velocidad (Km/h)</i>		<i>Eficiencia</i>
250		20		0,8
CARACTERIZACION				
<i>Corriente (A)</i>		<i>Autonomía (Hrs)</i>		<i>Distancia (Km)</i>
5,208333333		3,84		76,8
DATOS CARGADOR - PRECIO POR CARGA				
<i>Corriente (A)</i>	<i>Tiempo carga (Hrs)</i>	<i>Eficiencia</i>	<i>Potencia cargador (Kwh)</i>	<i>Precio Carga \$</i>
2,5	8	0,8	1,5	\$ 708

Fuente: Autor del Proyecto

11. FICHA TÉCNICA

Los datos técnicos del prototipo están incluidos en la siguiente tabla de ficha técnica.

Tabla 9. Datos técnicos del prototipo

Nombre del producto	IMR Go1	Nota
Motor	1600w BLDC HUB MOTOR	Front Brushless 60v 1600W
Tipo de batería	Li-Ion Battery pack	33x17x7 Cm
Capacidad de batería	60v 20Ah	
Tiempo de carga(2.5A)	8hr +	Cargador estándar (2.5A)
Tiempo de carga(6.5A)	3hr +	Cargador rápido (6.5A)
Máximo kilometraje	≈100 Km	100Kg de carga 25Km/h carretera plana conducción continua
Máxima velocidad	60km/h	Función de ajuste de velocidad por nivel (I, II, III).
Capacidad de subida	Alrededor de 25°	Peso, estado de carretera, estado de batería o temperatura puede afectar capacidad de subida.
Carga máxima	100 Kg	
Peso del producto	≈ 25 Kg	
Tamaño desplegado		Largo x Ancho x Alto
Dashboard	Puño acelerador, visualización estado de batería, velocidad.	Función de freno electrónico, ajuste de velocidad.
Luces	Lámpara LED, luz trasera de freno.	Convertor de voltaje 60v/12v CC incorporado.
Frenos	Freno de disco delantero y trasero.	Incorpora función de freno hidráulico de disco y freno electrónico.
Suspensión	Suspensión delantera y trasera.	Sistema de suspensión con cinturón de Poliuretano de dureza variable.
Neumáticos	Neumáticos de 12" tipo OFF ROAD	

Fuente: Autor del Proyecto

12. CONCLUSIONES

- Como principal conclusión, el prototipo es funcional y la adaptación de los diferentes sistemas fue exitoso. Esto se vio reflejado en las pruebas de validación realizadas encontrando que fue posible alcanzar una velocidad de alrededor de 60 Km/h durante varias pruebas, resistiendo además una carga de hasta 85 Kg además de su propio peso.
- Fue crucial la modificación del concepto de la suspensión, aunque está basado en un modelo existente se realizaron modificaciones en el diseño para un mejor manejo y facilidad al momento de desarmar el sistema. Al cambio de dureza del material de poliuretano se obtiene una respuesta amortiguada mayor o menor en relación con esto. La carga máxima probada en movimiento fue de 95 Kg.
- El limitante principal de este proyecto es la dificultad para adquirir la instrumentación requerida, debido a que en su mayoría es necesario comprarlas en China y esto demora su envío hasta Colombia. Además de ser fundamental escoger adecuadamente los componentes debido a que cada uno funciona para ciertos tipos de voltajes y amperajes.
- El material de construcción fue escogido teniendo en cuenta las propiedades del acero inoxidable tanto en resistencia como en peso. Dando el soporte esperado a la estructura.
- No fue posible incluir el frenado regenerativo en el proyecto debido a que el controlador que se adquirió no incluía la función de corrientes regenerativas. Así que no fue posible incluir este sistema en el prototipo final.

- Es muy importante al momento de realizar las conexiones al controlador, descargarlo a tierra debido a que por lo general quedan corrientes restantes.
- La mayoría de la instrumentación como luces y tacómetros, vienen para trabajar a 60V, por lo que el consumo de batería aumenta, como medida a futuro es recomendable comprar un reductor de voltaje para cambiar la línea de trabajo a este tipo de artefactos a 12V o 5V adquiriendo previamente también instrumentación que trabaje a esta tensión, y de esta manera alargar la carga.
- Es fundamental en la adecuación de la llanta trasera realizar un trabajo nivelado para que al momento de adecuar el disco para el freno esté no presente vibraciones que resulten en contacto con la mordaza del freno y no permita un movimiento fluido del sistema.
- El motor adquirido para este prototipo fue de 1600W y como medida preventiva se recomienda ubicar el freno de disco en la rueda trasera, y la tracción en la rueda delantera, esto con el fin de evitar el frenado y aceleración simultáneo en la misma rueda, mientras no se cuente con la instrumentación para el freno electrónico que consiste en la inhabilitación de la función de aceleración mientras se accione.

BIBLIOGRAFÍA

CITYCOCO. Batería interna Litio 60V/20AH. [En Línea]. Gran Scooter Electric Vehicles. 2018. Disponible en: <https://www.gran-scooter.com/repuestos-repuestos-citycoco-bateria-interna-60v-20ah-itycoco-p-615.html>

CLAIMS PATENT SERVICES. Ensamblaje de reja. [En Línea]. Google Patentes. 1998. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US6102132A/en?q=flexiride&oq=flexiride>

CLAIMS PATENT SERVICES. Motocicleta con absorción de impactos por torsión. Estados Unidos. [En Línea]. Google Patentes. 2009. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20100259026A1/en?q=us2010%2f0259026+A1>

CLAIMS PATENT SERVICES. Muelle de torsión de goma. [En Línea]. Google Patentes. 1955. Disponible en: <https://patents.google.com/patent/US20100259026A1/en?q=us2010%2f0259026+A1>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE Y DESARROLLO SOSTENIBLE, FUNDACIÓN NATURA Y WWF-COLOMBIA. El ABC de los compromisos de Colombia para la COP21. [En Línea]. Ministerio de Ambiente. 2015. 31pp. Disponible en: http://www.minambiente.gov.co/images/cambioclimatico/pdf/colombia_hacia_la_COP21/ABC_de_los_Compromisos_de_Colombia_para_la_COP21_VF_definitiva.pdf

CONTROL DE MOTORES ELABSZ. Manejo de un Motor de CC trifásico sin escobillas con Arduino. [En Línea]. Elabz. Octubre 30 de 2011. Disponible en: <http://elabz.com/brushless-dc-motor-with-arduino/>

EL PROCUS. Bobinado del motor y sus tipos. [En Línea]. Portal El Procus. 2018. Disponible en: <https://www.elprocus.com/motor-winding-and-its-types/>

ELECTRIC TWO WHEELS (E-TWOW). About us: The E-Twow Story. [Online]. E-TWOW. 2019. Available in: <https://e-twow.com/about-us/>

ELECTRÓNICA FÁCIL. Indicador de estado para baterías. [En Línea]. Blog Electrónica Fácil. 2018. Disponible en: <https://www.electronicafacil.net/circuitos/Indicador-de-estado-para-baterias.html>

INRIX. Infografía del Cuadro de Mando de Tráfico Global INRIX. [En Línea]. INRIX. 2017. Disponible en: <http://inrix.com/resources/inrix-2017-global-traffic-scorecard/>

FORO MTB. Diámetro aproximado de rueda. [En Línea]. Foro MTB Mecánica. 15 de diciembre de 2008. Disponible en: <https://www.foromtb.com/threads/hilo-de-preguntas-r%C3%81pidas-de-mec%C3%81nica.826110/page-608>

GUTIÉRREZ, Eduardo. Sistema de Frenos de tambor o disco: ¿cuál es la diferencia? [En Línea]. Chevrolet MONTOTO. Junio 15 de 2019. Disponible en: <https://chevroletmontoto.mx/2019/06/15/frenos-de-tambor-o-disco-cual-es-la-diferencia/>

INTERNATIONAL NICKEL COMPANY. Propiedades de los Materiales. Tabla 2: Propiedades Mecánicas de Aleaciones de Aluminio Forjado. [En Línea]. IngeMecánica. 2018. Disponible en: <https://ingemecanica.com/tutoriales/materiales.html#tabla2>

JIMÉNEZ CANO, Rosa. Un ejército de patinetes eléctricos toma San Francisco, Estados Unidos. [En Línea]. Periódico El País. 11 de Abril de 2018. Disponible en: https://elpais.com/tecnologia/2018/04/08/soy_techie/1523151553_387405.html

KINETIC ENERGY RECOVERY SYSTEM. Cinética Sistema de recuperación de energía. [En Línea]. Enciclopedia Wikipedia. 2019. Disponible en: https://es.qwe.wiki/wiki/Kinetic_energy_recovery_system

KONTAKI ELECTRIC SCOOTER. Beneo Vector 1000w Electric Scooter, 48V. [En Línea]. MUZIKER. 2020. Disponible en: <https://www.muziker.si/beneo-vector-1000w-electric-scooter-48v>

KUMAR, Praveen & SOMAN, Sobi. Simulation of four Quadrant Operation of Sensor less BLDC motor. [Online]. Semantic Scholar. IOSR Journal of Electrical and Electronics Engineering (IOSR-JEEE). Volume 10, Issue 2 Ver. I. Mar – Apr. 2015, pp. 34-42. Available in: <https://pdfs.semanticscholar.org/2a9a/9275a8b3ca8445ede58d9b160fc468cb42e1.pdf>

LAZY BIKE STORE. Controlador de onda sinusoidal de 60, 120, 15000, 1600w, w, 18 MOS y 45 A para Motor de cubo, controlador de motos eléctricas. [En Línea]. AliExpress. 2019. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/item/33021450653.html>

LAZY BIKE STORE. Neumáticos de alta velocidad de 11 pulgadas, 60w, 1600w, motor de bicicleta eléctrica de 11", Buggy para llevar en motocicleta eléctrica, Motor Dultron, Motor Hub. [En Línea]. AliExpress. 2019. Disponible en: <https://es.aliexpress.com/i/32974041179.html>

MINISTERIO DEL INTERIOR DE ESPAÑA. Instrucción de la dirección general de tráfico sobre los vehículos de movilidad personal (VMP). [En Línea]. Dirección

General de Tráfico de España. 2018. Disponible en: http://www.dgt.es/Galerias/seguridad-vial/normativa-legislacion/otras-normas/modificaciones/2016/Instr_16_V_124_Vehiculos_Movilidad_Personal.pdf

MARCHÁN, Juan Antonio. Frenado Regenerativo o Kers: Eléctrico. [En Línea]. SlideShare. Mayo 11 de 2012. Disponible en: <https://www.slideshare.net/Francckko/frenado-regenerativo>

MINI MOTOR SUSA. Scooter Eléctrico Dualtron Thunder. [En Línea]. MINI MOTOR SUSA. 2019. Disponible en: <https://minimotorsusa.com/products/dualtron-thunder>

MOYA, Samuel y MARTÍNEZ, Karina. Conceptos Básicos: Sistemas de Control. [En Línea]. Revista In Tech México Automatización. Edición Octubre – Diciembre 2018. Disponible en: <https://www.isamex.org/intechmx/index.php/2018/12/24/conceptos-basicos-sistemas-de-control/>

NIEVES CASAÑ, Pastor GÓMEZ ROMERO, Pedro. Baterías de Litio: la alternativa al Plomo y al Cadmio. [En Línea]. Revista Investigación y Ciencia. Instituto de Ciencia de Materiales de Barcelona, C.S.I.C. Abril de 1996. Disponible en: <http://digital.csic.es/bitstream/10261/15686/1/ctslibat.pdf>.

NEWSBOOK. Patinete Xiaomi M365. [En Línea]. T.a.i. Editorial S.A. 2019. Disponible en: <https://newsbook.es/tag/patinete-electrico>

PÉREZ DE LAZÁRRAGA, Gonzalo Solchaga y CORRES SANZ, Jesús María. Control motor brushless sensorless. ((Trabajo Fin de Grado). E.T.S. de Ingeniería Industrial, Informática y de Telecomunicaciones. Universidad Pública de Navarra. Junio de 2015. Disponible en: http://academica-e.unavarra.es/bitstream/handle/2454/19222/TFG_Gonzalo%20Solchaga.pdf?sequence=1

PROYECTOS WIKIMEDIA. Motor eléctrico sin escobillas. [En línea]. Enciclopedia Wikipedia. 2013. Disponible en: https://es.wikipedia.org/wiki/Motor_el%C3%A9ctrico_sin_escobillas

REVISTA DINERO. Rappi INICIA el “boom” de las patinetas eléctricas en Colombia. [En Línea]. Revista Dinero. Noviembre 10 de 2018. Disponible en: <https://www.dinero.com/emprendimiento/articulo/los-negocios-de-patinetas-electricas-en-colombia/263113>

ROA PRIETO, Pablo. Diseño e implementación de un patinete eléctrico: complemento ecológico al transporte público. [En Línea]. (Proyecto Fin de Carrera Ingeniería Industrial) Universidad Pontificia Comillas. Junio 25 de 2017. Disponible en: <https://www.iit.comillas.edu/pfc/resumenes/4a37b4461b7c2.pdf>

SECRETARIA DISTRITAL DE MOVILIDAD. Circular 006. Recomendaciones de tránsito para vehículos tipo patinetas o con motor. [En Línea]. Distrito de Movilidad Bogotá. Diciembre 12 de 2019. Disponible en: <http://www.movilidadbogota.gov.co/web/sites/default/files/Paginas/2018-12-17/Circular%20006%20de%202018.PDF>

VISWABHARATHY, P., BOOBALAN, P. & ARUN WINGSTON, M. Design and fabrication of electric skateboard for off road application. (2019). [Online]. International Journal of Emerging Technologies in Engineering Research (IJETER). Volume 5, Issue 3, March 2017, pp. 195-205. Available in: <http://www.ijeter.everscience.org/Manuscripts/Volume-5/Issue-3/Vol-5-issue-3-M-43.pdf>

XIAOMI. DashBoard Xiaomi M365. [En Línea]. DESERTCART. 2020. Disponible en: <https://brunei.desertcart.com/products/139280600-vap26-dashboard-accessories-bluetooth-circuit-board-screen-cover-for-xiaomi-m365-pro-black>

XIAOMI. Scooters eléctricos y accesorios: Rueda TH-SOME 10" Xiaomi M365. [En Línea]. Amazon. 2020. Disponible en: <https://www.amazon.es/xiaomi-m365-neumaticos/s?k=xiaomi+m365+neumaticos>

ANEXOS

ANEXO A. PLANOS CAD

ANEXO B. MANUAL DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

ANEXO C. VIDEOS PRUEBA DE VALIDACIÓN

ANEXO D. MATRIZ QFD