

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE LOS SISTEMAS DE DIRECCIÓN, SUSPENSIÓN, FRENOS Y PLEGADO, EN UN VEHÍCULO ELÉCTRICO BIPLAZA PLEGABLE

Alex De la Cruz, Ricardo Inga, Juan Castro, Ernesto Santillán

Universidad De Fuerzas Armadas ESPE

Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica

rjinga@espe.edu.ec, apd1@espe.edu.ec, ersantillan@espe.edu.ec, jtcastro@espe.edu.ec

RESUMEN

El desarrollo de este proyecto empieza con la selección de los sistemas de suspensión, dirección, frenos y plegado, mas convenientes para así dar confort y seguridad a los ocupantes del vehículo eléctrico biplaza plegable, para luego ser dibujados y diseñados en un software CAD, posteriormente a esto realizar las pruebas y análisis de simulación en un software CAE el cual indicará las deformaciones, factores de seguridad, y por ende si son fiables los sistemas a construir e implementar a diversas condiciones para las cuales el vehículo fue construido.

PALABRAS CLAVE

Vehículos biplaza, Vehículo eléctrico biplaza plegable, Sistemas automotrices, Ingeniería Automotriz.

ABSTRACT

The development of this project begins with the selection of suspension systems, steering, brakes and folding, and more convenient to give comfort and safety to the occupants of the foldable two-seater electric vehicle, only to be drawn and designed in CAD software, then this testing and analysis by CAE simulation software which will indicate the deformations, safety factors, and therefore if they are reliable systems to build and implement a variety of conditions for which the vehicle was built.

KEYWORDS:

Vehicles tandem, Foldable two-seater electric vehicle, Automotive Systems, Automotive Engineering.

I. INTRODUCCIÓN

Los vehículos eléctricos, hoy en día están en un crecimiento muy importante en la industria automotriz, por las situaciones de contaminación ambiental que generan los autos de combustión en las ciudades, por esta razón hay la necesidad de diseñar un vehículo eléctrico para introducirlo en las ciudades del Ecuador. Otro punto importante es el tamaño de los autos en las ciudades y como generan congestión y abarcan mucho espacio en los parqueaderos, por tal motivo un vehículo de dimensiones pequeñas que optimice los sitios de aparcamiento es una

alternativa para así reducir congestión y aparcamientos. Con todos estos requerimientos se va a diseñar sistemas de confort y seguridad, optimizando pesos, pero con estos no reducir la entereza de los ocupantes.

II. SISTEMA DE SUSPENSIÓN PUSH- ROD

El objetivo principal de un sistema de suspensión es mantener de forma óptima el agarre del vehículo sobre el suelo. El sistema push rod es una barra de compresión, que une el punto de anclaje más externo del brazo inferior con un conjunto resorte-amortiguador mediante una bieleta. Aunque este conjunto se encontraba ahora mucho más elevado que en el caso de la suspensión basada en el pull rod, presentaba una importante ventaja, fácil acceso y la descarga de tensión del brazo inferior, algo esencial debido a las importantes cargas generadas por el efecto suelo y por la transferencia de masas en curvas de alta velocidad.



Figura 1 Suspensión Push-rod

III. SISTEMA DE DIRECCIÓN MECÁNICA.

El conjunto de mecanismos que componen el sistema de dirección tienen la misión de orientar las ruedas delanteras para que el vehículo tome la trayectoria deseada por el conductor. Siendo la dirección uno de los órganos más importantes en el vehículo junto con el sistema de frenos, ya que de estos elementos depende la seguridad de las personas; debe reunir una serie de cualidades que proporcionan al conductor, la seguridad y comodidad necesaria en la conducción. Estas cualidades son las siguientes:

- Seguridad
- Suavidad
- Precisión
- Irreversibilidad



Figura 2 Sistema de Dirección

IV. SISTEMA DE FRENOS DE DISCO

El sistema de frenos en un vehículo tiene la misión de reducir la velocidad, hasta llegar a detenerlo si fuera preciso. El efecto de frenado consiste en absorber la energía cinética producida por el vehículo en movimiento, energía que es transformada en calor por el rozamiento mutuo entre los elementos de frenado, tales como zapatas de freno y tambor, pastillas de freno con su disco, etc., y disipado a la atmósfera.

En la acción de frenado intervienen otras fuerzas, además del sistema de frenos. De ellas destacan los rozamientos de los órganos de la transmisión, la resistencia opuesta por el aire al desplazamiento del vehículo y el mismo motor cuando actúa como freno por girar más rápido las ruedas que el propio motor.

Los Frenos de disco, adoptados en la mayoría de los vehículos de turismo, tiene la ventaja sobre el freno de tambor de que su acción se frenado es mas enérgica, obteniendo, por tanto, un menor tiempo de frenado que se traduce en una menor distancia de parada. Ello es debido a que elementos de fricción van montados al aire, al disponer de una mejor refrigeración, la absorción de energía y transformación en calor se puede realizar más rápidamente.



Figura 3 Frenos de disco

V. SISTEMA DE PLEGADO

Como plan para el sistema plegado se tiene tres opciones:

- Sistema hidráulico.
- Sistema moto-propulsor.
- Sistema eléctrico

Estos son las opciones más potenciales a ser usadas.

Para el primer caso (sistema hidráulico), los elementos son fáciles conseguir en nuestro medio pero, son costosos, disminuye espacio y acumula más peso, los elementos deben ser lo más liviano posible.

En la opción 2 el sistema moto-propulsor, esta constituido de elementos que son parte de algunos de los sistemas que forman el vehículo eléctrico; por este motivo esta es la tentativa más potencial a realizar para lograr el objetivo del plegado de auto.

La opción del sistema eléctrico, consta de un actuador eléctrico el mismo que es el encargado de arrastrar la llanta posterior cuando el vehículo se encuentre detenido.

La misión de este sistema es que el vehículo se contraiga reduciendo el tamaño del auto, de esta manera reducir el aparcamiento, para así optimizar el lugar de parqueo.

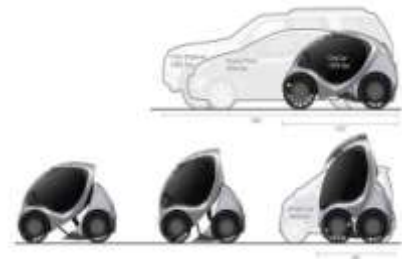


Figura 4 Plegado en el vehículo eléctrico biplaza

VI. DISEÑO DE LOS COMPONENTES DE LOS SISTEMAS.

Previo al diseño de los sistemas hay que tener en cuenta los requerimientos técnicos de carrocería, chasis, motor, baterías, tren motriz.

Tabla 1 Datos Técnicos Del Vehículo Eléctrico

| | |
|------------------------------|---------------------------|
| Potencia máxima | 7.5 Kwatts/3000 r.p.m |
| Tracción | Trasera |
| Neumáticos | 130/90 – 1667H TLM/C |
| Largo | 2700mm |
| Ancho | 1800 mm |
| Alto | 1220 mm |
| Distancia entre ejes | 2400 mm |
| Masa Vehículo | 410 kg |
| Velocidad máxima | 60 km/h |
| Aceleración 0-60 Km/h | 12 seg manual controlador |

6.1 Diseño del sistema de dirección.

Para diseñar el sistema de dirección se toma en cuenta requisitos tales como.

- Peso
- Fácil mantenimiento
- Acceso fácil

- Consumo de energía
- Económica.

De todos estos requisitos y haciendo el análisis de varias opciones se escogió una dirección mecánica, ya que esta es de fácil mantenimiento, económica y no consume energía eléctrica.

6.1.1 Parámetros de diseño del sistema de dirección.

6.1.1.1 Ecuación de giro de la dirección

La ecuación que rigen el comportamiento estacionario de un vehículo que gira en una curva se obtiene a partir de la Segunda Ley de Newton.

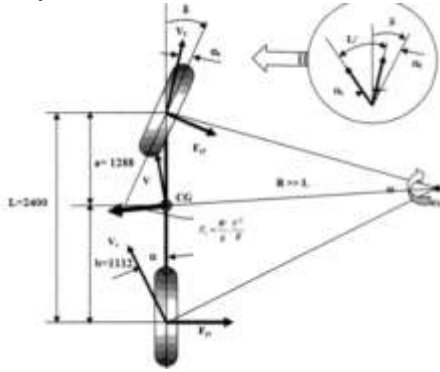


Figura 5 Giro de la dirección

— (1)

Donde:

: Fuerza lateral (en el giro) en el eje delantero.

: Fuerza lateral (en el giro) en el eje posterior.

M: Masa total del vehículo.

R: Radio de la Curva

V: velocidad del vehículo.

Del mismo modo y como el vehículo estará en equilibrio alrededor de su centro de gravedad; la suma de los momentos originados por las fuerzas laterales en los ejes delanteros y posteriores deben ser cero. Por lo tanto:

(2)

Sustituyendo la expresión anterior en la ecuación de equilibrio de fuerzas se tendrá:

— — — — (4)

A continuación se reemplaza los datos en la Ec. (5) cuando el vehículo realiza un giro en un radio de 9m y velocidad a la cual el vehículo puede realizar este giro.

$V = 10 \text{ Km/h} = 2,77 \text{ m/s}$

$R = 9 \text{ m}$

— —
—
—

Para el siguiente caso se reemplaza los datos en la ecuación 3 cuando el vehículo realiza un giro en un radio de 30m y velocidad a la cual el vehículo puede realizar este giro.

$V = 30 \text{ Km/h} = 8,33 \text{ m/s}$

$R = 30 \text{ m}$

— —
—

6.1.2 Configuración geométrica del sistema de dirección

Con ayuda de un software CAD, se diseñó las dirección la cual será implementa en el vehículo.



Figura 6 Ensamble de la dirección

6.1.3 Simulación CAD-CAE del sistema de sistema de dirección

Por medio de un software CAE se determinará las deformaciones y el factor de seguridad. Para este análisis solo se utilizará la araña, debido a que este elemento va a ser diseñado y manufacturado, los demás componente como caja de dirección, rotulas, brazos de dirección; se suprimen porque son elementos normados, estandarizados y comprobados por los fabricantes antes de salir al mercado.

En la figura 7 se aprecia el resultado del factor de seguridad, el cual tiene un valor de 3, lo cual indica que este elemento si soporta las cargas que son generadas por el sistema de dirección y a las que se encuentra sometida la mangueta de la dirección.

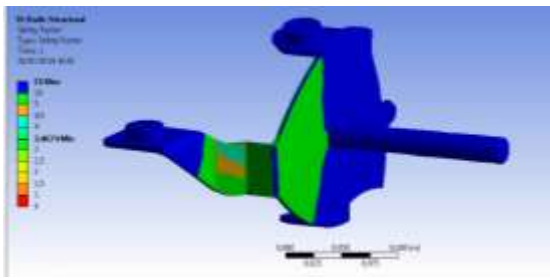


Figura 7 Factor de seguridad de la araña sometido a la fuerza de la dirección.

Las deformaciones generadas por las Fuerza lateral en el giro en el eje delantero (), son mínimas con un valor de 0.0022 m, como se puede apreciar en la Figura. 3.19, demostrando este valor, que el elemento sometido al análisis es favorable en el diseño del sistema de dirección y soportará la carga más crítica generada en este sistema.

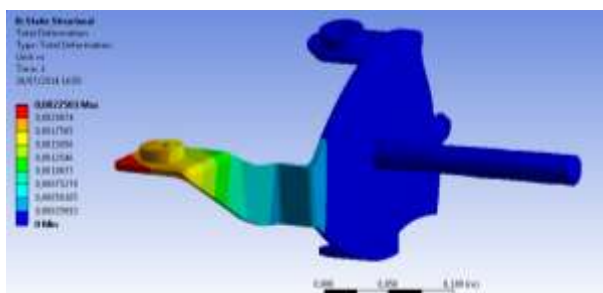


Figura 8 Deformación generada en la mangueta de dirección

6.2 Diseño del sistema de suspensión

Para el diseño de la suspensión se hay que considerar los siguientes requisitos.

- Masa de auto
- Vibraciones
- Tipo de amortiguador
- En donde transitará.

Haciendo un análisis de los diferentes tipos de suspensión existentes se escogió la de tipo push-rod.

6.2.1 Parámetros de diseño de la suspensión.

6.2.1.1 Determinación del centro de gravedad

La distribución de pesos será 55% en el eje posterior y 45% en el eje delantero, esto por consecuencia que el vehículo es de 3 neumáticos.

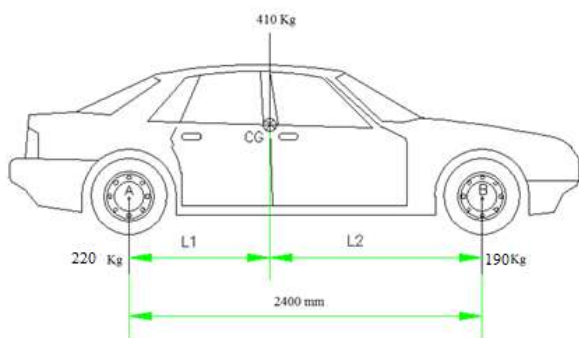


Figura 9 Diagrama de cuerpo libre del vehículo

Para hallar las longitudes desde el centro de gravedad hasta los ejes se realiza una sumatoria de momentos en el punto A.

Para establecer la altura del centro de gravedad se coloca al vehículo en una pendiente. Por lo que existe transferencia de peso al eje trasero y es necesario utilizar balanzas en las 3 ruedas para determinar el peso que ejerce sobre cada eje.

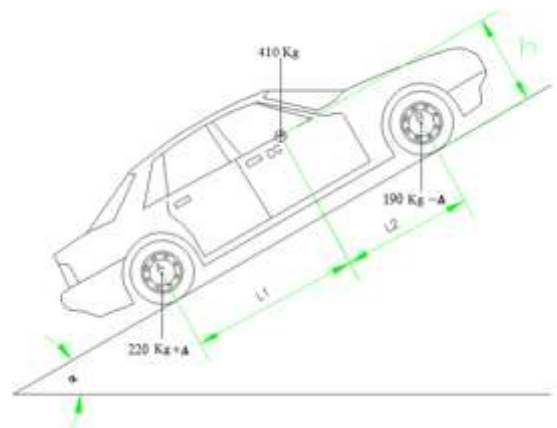


Figura 10 Diagrama de cuerpo libre en una pendiente

Se puede asumir que el centro de gravedad se encuentra a una altura desde el piso de entre el 40% y el 50% de alto del vehículo, que corresponde a la altura de los asientos. Para el cálculo se asume que se ubica a 40% de la altura del vehículo.

Altura del vehículo=1200 mm y 440mm altura de los asientos.

$$\begin{array}{r} 1200 \quad 100\% \\ 440 \quad x \end{array}$$

6.2.1.2 Determinación de las fuerzas que actúan sobre el sistema de suspensión.

Obstáculo en el camino

Para este análisis se considera que el vehículo se encuentra transitando a una velocidad de —, cuando se enfrenta a un obstáculo en la vía, el cual se asume que tiene una forma triangular de “altura 20 cm y un ángulo de 30°”

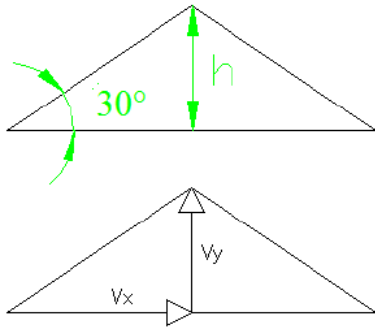
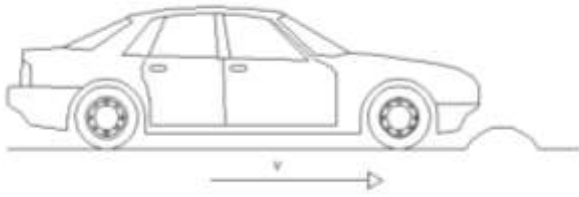


Figura 11 Cambio de velocidad al cruzar un obstáculo

El momento en que el vehículo entra en contacto con el obstáculo se produce un cambio en la velocidad en sentido vertical, es decir, se origina una aceleración en sentido vertical que a su vez genera una fuerza que deberá ser absorbida por el sistema de suspensión.

La aceleración generada en sentido vertical se puede calcular con la siguiente ecuación:

Reemplazando en la ecuación 8, la velocidad inicial en sentido vertical es cero, por lo tanto la aceleración tiene un valor de:

La distribución de pesos del vehículo es 55% en el eje delantero, la fuerza que soporta cada neumático delantero será de 27.5% del peso del vehículo, es decir 110 kg debido a la distribución del peso hacia los dos neumáticos, por lo tanto la aceleración producida por el rompe velocidades es de:

6.2.2 Configuración geométrica del sistema de suspensión

La suspensión se configura en un software CAD, que posteriormente servirá para analizar en un programa CAE.

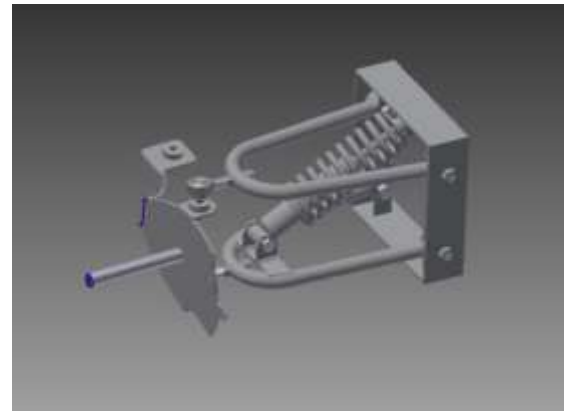


Figura 12 Ensamble del sistema de suspensión

6.2.3 Simulación CAE de la suspensión.

Antes de realizar la simulación CAE, hay que tener en cuenta las posibles condiciones de movimiento que puede darse en la suspensión para la cual se realiza uniones como se puede apreciar en la tabla 2 y figura 13.

Tabla 2 Uniones utilizadas en el Sistema de Suspensión.

| Unión | Elementos |
|-------------------------|---|
| Revolute | Tapa del resorte – Resorte |
| Revolute | Resorte- Soporte del resorte |
| Traslational | Amortiguador parte 1 – Amortiguador parte 2 |
| Spherical | Acople Rótula – Rótula |
| General (Rotación en Z) | Cápsula de Mesa – Mesa |
| Spring (Amortiguador) | Pistón – Base del cilindro Amortiguador. |

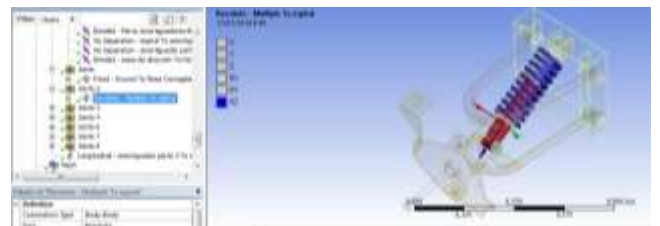


Figura 13 Conexión Revolute Múltiple – Espiral

Una vez realizadas las conexiones se procede al análisis estructural, esta se analiza con el peso de auto que es de 4018 N, dividido para los tres neumáticos es 1400 N.

Se realiza los análisis tanto de deformación y factor de seguridad como resultado da que la deformación es de 0.00015 m y el factor de seguridad de 5. Se observa en las figuras 14 y 15 respectivamente.

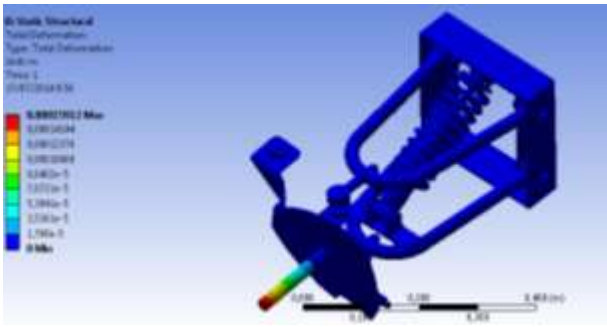


Figura 14 Resultado de la deformación total en el sistema de suspensión

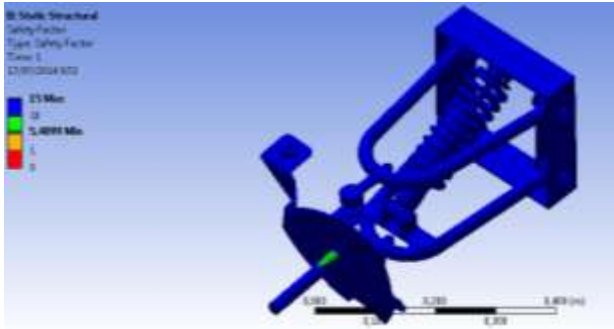


Figura 15 Factor de seguridad

A continuación se procede al análisis transiente el cual permite determinar la respuesta dinámica del sistema de suspensión bajo cualquier tipo de carga, se utiliza la carga cuando el vehículo cae en un obstáculo que es de 4420 N. Una vez hecho esto la deformación es 0,0037 m, y un factor de seguridad de 5.

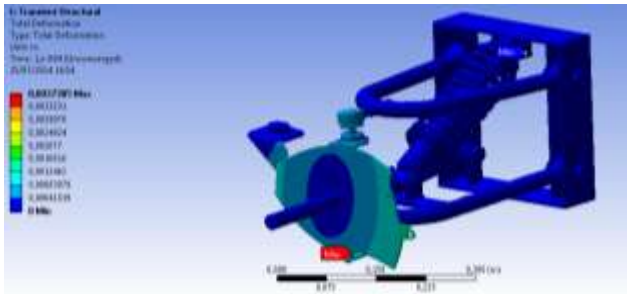


Figura 16 Deformación del sistema de suspensión en análisis transiente.

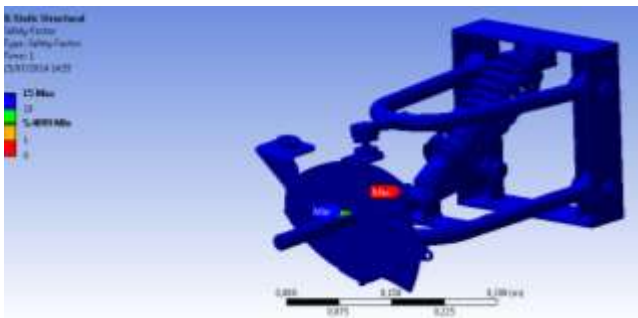


Figura 17 Factor de diseño del sistema de suspensión en transiente.

6.3 Diseño del sistema de frenos.

De varias opciones de tipos de frenos se escogió los de disco, por rápido accionamiento y mayor fuerza de frenado que los de tambor.

6.3.1 Parámetros de diseño para el sistema de frenos.

6.3.1.1 Fuerza de frenado.

La fuerza de frenado es la que se desarrolla en el contacto con el neumático-calzada como reacción al par que se opone al movimiento de giro de dicho neumático, estando limitada principalmente por la adherencia. Si se supera el límite de adherencia del contacto rueda-calzada, se produce el bloqueo de la rueda.

$$(10)$$

Despejando de la ecuación anterior, se tiene

$a = Ax = 1,137$ — dato obtenido de los cálculos del sistema de suspensión.

6.3.1.2 Fuerza ejercida sobre el cilindro maestro

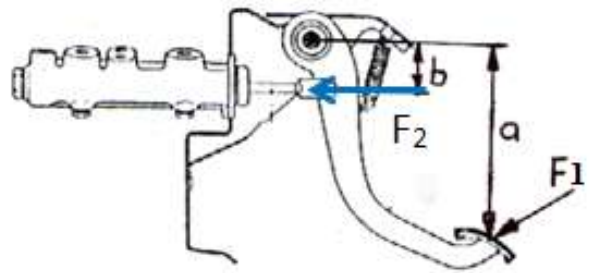


Figura 18 Distribución de fuerzas, para accionar el cilindro maestro

$$a = 30 \text{ cm}$$

$$b = 20 \text{ cm}$$

$$F1 = 294 \text{ N}$$

A continuación se calcula la fuerza F3 que se genera en los pistones de los cilindros de ruedas posteriores.

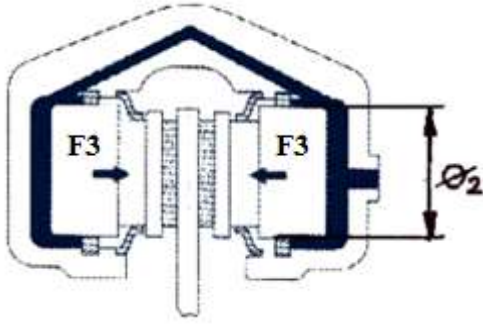


Figura 19 Fuerzas que accionan la mordaza para frenar.

$$P1=P2$$

—

— —

—————

=22 mm

=40 mm

—————

Se multiplica por 3, debido a que el vehículo tiene tres ruedas.

En conclusión el vehículo se detendrá, debido a que la fuerza ejercida en los pistones de los cilindros de las ruedas es mayor la fuerza de frenado.

6.3.2 Configuración geométrica del sistema de frenos.

A continuación se muestra la configuración de los elementos que conforman el sistema de frenos.



Figura 20 Ensamble del sistema

6.3.3 Simulación CAE del sistema de frenos.

Se analiza el disco con una fuerza de frenado por medio de la cual da una deformación de 0.00056 m y un factor de seguridad de 1,5. Que se puede apreciar en las figuras 21 y 22.

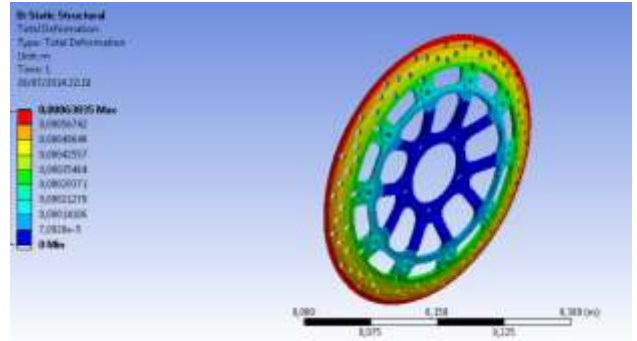


Figura 21 Deformación generada en el disco de freno.

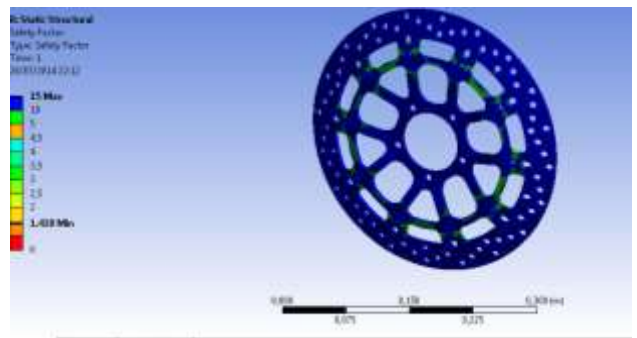


Figura 22 Factor de seguridad

6.4 Diseño del sistema de plegado.

La misión de este sistema es reducir la distancia entre el eje delantero y posterior.

Para este sistema se usará un actuador eléctrico, el cual plegará la parte posterior, reduciendo el vehículo en 20 cm la distancia entre ejes.

6.4.1 Parámetros de diseño del sistema de plegado

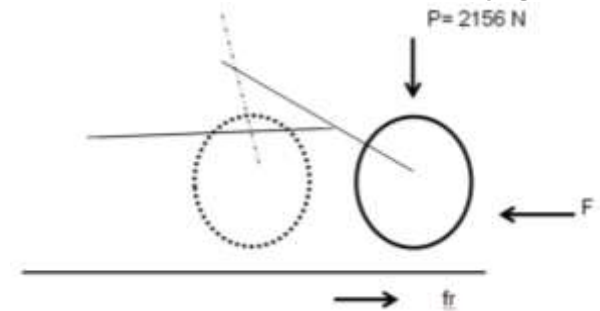


Figura 23 Esquema Plegado

Donde:

fr : fuerza de rozamiento [N]

Donde:

N: Fuerza normal [N]

U: coeficiente de rozamiento

La presión de los neumáticos de los vehículos en su mayoría es de 30 lbs/in² equivalente a 2 bares.

Para mover el eje posterior del vehículo eléctrico biplaza plegable se requiere de una fuerza de 202,67 N.

6.4.2 Configuración geométrica del sistema de plegado

Con ayuda del software CAD, se dibujó el sistema



Figura 24 Ensamble del sistema de plegado

6.4.3 Simulación CAE del sistema de plegado

Y este análisis da una deformación del sistema de $1,9 \times 10^{-7} \text{m}$ y un factor de seguridad de 5.

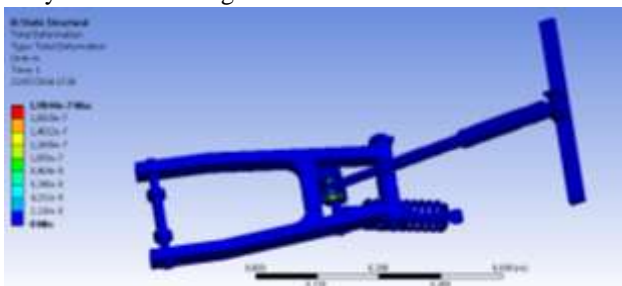


Figura 25 Deformación Total

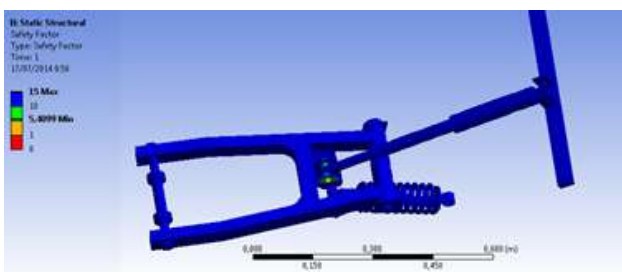


Figura 26 Factor de seguridad

VII. CONSTRUCCIÓN Y ENSAMBLE DE LOS SISTEMAS.

Una vez terminada la parte de los cálculos, análisis y simulaciones, que dio resultados favorables se procede a realizar la construcción de los diferentes sistemas para el vehículo eléctrico biplaza plegable.

Con ayuda de herramientas y tomando medidas de seguridad. Se realiza las mediciones y cortes pertinentes para construir los sistemas.



Figura 27 Trazos y mediciones



Figura 28 cortes de los materiales.

En figura 28, muestra como se realiza la construcción del sistema de la suspensión.



Figura 29 Corte de la capsulas que alojan a las mesas del sistema de suspensión



Figura 30 Colocación de las capsulas en el chasis



Figura 31 Ubicación de las mesas

Por medio de la cortadora de plasma se realiza el corte para la porta manguetas.



Figura 32 Cortadora de plasma

Esta porta manguetas, es multipropósito porque sirven no solo para la suspensión sino para el sistema de freno y dirección, aquí es donde irán alojadas las mordazas de los frenos, los terminales de dirección, suspensión y sostendrán a los neumáticos.



Figura 33 Arañas listas para ser ubicadas

Ubicación de la dirección en chasis.



Figura 34 Sistema de dirección.

Ensamble de los sistemas de frenos, suspensión y dirección



Figura 35 Ensamble

Ensamble del sistema de plegado y suspensión posterior.



Figura 36 Sistema de suspensión y plegado.

En la figura 37 se observa el ensamble de todos los sistemas.



Figura 37 Vehículo terminado

VIII. CONCLUSIONES

- Se ha logrado construir los sistemas de frenos, suspensión, dirección y plegado acorde a las necesidades requeridas para el vehículo eléctrico biplaza, satisfaciendo los requerimientos del confort y seguridad con éxito.
- El factor de seguridad y deformación de la mangueta de dirección mediante el software CAE, es de 3 y 0,00022 m respectivamente siendo estos valores

favorables para la construcción de este elemento, este análisis fue sometido a la carga más crítica (439 N).

- El tipo de suspensión utilizada para el vehículo eléctrico biplaza plegable fue el denominado Pushrod, la cual mediante pruebas en carretera fue favorable cumpliendo los resultados esperados.
- Por medio del software CAE se determinó que el sistema de suspensión en forma estática, tiene una deformación de 0.00015 m y un factor de seguridad de 5, la cual fue sometida a una carga de 1400 N.
- En el análisis dinámico la deformación del sistema de suspensión fue de 0.0037 m con un factor de seguridad 5 aplicado a una carga de 4420N, llegando a la conclusión que el sistema utilizado es óptimo para el vehículo eléctrico biplaza plegable.
- El vehículo se detendrá, debido a que la fuerza ejercida en los pistones de los cilindros de las ruedas es mayor la fuerza de frenado,
- Mediante el software CAE se determinó que la deformación generada por la fuerza de frenado () en el disco de frenos es de 0.00056 m y un factor de seguridad de 1,5; demostrando que este elemento soportará la carga más crítica generada por el sistema de frenos.
- Se ha determinado que el sistema de plegado no es la mejor opción para reducir la distancia de aparcamiento, debido a que este reduce 20 cm siendo un porcentaje mínimo del tamaño total del vehículo.
- El sistema de plegado utiliza un actuador eléctrico de 4000 N, 24 V DC, cumpliendo con los requerimientos, debido a que este actuador vence la fuerza de resistencia de 203 N del eje posterior.
-

IX. REFERENCIAS

- [1] Ruiz, J. F. (2010). La Dinámica del Automóvil. En J. F. Ruiz, Tratado Sobre Automóviles (págs. 488-504). España- Valencia: Universidad Politécnica de Valencia.
- [2] Martínez, R. G. (2009). Sistemas de dirección en vehículos. Guatemala: Edinfocar.
- [3] Smith. (1984). Engineer to Win: The essential Guide to Racing Car Materials Technology. MBI Publishing Company.
- [4] Toro Restrepo, M. (2006). Diseño de un vehículo de competición bajo los reglamentos de la fórmula SAE. Medellín, Colombia: Universidad Eafit, Escuela de ingeniería.
- [5] MARKS. (2009). Manual del Ingeniero Mecánico. San Francisco: McGraw-Hill.

BIOGRAFÍA.



Alex De la Cruz, nació en Sangolquí, Ecuador. Es ingeniero Automotriz, presta sus servicios profesionales en sistemas automotrices.



Ricardo Inga Cueva, nació en Quito, Ecuador. Es ingeniero Automotriz, presta sus servicios profesionales en sistemas automotrices.



Juan Castro, nació en Ambato, Ecuador. Es ingeniero Mecánico, dispone de estudios de maestría en gerencia de educación superior, especialista en proyectos de investigación científica y tecnología. Es director de la carrera de Ingeniería Automotriz, de la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE.



Ernesto Santillán, nació en Riobamba, Ecuador. Es ingeniero Mecánico, dispone de estudios de posgrado en dirección de empresas mención proyectos, maestrante en la EPN, en el programa de Diseño, producción y automatización Industrial. Docente tiempo parcial en la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE desde el 2010.