

## **ANÁLISIS MULTICUERPO Y CONTROL DINÁMICO DEL VEHÍCULO ELÉCTRICO TWIZY**

### **MULTIBODY ANALYSIS AND DYNAMIC CONTROL OF THE ELECTRIC VEHICLE TWIZY**

Gabriel Vinicio Moreano Sánchez, Juan Carlos Castelo Valdiviezo, Alvaro Gabriel Benitez Bravo, Víctor Hugo Benítez Bravo,  
<sup>1,2</sup> Escuela Superior Politécnica de Chimborazo, Panamericana Sur Km 1 ½, Riobamba – Ecuador. <sup>3,4</sup> Universidad de las Fuerzas  
Armadas – ESPE, Av. General Rumiñahui s/n y Paseo Escénico Santa, Quito - Ecuador.  
e – mail : <sup>1</sup>gabriel.moreano@espech.edu.ec <sup>2</sup>j\_castelo@espech.edu.ec , <sup>3</sup>agbenitez@espe.edu.ec , <sup>4</sup>vhbenitez@espe.edu.ec.

*Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro VI Edición 2017, No.1 (19)*

#### **Resumen**

Dado que el Ecuador un país agrícola se considera necesario proporcionar nuevas y mejores herramientas de trabajo a los agricultores, brindándoles una solución para aumentar su productividad. Como parte de esta solución se plantea la automatización de un vehículo eléctrico Twizy de marca Renault ya que por sus dimensiones (1.2 x 2.3 metros) puede fácilmente circular sobre parcelas de cultivo; además tiene un radio de curvatura muy reducido (3.4 metros) lo que facilita las maniobras de cambio en las cabeceras y con ello la inspección completa del cultivo.

Como parte del proyecto de automatización se desarrolla: el modelado dinámico del vehículo Twizy, los sistemas de control para velocidad y dirección del vehículo utilizando técnicas borrosas; que utilizará como entrada una consigna generada por un sistema de identificación de una línea de cultivo (otra etapa del proyecto).

El análisis dinámico se desarrolla con la técnica de modelado multicuerpo utilizando las herramientas SimMechanics y Simulink, esta técnica brinda la posibilidad de analizar el comportamiento del vehículo ante distintos tipos de estímulos internos y externos como la fuerza de tracción, fuerzas resistivas de avance y fuerzas de entrada a una curva.

#### **Palabras Clave:**

Contaminación, Dinámica de Sistemas, Emisiones, Energías Renovables.

#### **Abstract**

Given that Ecuador is an agricultural country, it is considered necessary to provide new and better working tools to farmers, providing them with a solution to increase their productivity. As part of this solution the automation of a Renault Twizy electric vehicle is proposed as it can be easily moved over crop plots due to its dimensions (1.2 x 2.3 meters); also has a radius of curvature very reduced (3.4 meters) which facilitates the maneuvers of change in the headwaters and with it the complete inspection of the crop.

As part of the automation project is developed: the dynamic modeling of the vehicle Twizy, control systems for speed and direction of the vehicle using fuzzy techniques and that will use as input a command generated by a system of identification of a line of cultivation (another stage of the project).

Dynamic analysis is developed using the multibody modeling technique using the SimMechanics and Simulink tools. This technique provides the possibility of analyzing the behavior of the vehicle against different types of internal and external stimuli such as tensile force, resistive forces and forces entry to a curve.

#### **Keywords:**

Automation, fuzzy, control, modeling, multibody, SimMechanics.

## 1. INTRODUCCIÓN

### Objetivo

Este trabajo tiene como objetivo modelar y virtualizar un vehículo eléctrico con miras a utilizarlo en tareas de agricultura de precisión, para ello se plantea utilizar técnicas de modelado multicuerpo y técnicas de control borrosas.

### Definiciones

Agricultura de precisión (AP).- La aplicación de las tecnologías para obtener información sobre la variabilidad existente en suelos y cultivos, a fin de aplicar la cantidad justa de insumos en el momento y lugar adecuado. [1]

Ventajas principales para la selección de un auto eléctrico:

- El motor eléctrico es altamente controlable, no se necesitan marchas.
- Los vehículos eléctricos tienen mayor eficiencia que los vehículos con motor a combustión.

Vehículo eléctrico Twizy.- es un vehículo para 2 personas, que incorpora un motor asíncrono de 17 cv en su versión sport y que garantiza un aparcamiento sencillo gracias a sus dimensiones y su reducido radio de giro. [2]

En la Figura 1 se muestra el vehículo Twizy sobre líneas de cultivo de siembra ancha.



Figura 1. Vehículo Twizy sobre líneas de cultivo.

Navegación autónoma.- La navegación autónoma se puede definir como la capacidad de moverse de forma segura a lo largo de una trayectoria entre un punto de inicio y otro final. [3]

Los problemas a resolver con la navegación autónoma son:

- 1) Cálculo de la posición o localización.
- 2) Representación del entorno (mapeo).
- 3) Planificación de trayectorias.

Para tratar adecuadamente cada uno de los problemas anteriores el auto debe disponer al menos de las etapas del diagrama de bloques mostrado en la Figura 2.

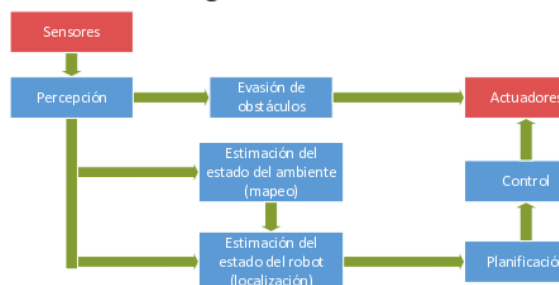


Figura 2. Diagrama de bloques de un sistema de navegación autónoma.

## 2. MATERIALES Y MÉTODOS

### Modelado

Un sistema multicuerpo se define como aquel sistema fundamentalmente mecánico formado por varios sólidos rígidos o flexibles, parcialmente unidos entre sí mediante pares cinemáticos, es decir, uniones imperfectas entre sólidos que permiten algunos grados de libertad y restringen otros. [4]

La utilización del modelado multicuerpo intenta reducir la alta complejidad que llevaría modelar sistemas como vehículos, satélites, aviones, entre otros que por sus múltiples componentes llevarían una tarea de modelado matemático bastante extenso. La aproximación propuesta intenta asemejarse al máximo al modelo original del vehículo incluyendo masas y momentos de inercia. [5] y [6]

### Dinámica del Vehículo

El estudio dinámico de un vehículo se divide en dos análisis según se estudian en [7], primero el análisis de fuerzas longitudinales, que trata el estudio de las fuerzas de propulsión y resistencia al movimiento, y segundo el estudio de las fuerzas laterales que son las responsables de que el vehículo pueda girar en una curva.

### Sistema de Coordenadas Mundo

El origen del sistema de coordenadas mundo está en cualquier punto de la carretera, lo más común es establecer un sistema de coordenadas con ejes  $X_w$ ,  $Y_w$ ,  $Z_w$  como se ve en la Figura 3, donde las coordenadas de  $X$  y  $Y$  definen la posición del CG del vehículo y el ángulo  $\phi$  define la inclinación del eje central del mismo respecto al eje  $X_w$  del sistema, es decir la dirección de movimiento del vehículo.

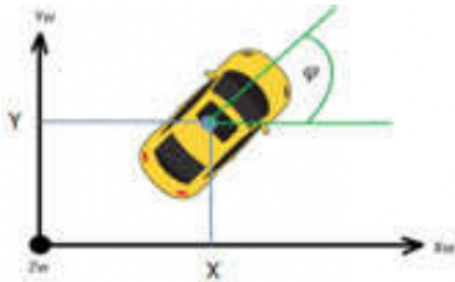


Figura 3. Sistema de coordenadas mundo.

### Sistema de Coordenadas Cuerpo

Es el sistema en el que se basa el análisis de movimiento del vehículo. En la Figura 4  $X$ ,  $Y$  y  $Z$  son las coordenadas ligadas al CG, desplazándose junto con el vehículo.  $V_x$  y  $V_y$  son los componentes de velocidad lineal del vehículo respecto a  $X$  y  $Y$ . Finalmente  $\phi'$  define la variación la velocidad angular en el eje  $Z$ .



Figura 4. Sistema de coordenadas cuerpo.

### Simplificaciones

Para el modelador dinámico del vehículo se toman en cuenta las leyes fundamentales de la ingeniería del automóvil, pero dado la enorme cantidad de variables a considerar y la complejidad que lleva analizar los sistemas y subsistemas es necesario hacer varias suposiciones que simplifiquen el modelo sin afectar de manera significativa el comportamiento real. Las simplificaciones son:

- Simplificación del sistema de suspensión.- de acuerdo a la información de fábrica del Renault Twizy este posee una suspensión rígida casi al nivel de un Go Kart por lo que no se considera en este trabajo ningún tipo de balanceo en el vehículo.
- Simplificación del sistema de propulsión.- Se considera una única fuerza sobre el CG para el movimiento longitudinal del vehículo que representa la suma de todas las fuerzas de propulsión de las ruedas motrices.
- Simplificación del sistema de dirección.- Se considera una única fuerza que actúa sobre un solo eje del vehículo, este caso el eje delantero, que será la suma de todas las fuerzas laterales sobre los neumáticos y el CG.
- Componentes.- Se tienen en cuenta solo los componentes indispensables para la virtualización del modelo como la carrocería, neumáticos y ejes, entre otros.

### Dinámica Longitudinal

Se analizan las fuerzas que actúan sobre el eje  $X$  del sistema de coordenadas cuerpo, y se realiza un equilibrio de esfuerzos según la segunda ley de Newton.

$$\text{Donde: } \sum F_x = ma_x = F_T - F_R \quad (1)$$

$F_T$  = Fuerzas de tracción

$F_R$  = Fuerzas resistentes

La fuerza de tracción ( $F_T$ ) es la generada por el motor del vehículo y transmitida al entorno por los neumáticos. Las fuerzas resistentes son las fuerzas que se oponen al movimiento del vehículo y son: la fuerza de resistencia aerodinámica ( $R_a$ ), la fuerza de resistencia a la rodadura ( $R_r$ ) y la fuerza por acción del peso ( $R_p$ ).

$$R_{RT} = R_a + R_r + R_p \quad (2)$$

En la Figura 5 se puede observar cómo interactúan estas fuerzas con el vehículo, donde  $W_x$  representa la componente del peso sobre el eje X y es la que se considera como fuerza por acción del peso.

En la Figura 6 se muestra el sistema de fuerzas longitudinales implementado.



Figura 5. Acción de fuerzas longitudinales.

Fuerza de resistencia aerodinámica.- Cuando el vehículo avanza arrastra consigo una masa de fluido, la resistencia aerodinámica depende del flujo exterior del vehículo y de la circulación del aire por el interior. Se puede determinar la resistencia aerodinámica mediante la ecuación (3).



Figura 6. Sistema de dinámica longitudinal.

$$R_a = \frac{1}{2} \rho C_x A_f V^2 \quad (3)$$

Donde:

$\rho$  Es la densidad del aire en Kg/m<sup>3</sup>.

$C_x$  Es el coeficiente aerodinámico adimensional.

$A_f$  Es el área frontal del vehículo en m<sup>2</sup>.

$V$  Velocidad de avance del vehículo en m/s.

La densidad del aire ( $\rho$ ) dependerá de las condiciones de presión y temperatura ambientales, bajo condiciones normales ( $T=25\text{ °C}$  y  $P=1.074\text{ Pa}$ ) la densidad del aire es  $\rho=1.225\text{ Kg/m}^3$ .

El área frontal se obtiene multiplicando las dimensiones de ancho y alto del vehículo por un factor de ajuste ( $f$ ) debido a los cortes en la

carrocería, este factor de ajuste puede variar entre 0.8 y 0.85.

$$A_f = f(\text{ancho})(\text{alto}) \quad (4)$$

El coeficiente aerodinámico ( $C_x$ ) es particular de cada vehículo y depende de la forma que este tenga, para el vehículo Twizy los parámetros reales son los mostrados en la Tabla 1.

Tabla 1. Parámetros reales del vehículo Twizy.

Parámetro	Valor	Unidad
Área Frontal ( $A_f$ )	1.39	m <sup>2</sup>
Densidad del aire ( $T = 25\text{ °C}$ , $P = 1.074\text{ Pa}$ )	1.225	Kg/m <sup>3</sup>
Coficiente Aerodinámico ( $C_x$ )	0.64	-
Velocidad ( $V$ )	sensor	m/g

El diagrama de bloques para la resistencia aerodinámica es el mostrado en la Figura 7.

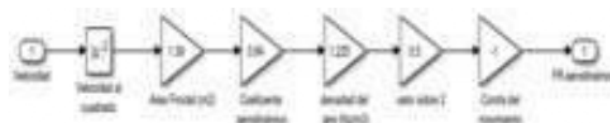


Figura 7. Fuerza de resistencia aerodinámica.

Fuerza de resistencia a la rodadura.- La fuerza de resistencia al movimiento del vehículo debido a la fricción entre los neumáticos y la superficie en contacto se obtiene de la ecuación 5, donde  $W$  es el peso del vehículo, considerando que la superficie de circulación es tierra se utiliza un coeficiente de fricción  $\mu_e$  e igual a 0.4. EN la Figura 8 se muestra el diagrama de bloques implementado.

$$R_r = \mu_e W \quad (5)$$

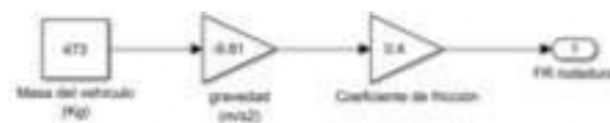


Figura 8. Cálculo de fuerza de resistencia a la rodadura.

Fuerza por acción del peso.- Esta fuerza actúa solo cuando el vehículo circula por pendientes inclinadas ya que en esos casos existe un componente de peso longitudinal que afecta al movimiento del vehículo, esta componente se define según ecuación (6), donde  $m$  es la masa del vehículo,  $g$  la gravedad y  $\phi$  el ángulo en radianes de la superficie respecto de la horizontal.

$$R_p = mg \sin \phi \quad (6)$$

En la Figura 9 se muestra el diagrama de bloques para el cálculo de esta fuerza.



Figura 9. Cálculo de la acción del peso sobre el vehículo.

### Dinámica Lateral

Si el vehículo circula a velocidades bajas según [8] se puede suponer que la velocidad en cada rueda coincide con la dirección de las mismas, haciendo que el análisis de movimiento lateral sea más sencillo al no considerar la acción de ninguna fuerza. Para el proyecto se estima una velocidad de circulación aproximada de 5 Km/h. Por lo que el modelo se acoge al modelo cinemático lateral.

Las ecuaciones de este modelo se basan en las relaciones geométricas que gobiernan al sistema y en la aproximación al modelo de bicicleta (ver Figura 10). En este modelo las llantas delanteras están representadas por una sola en el punto A y las llantas traseras también están representadas por una sola en el punto B.

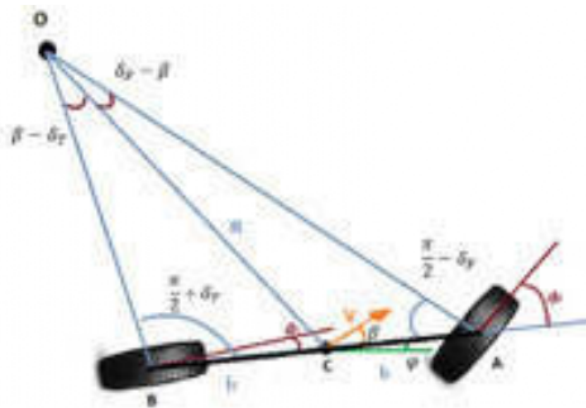


Figura 10. Modelo bicicleta aproximado.

Los ángulos de dirección para las llantas delanteras y traseras están representados por  $\delta_F$  y  $\delta_T$  respectivamente. En el modelo se supone que ambas ruedas pueden ser direccionadas pero se aproxima a cero el  $\delta_T$  para simplificar el cálculo. El punto C marca el CG del vehículo. La distancia entre los puntos A y B y el CG son  $l_F$  y  $l_T$  respectivamente. La distancia entre ejes es  $L = l_F + l_T$ .

La velocidad del CG del vehículo se denomina V y forma un ángulo  $\beta$  con el eje longitudinal del vehículo, llamado ángulo de deslizamiento del vehículo. Por la restricción de movimiento del vehículo se necesitan tres parámetros para describir el movimiento que son: X, Y y  $\phi$ . X y Y son coordenadas inerciales de la localización del CG mientras que  $\phi$  describe el movimiento de revolución del vehículo sobre el eje Z, también llamado ángulo de rumbo del vehículo.

El vector velocidad de la rueda delantera forma un ángulo  $\delta_F$  con el eje longitudinal del vehículo. La fuerza lateral total de ambos neumáticos se calcula a partir de la ecuación (7), que representa la fuerza centrífuga que actúa sobre el vehículo, y depende únicamente de la magnitud de la velocidad.

$$\frac{mV^2}{R} \quad (7)$$

Si se aplica la ley de senos a los triángulos OCA y OCB se tienen las ecuaciones (8) y (9) respectivamente.

$$\frac{\sin(\delta_F - \beta)}{l_F} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} - \delta_F)}{R} \quad (8)$$

$$\frac{\sin(\beta - \delta_T)}{l_T} = \frac{\sin(\frac{\pi}{2} + \delta_T)}{R} \quad (9)$$

Por equivalencias trigonométricas se llega a las expresiones (10) y (11).

$$\frac{\sin(\delta_F) \cos(\beta) - \sin(\beta) \cos(\delta_F)}{l_F} = \frac{\cos(\delta_F)}{R} \quad (10)$$

$$\frac{\cos(\delta_T) \sin(\beta) - \cos(\beta) \sin(\delta_T)}{l_T} = \frac{\cos(\delta_T)}{R} \quad (11)$$

Multiplicando ambos lados de las ecuaciones por:  $\frac{l_F}{\cos(\delta_F)}$  y  $\frac{l_T}{\cos(\delta_T)}$  respectivamente se tienen las ecuaciones (12) y (13).

$$\tan(\delta_F) \cos(\beta) - \sin(\beta) = \frac{l_F}{R} \quad (12)$$

$$\sin(\beta) - \tan(\delta_T) \cos(\beta) = \frac{l_T}{R} \quad (13)$$

Sumando las ecuaciones (12) y (13) se llega a la expresión (14).

$$\{\tan(\delta_F) - \tan(\delta_T)\} \cos(\beta) = \frac{l_F + l_T}{R} \quad (14)$$

Sabiendo que la velocidad angular es la relación de la velocidad lineal con el radio de giro ( $\dot{\varphi} = \frac{v}{R}$ ), se llega a la expresión (15).

$$\dot{\varphi} = \frac{V \cos(\beta)}{l_F + l_T} (\tan(\delta_F) - \tan(\delta_T)) \quad (14)$$

Como se mencionó  $\delta_T$  puede aproximarse a cero, por lo que se obtienen ya las ecuaciones del movimiento (15) (16) y (17).

$$\dot{X} = V \cos(\varphi + \beta) \quad (15)$$

$$\dot{Y} = V \sin(\varphi + \beta) \quad (16)$$

$$\dot{\varphi} = \frac{V \cos(\beta)}{l_F + l_T} \tan(\delta_F) \quad (17)$$

En la Figura 11 se observa el diagrama de bloques implementado para el cálculo de la fuerza lateral y en la Tabla 2 se observan los parámetros reales del vehículo Twizy utilizados para dicho proceso.

Tabla 2. Parámetros reales para el cálculo de la fuerza lateral.

Parámetro	Valor	Unidad
Longitud de eje a eje (L)	1.79	m
Longitud del CG al eje Trasero ( $L_T$ )	0.8955	m
Masa del vehículo	473	Kg
Radio de curvatura	3.4	m
Velocidad Angular de giro ( $\omega$ )	Ec. 17	Rad/s

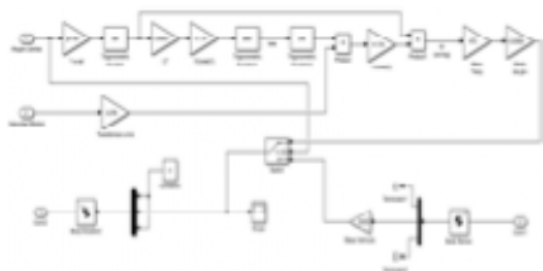


Figura 11. Sistema dinámica lateral.

Entorno.- el sistema de configuración del entorno (ver Figura 12) está conectado a la estructura del vehículo por una restricción planar, esto quiere decir que se le brinda al vehículo 3 grados de libertad, 2 prismáticos y uno de revolución.

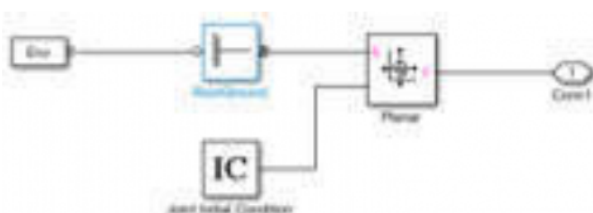


Figura 12. Sistema de entorno.

El vector de gravedad se define como: [0, 0, -9.81] ya que se asume el eje Z como eje vertical.

Sistema Rueda Trasera.- Los dos sistemas rueda trasera son idénticos solo diferenciándose en el punto de conexión con el cuerpo de estructura. En la Figura 13 se muestra el diagrama de bloques.

El sistema recibe una señal de velocidad angular en grados por segundo ( $^{\circ}/s$ ) para generar su movimiento, este valor se integra para conocer el ángulo en el que se posiciona el neumático.

Sistema Rueda Delantera.- En la Figura 14 se observa el diagrama de bloques del sistema rueda delantera; los modelos para los dos neumáticos delanteros son idénticos con la única diferencia que sobre la rueda derecha se implementó el bloque de dinámica lateral (podía incluirse en cualquier neumático delantero o trasero).

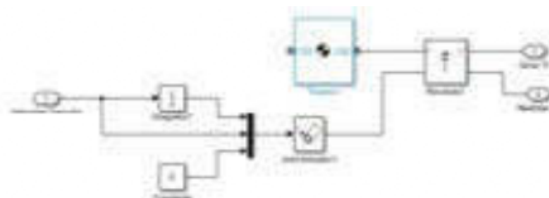


Figura 13. Sistema rueda trasera.

A diferencia de los neumáticos traseros este sistema tiene una junta universal entre el cuerpo del neumático y el cuerpo de estructura, lo que le permite al neumático tener dos ejes de giro. El giro sobre el eje Y simula el avance del vehículo y el giro sobre el eje Z representa la dirección de los neumáticos.

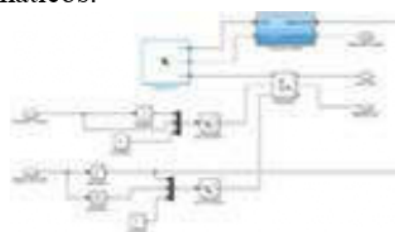


Figura 14. Sistema rueda delantera.

Sistema carrocería.- el bloque carrocería tiene más elementos que ningún otro, debido a la cantidad de operaciones que se deben realizar para aplicar la dinámica longitudinal al modelo tridimensional, así los elementos del bloque carrocería son: cuerpo, sensor carrocería, cálculo de módulo de velocidad, dinámica longitudinal fuerza aplicada y actuador de carrocería.

El diagrama de bloques donde se visualizan todos los subsistemas del vehículo se observa en la Figura 16.

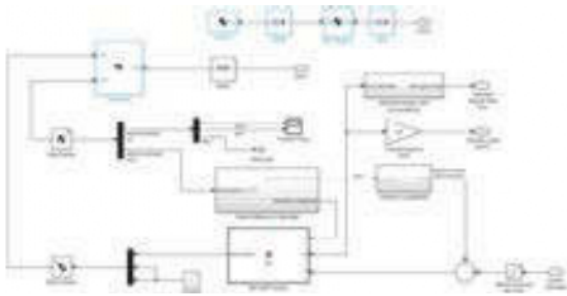


Figura 15. Sistema carrocería.

El sistema principal tiene las siguientes señales de entrada:

- Control de velocidad.- señal de avance del vehículo, simula el acelerador del mismo.
- Control de dirección.- ángulo de giro de neumáticos, simula el volante del auto.

Y las siguientes señales de salida:

- Velocidad lineal del vehículo.
- Posición XY del vehículo.

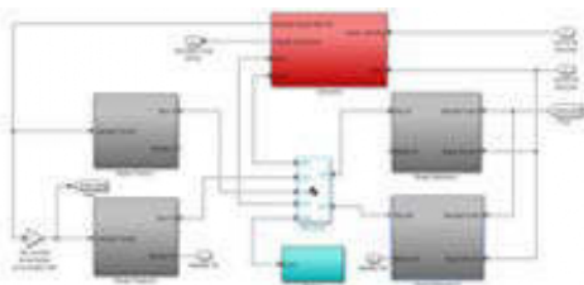


Figura 16. Sistema principal.

El modelo tridimensional resulta como se muestra en la Figura 17.

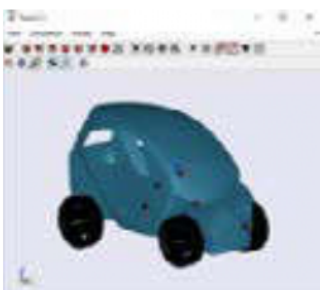


Figura 17. Modelo tridimensional.

Control

La técnica de control borroso brinda flexibilidad de diseño a partir del funcionamiento del proceso y del conocimiento del operador sin realizar

análisis matemáticos. Los requerimientos de control son: velocidad constante iguala a 5 Km/h y dirección estable en línea recta.

Control de Velocidad.- el rango de valores de cada variable de trabajo es:

- Error de Velocidad (EV): rango [-40 a 40].
- Derivada del error (CEV): rango [-40 a 40].
- Fuerza longitudinal (FV): rango [0 a 3760].

En la Figura 18 se ve el diagrama de bloques de los sistemas de control a implementar.

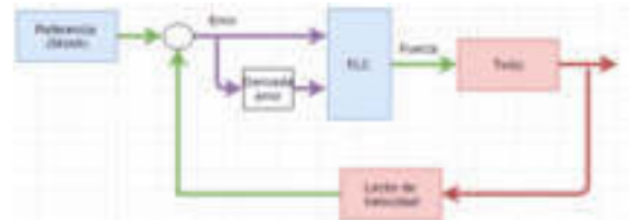


Figura 18. Diagrama de bloques control borroso.

En la Figura 19 y 20 se muestran las funciones de pertenencia para las variables de entrada y para la variable de salida del controlador respectivamente.

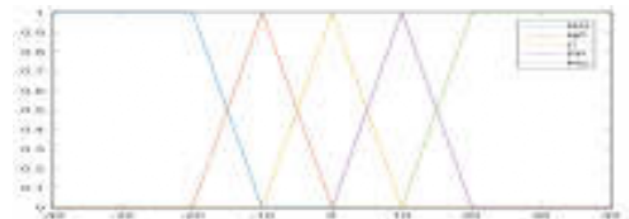


Figura 19. Función de pertenencia EV y CEV.

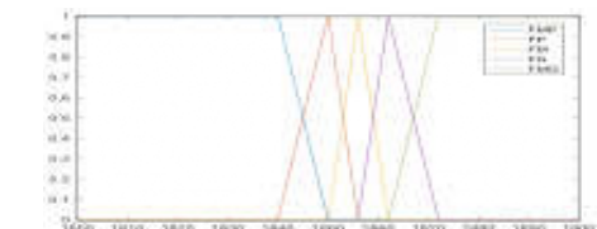


Figura 20. Función de pertenencia FV.

Las reglas borrosas se han generado del conocimiento del operador y de la experimentación con el modelo virtual. El método de inferencia seleccionado es el método de Mandani y el método de desborrosificación seleccionado fue el método del centroide.

Ajuste fino del controlador.- se define una etapa de ganancia integral para eliminar el error en estado estacionario, como se ve en la Figura 21.

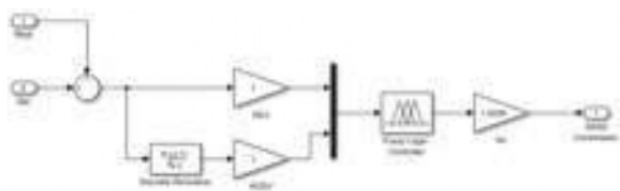


Figura 21. Ajuste fino del controlador.

Control de Dirección.- Para el sistema de control de dirección se mantiene las directrices del control de velocidad variando las funciones de pertenencia y los valores de las variables de acuerdo a las características del vehículo.

- Error de (ED): rango [-50 a 50].
- Derivada del error (CED): rango [-50 a 50].
- Angulo de dirección (AD): rango [-30 a 30].

### 3. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

El sistema simulado en Matlab incluyendo los sistemas de control se muestra en la Figura 22.

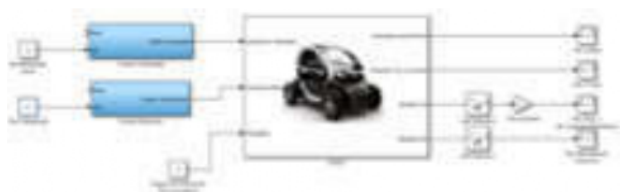


Figura 22. Modelo de simulación Twizy.

Prueba de control de velocidad.- respondiendo al requerimiento de mantener una velocidad de 5 Km/h se realizaron dos pruebas, una de estabilidad y una de respuesta ante perturbaciones, las respuestas se observan en las Figuras 23 y 24.

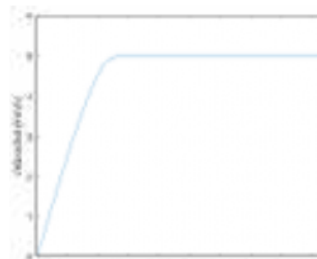


Figura 23. Prueba de estabilidad.

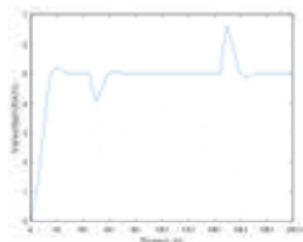


Figura 24. Prueba ante perturbaciones.

Prueba de comportamiento lateral.- Se realizó varias pruebas para estimar la veracidad del modelo y los sistemas de control, en la Figura 26 se muestra la gráfica resultante de una prueba de cambios de carril para ver si el modelo es capaz de comportarse de acuerdo a lo que sucedería con un operador humano si se ejecutan las maniobras de la Figura 25.

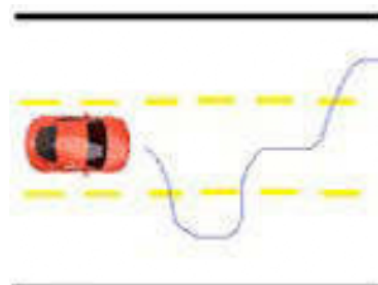


Figura 25. Trayectoria de prueba.

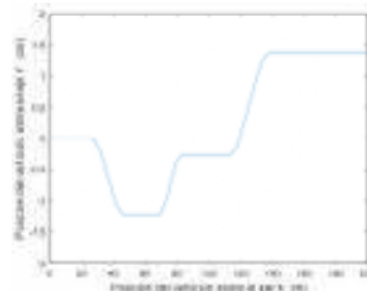


Figura 26. Trayectoria generada por el modelo.

### 4. CONCLUSIONES

- La técnica de modelado multicuerpo brinda cierta versatilidad al momento de analizar el comportamiento de un sistema que presente una alta dificultad de modelado matemático como puede ser un vehículo, esta técnica se basa en la virtualización de objetos identificando su forma, dimensiones, masas e inercias y generando sobre estos las fuerzas que los afectarían en la realidad.
- La toolbox de Matlab SimMechanics brinda todas las herramientas necesarias para una tarea de modelado multicuerpo, además se puede utilizar el modelado multicuerpo sobre SimMechanics para obtener representaciones del sistema en forma de función de transferencia y de espacio de estados por si se desea aplicar otras técnicas de control como el control clásico o el control moderno.



- Gracias a la compatibilidad de ciertos programas CAD con Matlab se puede simplificar la tarea de diseño de los componentes de un sistema, ensamblándolos en un programa especializado a estos fines e importar las soluciones directamente a SimMechanics.
- Equilibrar fuerzas en un modelo de SimMechanics puede ser una tarea bastante compleja si no se tiene un cuidado especial en los centros de masa de los objetos, un pequeño error en el diseño de un objeto que reciba la acción de fuerzas directamente puede provocar una inestabilidad del sistema muy difícil de controlar.
- A pesar de que se puede representar la mayoría de fuerzas que afectan al sistema real en el modelado multicuerpo, no se puede confiar ciento por ciento en que el modelo reproduzca todos los comportamientos del sistema real, por ello se define a este modelo como una aproximación del sistema.
- La técnica de control borroso se aplica cuando no se tiene mayor conocimiento del modelo matemático de un sistema. Al ser un vehículo un sistema con una alta complejidad dinámica de análisis, su automoción se convierte en un candidato ideal para la aplicación de técnicas de control mediante lógica borrosa utilizando como base de conocimiento la experiencia de un conductor y el conocimiento adquirido por pruebas y simulaciones.

## 5. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- [1] Godwin, R. J., Earl, R., Taylor, J. C., Woosd, G. A., Bradley, R. I., Welsch, J. P., Richard, T., Blackmore, B. S. 2001. Precision farming of cereals: A five year experiment to develop management guidelines. Project Report No. 267. HGCA. Cranfield University.
- [2] Renault. (2012). Manual de Utilización Twizy. UE.
- [3] Matía, F. Apuntes Cátedra de Robots Móviles del Máster en Automática y Robótica. Universidad Politécnica de Madrid. 2016.
- [4] Shang, M. Chu, L. Guo, J. Fnag, Y. Zhou, F. Braking force dynamic coordinated control for hybrid electric vehicles. ICACC. 2nd International Conference on March 2010.
- [5] Acosta, N. Fundamentos de Navegación autónoma de robots. UNICEN. 2012.
- [6] Durrant-Whyte, H. Fellow. Bailey, T. Simultaneous Localisation and Mapping (SLAM) Part II. 2009.
- [7] De Jalón, J. Callejo, A. A Straight methodology to include multibody dynamics in graduate and undergraduate subjects. Mechanisms and Theory. Vol 45. Ed. 2. 2011.
- [8] Shang, M. Chu, L. Guo, J. Fnag, Y. Zhou, F. Braking force dynamic coordinated control for hybrid electric vehicles. ICACC. 2nd International Conference on March 2010.
- [9] Chen, Y. Lu, Z. Simulation analysis of vertical and lateral dynamics of an electric vehicle driven by two rear hub-motors. ICMA. International Conference on August 2009.

## 6. BIOGRAFÍA



Gabriel Moreano Sánchez bachiller en ciencias especialidad Físico Matemático en la Unidad Educativa San Felipe Neri, Ingeniero en Electrónica y Control Suficiencia en el idioma inglés, formación en la Universidad Politécnica de Madrid donde obtiene el título de Máster Universitario en Automática y Robótica en el año 2017, y colabora en proyectos de investigación del departamento de percepción artificial dentro del CSIC, en el mismo año obtiene el título de Máster Universitario en Diseño y Gestión de Proyectos Tecnológicos por parte de la Universidad Internacional de la Rioja, actualmente se desempeña como docente en la escuela superior politécnica de Chimborazo.



Víctor Hugo Benítez Bravo nace el 9 de Enero de 1982 en la ciudad de Riobamba–Ecuador, se forma en la Escuela Politécnica Nacional (Quito - Ecuador) donde obtiene el título de Ingeniero en Electrónica y Telecomunicaciones con mención de excelencia

“Cum Laude”, institución donde también obtiene la suficiencia en el idioma inglés, continua su formación profesional en la Escuela Politécnica del Ejército donde obtiene el título de Máster en Redes de Información y Conectividad en el año 2015, actualmente se encuentra culminando su segundo Master en Planificación y Dirección Estratégica en la misma institución de educación superior. Adicional se ha desempeñado como catedrático de los programas de maestría de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo ESPOCH.



Alvaro Gabriel Benítez Bravo nace el 23 de Julio de 1988 en la ciudad de Riobamba– Ecuador, se forma en la Escuela Politécnica del Ejército (Sangolquí - Ecuador) donde obtiene el título de Ingeniero en Electrónica en

Redes y Comunicación de Datos. Actualmente se encuentra culminando sus estudios de Master en Planificación y Dirección Estratégica en la Universidad de las Fuerzas Armadas – ESPE. A más de ello cuenta con estudios de Derecho en la Universidad Técnica Particular de Loja – UTPL, estudios de Contabilidad y Auditoría en la Universidad Central del Ecuador y egresado de su segundo Master en Seguridad Informática en la Universidad Internacional de la Rioja de España.



Juan Carlos Castelo Valdivieso, Ingeniero Automotriz, Magíster en Sistemas Automotrices, Docente tiempo completo en la Carrera de Ingeniería Automotriz de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. Profesor de las asignaturas de motores

de combustión interna.

**REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN**

Fecha recepción	14 octubre 2017
Fecha aceptación	17 noviembre 2017