

SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA HIDRÁULICAMENTE A LAS CUATRO RUEDAS EN VEHÍCULOS AUTOMOTORES

HIDRAULICALLY ASSISTED STEERING SYSTEM FOR THE FOUR WHEELS ON AUTOMOTIVE VEHICLES

Romel David Carrera Tapia ¹, Luis Fernando Molina Molina ², Juan Carlos Rocha Hoyos ³, Víctor Danilo Zambrano León ⁴
^{1,2,4} Universidad de Fuerzas Armadas ESPE - Departamento de Ciencias de la Energía y Mecánica, Quijano y Ordoñez y Marques de Maenza s/n.
³ Universidad SEK del Ecuador
e - mail: ¹rdcarrera@espe.edu.ec, ²lfmolina@espe.edu.ec, ³jcrocha@uisek.edu.ec, ⁴vdzambrano@espe.edu.ec,

Revista Energía Mecánica Innovación y Futuro, V Edición 2016, No. 4 (15)

RESUMEN

La investigación tiene como objetivo disminuir el radio de giro del vehículo Volkswagen Santana, mediante la implementación del sistema de dirección asistida hidráulicamente a las ruedas posteriores, complementando la orientación de las ruedas delanteras, para proporcionar maniobrabilidad y agilidad al paso por curva en zonas concurridas u obstaculizadas, con capacidad de cambio de dirección y estabilidad, logrando que el viaje sea seguro y satisfactorio. Se implementó el sistema electrónico de reenvío de giro, que es el encargado de transmitir el par del volante de la dirección delantera, hacia un motor de pasos ubicado en la parte posterior del vehículo, al mismo tiempo que esta señal electrónica hará que las ruedas posteriores viren en sentido opuesto a las ruedas delanteras del vehículo, las señales electrónicas son proporcionadas por un PLC que recibirá información de sensores de velocidad del vehículo y giro del volante de la dirección. El motor eléctrico está acoplado con la válvula distribuidora del mecanismo de asistencia hidráulica en el eje posterior, para direccionar las ruedas posteriores.

Palabras clave

Dirección asistida, vehículo automotor, PLC, estabilidad, hidráulica.

ABSTRACT

The research aims to reduce the turning radius of the Volkswagen Santana vehicle, by implementing the hydraulically assisted steering system to the rear wheels, complementing the orientation of the front wheels, to provide maneuverability and agility when driving in crowded areas. Obstructed, with capacity of change of direction and stability, making the trip is safe and satisfactory. The electronic turn-over system was implemented, which is responsible for transmitting the pair of the steering wheel of the front direction, towards a stepper motor located at the rear of the vehicle, at the same time as this electronic signal will cause the rear wheels Turn in the opposite direction to the front wheels of the vehicle, the electronic signals are provided by a PLC that will receive information from vehicle speed sensors and turn the steering wheel. The electric motor is coupled with the distributor valve of the hydraulic assist mechanism for the rear axle to direct the rear wheels.

Keywords

Power steering, automotive vehicle, plc, stability, hydraulic.

1. INTRODUCCIÓN

En la ciudad de Latacunga existe el problema de circulación de los vehículos automotores debido a las dimensiones angostas de sus calles por ello es factible desarrollar un sistema automotriz que permita mejorar la maniobrabilidad en la conducción por las vías locales de la ciudad.

Al realizar la implementación de un sistema de dirección hidráulica integral se proporciona un vehículo que permite reducir los esfuerzos al conductor al circular por las vías de la ciudad y con esto garantizar un buen flujo de circulación por esta por medio de un control de dirección posterior realizada a un vehículo Volkswagen Santana.

El sistema de dirección a las cuatro ruedas disminuye los radios de giro de un vehículo, al paso por curva en espacios reducidos presentes en situaciones donde se requiere de precisión de la dirección y una gran destreza del conductor, es posible la capacidad para maniobrar en pequeños espacios y posibilidad de efectuar aparcamientos más sencillos.

2. METODOLOGÍA

SISTEMA MECÁNICO

Para plantear el diseño de la suspensión posterior del vehículo prototipo, se orienta hacia la fiabilidad, eficiencia y seguridad durante su funcionamiento. Estos factores son de gran importancia ya que ayudan a transmitir al conductor confianza y control, que son valores elementales para el buen desempeño del sistema.

El resultado obtenido en la carga, como se observa en la figura 1, sobre la fuerza que actúa en el eje posterior del vehículo prototipo es el valor que se ingresa en el asesor de cargas del software de simulación y que soporta la estructura del semi-chasis posterior.

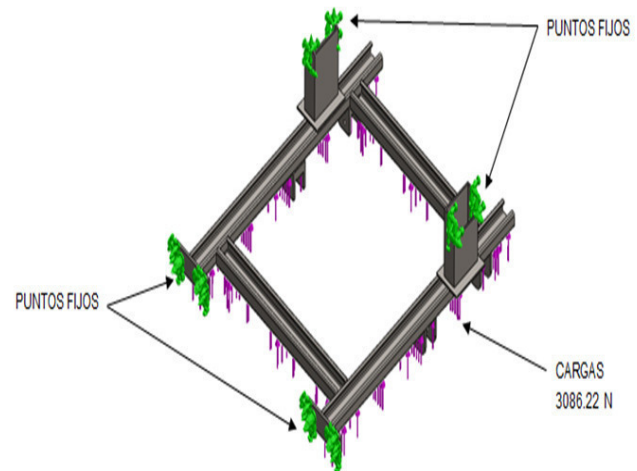


Figura 1. Cargas aplicadas a la estructura del semi-chasis posterior

En la figura 2 se observa que la fuerza aplicada es de 3086.22 Newtons distribuidas en la estructura del semi-chasis, para obtener un rendimiento óptimo se parte del diseño de la estructura para que pueda soportar las cargas a las que se va a encontrar sometida la misma. A través del software de simulación se puede conocer las características de la estructura del semi-chasis posterior diseñada y del material aplicado.

La tensión de Von Mises de la estructura en el semi-chasis posterior bajo cargas de fuerza sobre el eje posterior.

Se somete a la estructura del semichasis a estudios estáticos mediante el software solidworks.

Esfuerzo máximo: 94 Mpa.

ENERGÍA MECÁNICA INNOVACIÓN Y FUTURO
No. 5 Vol. 1 / 2016 (15) ISSN 1390 - 7395 (4/15)

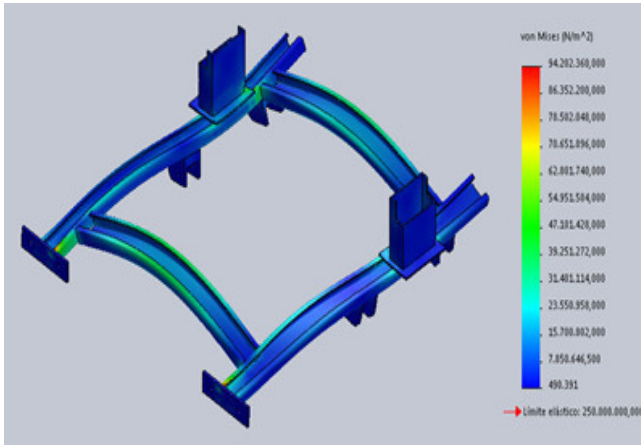


Figura 2. Tensión de Von Mises aplicada a la estructura posterior

La simulación entrega como resultado que la fuerza aplicada no supera la resistencia de fluencia del metal, concluyendo que el material es apto para su utilización. Cumple con la teoría de Von Mises, objetando la fiabilidad del material.

$$\sigma < \sigma_u$$

$$94M Pa < 250M Pa$$

Desplazamientos resultantes en el semichasis posterior

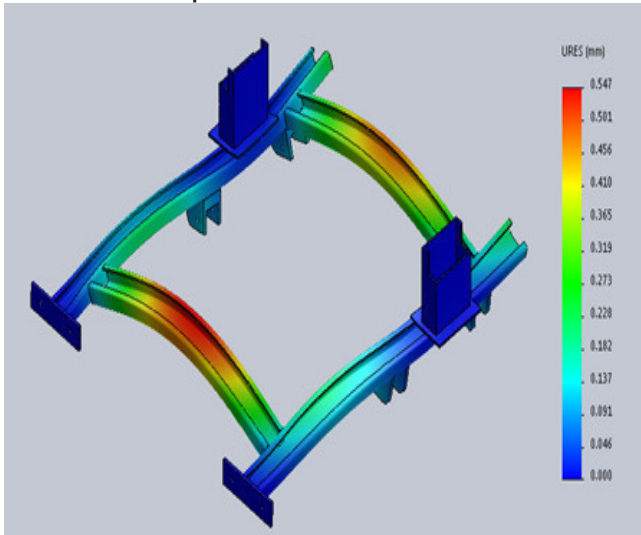


Figura 3. Desplazamientos aplicados a la estructura posterior

Sistema hidráulico circuito posterior.- Es el encargado de proporcionar la asistencia hidráulica a las ruedas del eje posterior para lograr la estabilidad del sistema.[2]

Cálculo de la bomba hidráulica de asistencia para la dirección posterior. [3]

Área del pistón del cilindro hidráulico de la dirección posterior.

$$A = r * r^2 \quad \text{Ec.1}$$

$$r = 3,5 \text{ cm}$$

Donde:

A = Área del pistón del cilindro hidráulico (cm²)

r = Radio del pistón del cilindro hidráulico. (cm)

$$A = r * (3,5 \text{ cm})^2$$

$$A = 38,48 \text{ cm}^2 = 5,96 \text{ in}^2$$

Fuerza generada por la bomba del circuito posterior.

Datos:

$$P = \frac{F}{A} \quad \text{Ec.2}$$

Donde:

P = Presión. (lbf/in²)

A = Área del pistón (in²)

Presión de la bomba = 75 bar = 1080,4 psi

Díámetro = 7cm

Para conocer la fuerza se despeja de la ecuación 2, entonces:

$$F = P * A$$

$$F = 1080,4 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2} * 5,96 \text{ in}^2$$

$$F = 6444,706 \text{ lbf}$$

Expresada la fuerza en Newtons se tiene:

$$F = 28771,01N$$

Esta fuerza es la que provee el mecanismo de asistencia hidráulica al sistema de dirección del vehículo, la cual es la necesaria para vencer la carga del eje posterior.

Ya que :

$$F_{\text{mecanismo de dirección}} = 28771,01N \approx 308622N$$

Es así que se debe disponer de una bomba con las características indicadas en la tabla 1:

Tabla 1 Características bomba de presión para dirección posterior.

| Características | Valores |
|--------------------------|--------------------|
| Presión de la bomba | 75 Bar (1080.4Psi) |
| Caudal | 2.4 Gpm |
| Revoluciones de la bomba | 1700 Rpm |

Mecanismo de dirección hidráulica de piñón y cremallera.

La fuerza que proporciona este mecanismo al varillaje de la dirección, es igual a la presión que provee la bomba hidráulica por el área de la sección transversal de su pistón hidráulico

$$F = P \cdot A$$

$$F = 1080,4 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \cdot 5,96 \text{ in}^2$$

$$F = 6444,706 \text{ lbf}$$

$$F = 28771,01 \text{ N}$$

Cálculo de las mangueras hidráulicas, los datos sugeridos para evitar la turbulencia en el flujo y pérdidas de presión [2]

$$v = 4,5 \text{ m/s}$$

Transformación de GPM a m³/s

$$Q = 2,4 \text{ GPM} (6,309 \cdot 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}) / (1 \text{ GPM})$$

$$Q = 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$A = \frac{r \cdot D^2}{4} \quad \text{Ec.3}$$

Donde:

D = Diámetro de tubería. (m)

A= Área de sección. (m²)

$$Q = A \cdot v \quad \text{Ec.4}$$

Donde:

Q = Caudal. (m³/s)

A= Área de sección. (m²)

v = Velocidad sugerida (m/s)

Reemplazando se obtiene:

$$Q = v \frac{r \cdot D^2}{4} \quad \text{Ec.5}$$

Despejando el diámetro:

$$D_i = \sqrt{4 \cdot Q / r \cdot v}$$

$$D_i = \sqrt{(4 \cdot 1,51 \cdot 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}) / (r \cdot 4,5 \text{ m/s})}$$

$$D_i = 6,54 \cdot 10^{-3} \text{ m}$$

Conversión del diámetro a pulgadas

$$D_i = 6,54 \cdot 10^{-3} \text{ m} \cdot (1 \text{ in} / 0,0254 \text{ m})$$

$$D_i = 0,25 \text{ in} \cdot 1/4$$

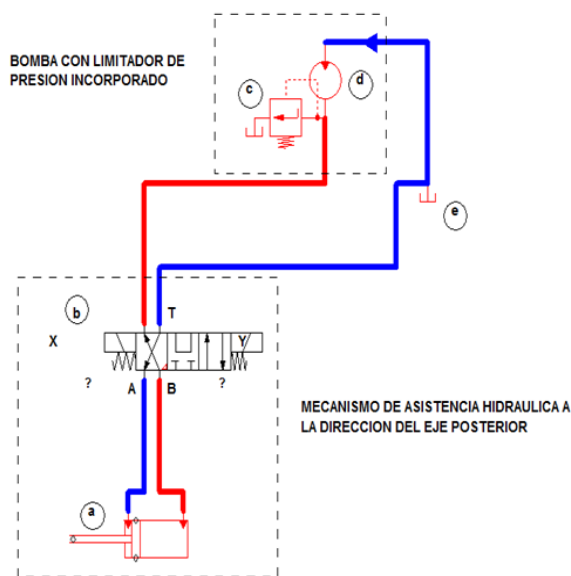


Figura 4. Circuito hidráulico posterior en recirculación

SISTEMA ELECTRÓNICO PLC XINJE

Por su compatibilidad y bajo costo, sin dejar a un lado las prestaciones y beneficios que proporciona, es un dispositivo electrónico digital con una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas[3] de configuración, secuencia, sincronización, conteo y funciones aritméticas, necesarias para el control de los actuadores instalados en el prototipo, figura 5.



Figura 5. PLC Xinje



Figura 7. Sensor magnético para velocidad del vehículo.

SENSOR DEL VOLANTE DE LA DIRECCIÓN

Cumple la función de sensar el ángulo del volante de la dirección. Por esta razón se recurre a la selección de un encoder incremental bidireccional que tiene dos canales de salida A y B, que permiten detectar el sentido de rotación del eje, el canal B está desfasado en 90° eléctricos respecto al canal A, figura 6.



Figura 6. Sensor del Volante

SENSOR DE VELOCIDAD

Se encarga de sensar la velocidad de circulación del vehículo, la información es necesaria para la desactivación del sistema de asistencia a la dirección posterior, es decir, que al llegar a una velocidad de 60 Km/h el sensor informa al PLC y este desactiva el funcionamiento del motor a pasos, figura 7.

ELEMENTOS MECÁNICOS EN EL EJE POSTERIOR.

La suspensión posterior de este tipo independiente figura 8, permite un acople seguro en el sistema implementado, las medidas de los elementos corresponden a las deseadas para la adaptación; por la parte superior de la suspensión se acopla con el chasis de tal manera que no se hizo ningún tipo de ajuste y en la parte inferior de la misma se procede a la sujeción por medio de una mesa que va anclada al nuevo semi-chasis [4].



Figura 8. Semi - chasis posterior

De esta forma se finaliza la construcción y adaptación de la estructura del semi-chasis posterior y los elementos del sistema de suspensión en el vehículo prototipo, figuras 8 y 9.



Figura 9. Instalación de cañerías de fluido

Se adapta en el eje posterior el mecanismo de dirección hidráulica de piñón y cremallera que esta fijado al semi-chasis, a través de dos bases que se soldaron al mismo, sujetándolo firmemente evitando cualquier tipo de vibración[5].



Figura 10. Cilindro de dirección

En la figura 10 se presenta la forma en que se sujeta el actuador que acciona el sistema de dirección posterior sujeto al semi-chasis. [6]

El actuador está localizado en la parte posterior del vehículo en la cajuela, de forma que coincide verticalmente con la válvula rotativa del mecanismo de dirección hidráulica de las ruedas posteriores.



Figura 11. Fijación del actuador de la dirección posterior

El sensor de ángulo del volante ubicado sobre el eje de la columna de la dirección,

que en este caso es un tubo de hierro de 1/2 pulgada, se instala un engranaje que esta acoplado con otro ubicado en el encoder, el cual envia la señal eléctrica de posición del volante, es decir, hace la función de sensor de ángulo de giro para el control del actuador, figura 12.



Figura 12. Sensor de ángulo

Para el montaje del sensor inductivo se realizó una base pequeña para ubicar al contacto magnético fijo, el mismo que envia la señal mediante cables.

Se alinea entre el contacto fijo y el móvil para tener una buena señal. La holgura de separación entre contactos magnéticos es 10 mm para un perfecto funcionamiento del sensor, se ajusta las abrazaderas de plástico, se corta los pedazos sobrantes, se procede a realizar las conexiones respectivas, figura 13.



Figura 13. Ubicación del sensor de giro.

Una vez implementado en el vehículo Volkswagen Santana el sistema de dirección en el eje posterior se aprecia en la figura 14 la disposición del mismo a las cuatro ruedas.

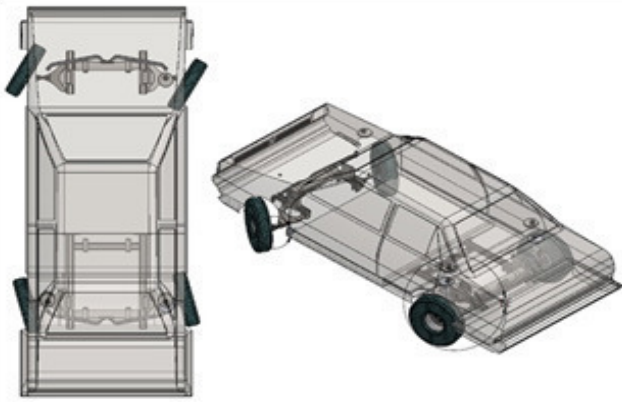


Figura 14. Vehículo prototipo implementado con el sistema de dirección a las cuatro ruedas.

3. EXPERIMENTACIÓN Y RESULTADOS

Se presenta la geometría de giro implementada en el vehículo prototipo, figura 15 en la cual se aprecia la reducción del radio de giro, también la generación de viraje de las ruedas posteriores, sus ángulos opuestos a los ángulos de viraje de la dirección delantera, así como también las longitudes recorridas por las ruedas del vehículo durante la curva.

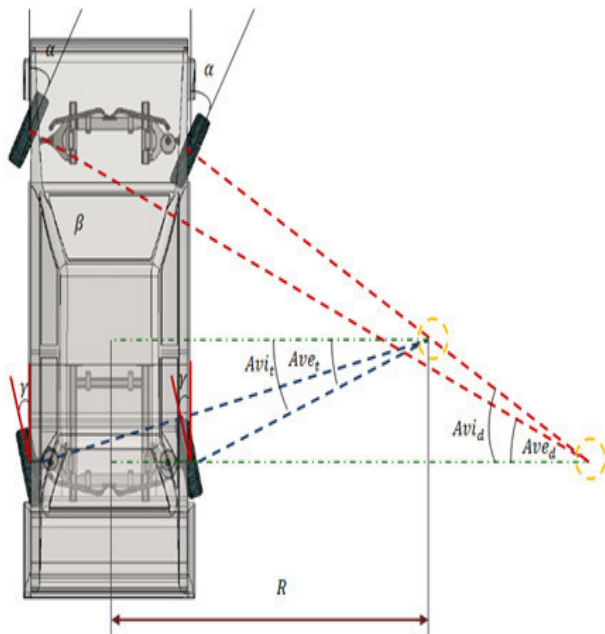


Figura 15. Geometría del sistema de dirección a las cuatro ruedas

El sistema de dirección posterior[6] fue evaluado en varias pruebas, entre ellas la prueba de parqueo como se ilustra en la figura 16.



Figura 16. Parqueo con el sistema de dirección a las cuatro ruedas.

De la misma forma se realiza pruebas [8] en las calles de la ciudad de Latacunga observando el óptimo rendimiento del sistema de dirección posterior especialmente en las curvas cerradas de las vías angostas, figura 17.



Figura 17. Curva con el sistema de dirección a las cuatro ruedas

En la tabla 2 y 3 se aprecia los valores obtenidos al efectuar las pruebas de conducción activado y desactivado el sistema de dirección a las ruedas posteriores del vehículo prototipo, con réplicas realizadas por 3 veces en las diferentes curvas expresadas.

Tabla 2. Pruebas realizadas sin la dirección de las ruedas posteriores

| Curvas | ÁNGULO DE GIRO DEL VOLANTE DE LA DIRECCIÓN | | | Promedio (°) |
|--------|--|--------------|--------------|--------------|
| | Prueba 1 (°) | Prueba 2 (°) | Prueba 3 (°) | |
| C1 | 535 | 546 | 539 | 540 |
| C13 | 320 | 318 | 308 | 315 |
| C14 | 627 | 629 | 634 | 630 |

Tabla 3. Pruebas realizadas activadas el 4ws

| Tipo dirección | Diámetro de giro del vehículo prototipo | | |
|----------------|---|-----------|-------------|
| | Dimensión | Reducción | % Reducción |
| 2WS | 11115 mm | 2350mm | 2114% |
| 4WS | 8800 mm | | |

En la tabla 4 se evidencia los resultados obtenidos en cada prueba con el sistema 4ws activado y desactivado, que proporciona los resultados deseados dejando ver la fiabilidad y eficiencia de la investigación, en cuanto a la reducción el radio de giro se disminuye en un 21% sobrepasando las expectativas y logrando así el objetivo deseado. [9]

Tabla 4. Reducción del diámetro de giro

| Curvas | ÁNGULO DE GIRO DEL VOLANTE DE LA DIRECCIÓN | | | Promedio (°) |
|--------|--|--------------|--------------|--------------|
| | Prueba 1 (°) | Prueba 2 (°) | Prueba 3 (°) | |
| C1 | 395 | 408 | 398 | 400 |
| C13 | 248.5 | 249.5 | 252 | 250 |
| C14 | 455 | 450 | 445 | 450 |

4. CONCLUSIONES

- Se implementó el sistema de dirección asistida hidráulicamente a las ruedas posteriores de un vehículo automotor, para lograr reducir el radio de giro del vehículo, proporcionar mayor maniobrabilidad por falta de espacio.
- Se optimizó el sistema de dirección del vehículo prototipo en diferentes

situaciones y condiciones de conducción, mediante la reducción del radio de giro, en 21% lograda gracias al viraje de las ruedas posteriores en sentido contrario y en relación transmisión de viraje de 2:1 con respecto a las ruedas delanteras, para obtener mejor maniobrabilidad, agilidad, precisión y seguridad.

- Se obtiene un gran porcentaje de reducción en cuanto al giro del volante de la dirección, llegando a disminuir en un 26% al realizar un viraje en una curva angosta, un 21% en una curva normal, y un 29% al realizar un giro en U a 180°, que es el resultado de la aplicación del sistema de dirección en el eje posterior en sentido opuesto al viraje de las ruedas delanteras.
- Como mayor aporte del sistema de dirección posterior, se tiene que el diámetro de giro del vehículo se reduce en 21%, pasando de 11,15 m a 8,80 m, conseguido gracias a la configuración de viraje opuesto de las ruedas posteriores con relación a las ruedas delanteras, esto significa que entre mayor es el ángulo de viraje de las ruedas posteriores, menor es el diámetro de giro del vehículo.
- Se consiguió incorporar en el sistema electrónico que permita controlar el funcionamiento del sistema de dirección a las ruedas posteriores, dependiendo de los requerimientos del usuario: la velocidad de desactivación del sistema es de 60 Km/h.

5. REFERENCIAS

- [1] Cengel, Y. & Cimbala J. (2011). Mecánica de Fluidos. México : Mc Graw Hill.
- [2] Creus, N. E. (2011). Hidráulica. México: Alfaomega.
- [3] H. Kindler & M. Kynast (2005). Cálculos técnicos para el automóvil. México: Reverte
- [4] Mott, R. L. (2006). Mecánica de Fluidos. México: Pearson Education.
- [5] Mott, R. L. (2007). Diseño de elementos de máquinas. México: Pearson Education.
- [6] Mott, R. L. (2006). Resistencia de Materiales. México: Pearson Education
- [7] Selección y aplicación de motores eléctricos WEG (13 de Julio de 2014) obtenido de : <http://ecatalog.weg.net/files/wegnet/WEG-selección-y-aplicación-de-motores-electricos-articulo-tecnico-espanol.pdf>
- [8] Sistema de dirección a las 4 ruedas (25 de Julio de 2014) obtenido de : <http://www.aficionadosalamecanica.net/4ws-dirección-4-ruedas.htm>
- [9] Cuatro ruedas directrices. (04 de agosto de 2014) obtenido de: <http://cuatro-ruedas.blogspot.com/2011/07/4-ruedas-directrices.html>

6. BIOGRAFÍA



¹Romel Carrera Tapia nació en Latacunga Ecuador, es Ingeniero Automotriz, Docente Tiempo Completo, de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE – Latacunga



²Luis Molina, nació en Latacunga Ecuador, es Ingeniero Automotriz, Docente Tiempo Completo, de la Unidad de Gestión de Tecnologías de la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE –

Latacunga.



³Juan Carlos Rocha, nació en, Quito Ecuador, es Ingeniero Automotriz, dispone Posgrado en Sistemas Automotrices, Autotrónica, Docencia Universitaria, Docente en la Universidad Internacional SEK. Imparte servicios de asesoramiento y capacitación en mecánica automotriz.



⁴Danilo Zambrano León Nació en la ciudad de Quito, Ecuador. Ingeniero Automotriz, Magíster Sistemas Automotrices, Magíster en Gestión de la Producción, Diplomado en Autotrónica, Docente tiempo completo en la

Universidad de Fuerzas Armadas ESPE –
Latacunga.

REGISTRO DE LA PUBLICACIÓN

Fecha recepción 27 junio 2016

Fecha aceptación 12 diciembre 2016

