



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS

## **DISEÑO, CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN DE UN SISTEMA DE DIRECCIÓN ASISTIDA HIDRÁULICAMENTE A LAS CUATRO RUEDAS DE UN VEHÍCULO AUTOMOTOR.**

**AUTORES: CARRERA TAPIA ROMEL DAVID.  
ÁLVAREZ VEINTIMILLA CRISTIAN EDUARDO.**

**DIRECTOR: ING. ROCHA JUAN MSc.  
CODIRECTOR: ING. ZAMBRANO DANILO MSc.**

**Latacunga 2015**



## **OBJETIVO GENERAL.**

**Diseñar, construir e implementar un sistema de dirección asistida hidráulicamente para el eje posterior del vehículo Volkswagen Santana, que sea integral y complemente el sistema de dirección asistida hidráulicamente a las cuatro ruedas; para lograr reducir el radio de giro del vehículo y proporcionar mayor maniobrabilidad en circunstancias comprometidas por falta de espacio.**



## **OBJETIVOS ESPECÍFICOS.**

- **Diseñar un prototipo de mecanismos necesarios para conseguir orientar las ruedas posteriores del vehículo prototipo, mediante la simulación de elementos finitos.**
- **Diseñar el circuito hidráulico para obtener asistencia para el sistema de dirección activa a las ruedas posteriores, mediante la simulación de elementos finitos.**
- **Diseñar un prototipo de control electromecánico para el reenvío de giro del volante de la dirección hacia las ruedas del eje posterior con el objetivo de conseguir su viraje.**



## **PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA**

**En vista que las calles céntricas de la ciudad de Latacunga presentan dimensiones de calzadas angostas y en ocasiones obstáculos para el paso por curva, circulación normal, parqueo de los vehículos automotores y con el creciente número de los mismos que allí transitan, se da la necesidad de implementar un sistema automotriz que permita disminuir el radio de giro en un vehículo automotor, de esta manera brindar mayor agilidad y maniobrabilidad de conducción en condiciones dificultosas de transitar.**



## **JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA**

**Mediante la implementación del sistema de dirección en el eje posterior, que aportará a la constitución de la dirección total a las cuatro ruedas del vehículo prototipo, se busca disminuir en grandes porcentajes los radios de giro al paso por curva, en espacios reducidos presentes en situaciones donde se tienen calles angostas.**

**Este concepto permite realizar maniobras con menor radio de giro y permite efectuar giros mucho más cerrados con mayor prestancia, dominio y seguridad, ya que, las ruedas posteriores podrán virarse simultáneamente en sentido contrario a las delanteras acompañando así el movimiento general de orientación.**



## ANTECEDENTES

La función de girar las ruedas en los dos ejes de un vehículo, no es nuevo ya que este sistema lo vienen utilizando desde la década de 1930, camiones, maquinaria pesada y vehículos militares, que buscan principalmente una buena maniobrabilidad utilizando el menor espacio posible





**Desde 1980, varios modelos de diferentes fabricantes aplicaron el sistema de dirección a las 4 ruedas (4WS - four wheel steering system).**

**Al inicio el sistema de dirección a las cuatro ruedas consistía en un funcionamiento netamente mecánico, con mecanismos de reenvío de giro, que al pasar los años y el avance tecnológico tendría una evolución lógica hacia la gestión electrónica**





## DIRECCIÓN A LAS CUATRO RUEDAS ASISTIDA ELECTRÓNICAMENTE

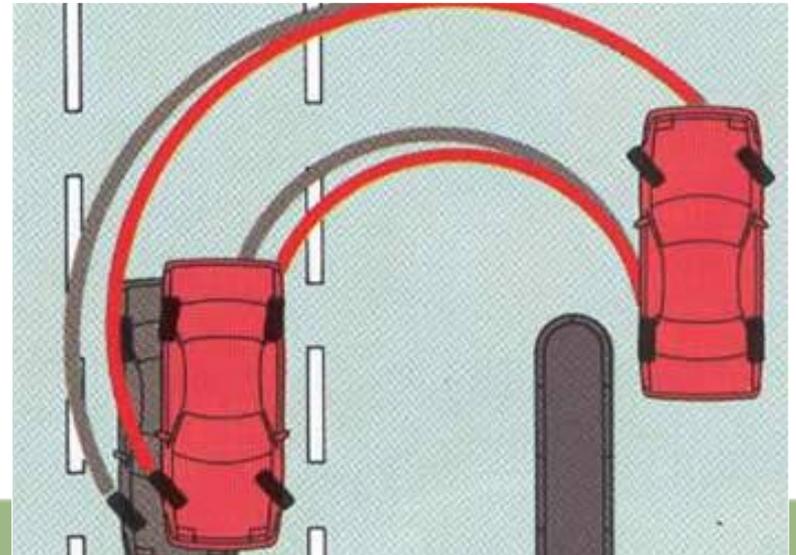
Con la gestión electrónica podemos tener en cuenta otros parámetros para orientar las ruedas posteriores. Uno de estos parámetros es la velocidad del vehículo.





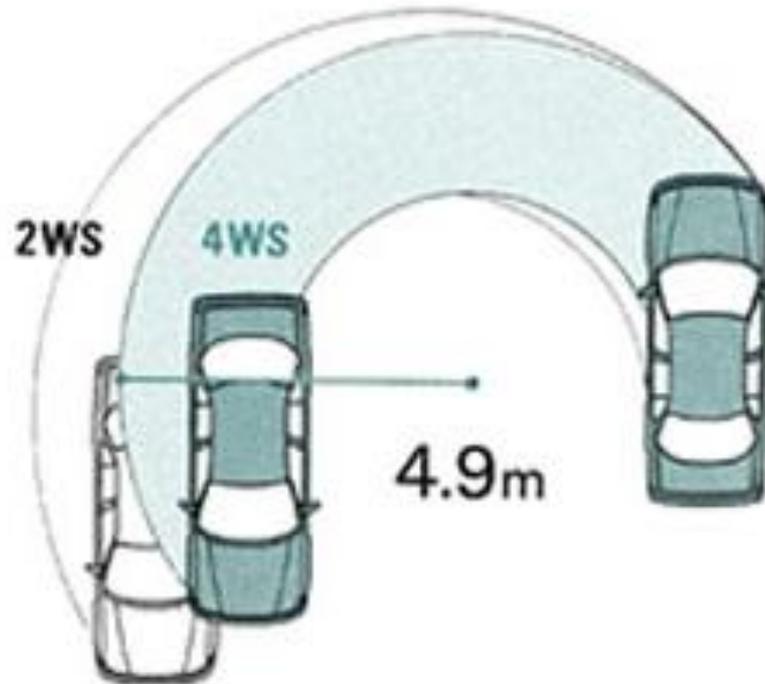
**El sistema de dirección en las 4 ruedas, intenta conseguir dos objetivos:**

- ✓ **Mejorar el paso por curva en altas velocidades y**
- ✓ **Conseguir mejores maniobras en espacios reducidos.**





Esto debido a la reducción significativa del radio de giro del vehículo automotor y la orientación inversa de las ruedas posteriores con respecto a las ruedas delanteras.





# INTRODUCCIÓN

Para la ejecución del proyecto de implementación del sistema de dirección a las cuatro ruedas, se realiza la adaptación del sistema en el vehículo Volkswagen Santana, el mismo que posee un diámetro de giro grande (11.15 m), que representa una muestra de los vehículos con grandes dimensiones para el paso por curva y giros en calles angostas.





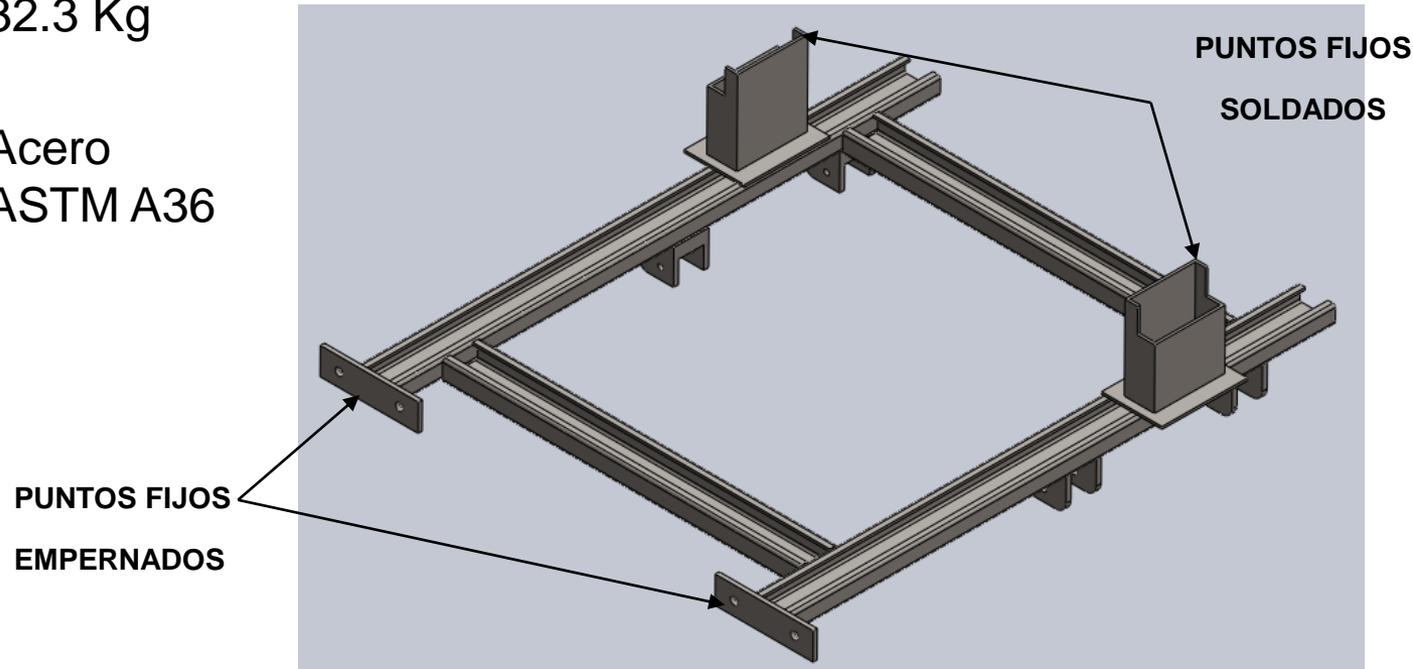
# DISEÑO MECÁNICO Y ANÁLISIS ESTÁTICO

Para la implementación del sistema de dirección a las ruedas posteriores del vehículo prototipo ( Volkswagen Santana ), es necesario realizar el diseño de la estructura del semi-chasis, que alojara los sistemas de suspensión independiente y dirección del eje posterior



# ESTRUCTURA DEL SEMI-CHASIS POSTERIOR

Peso de la estructura	32.3 Kg
Material	Acero ASTM A36



**Esta estructura esta diseñada acorde a las dimensiones del vehículo prototipo y se fija a su bastidor mediante proceso de soldadura SMAW y mediante pernos grado 8.**

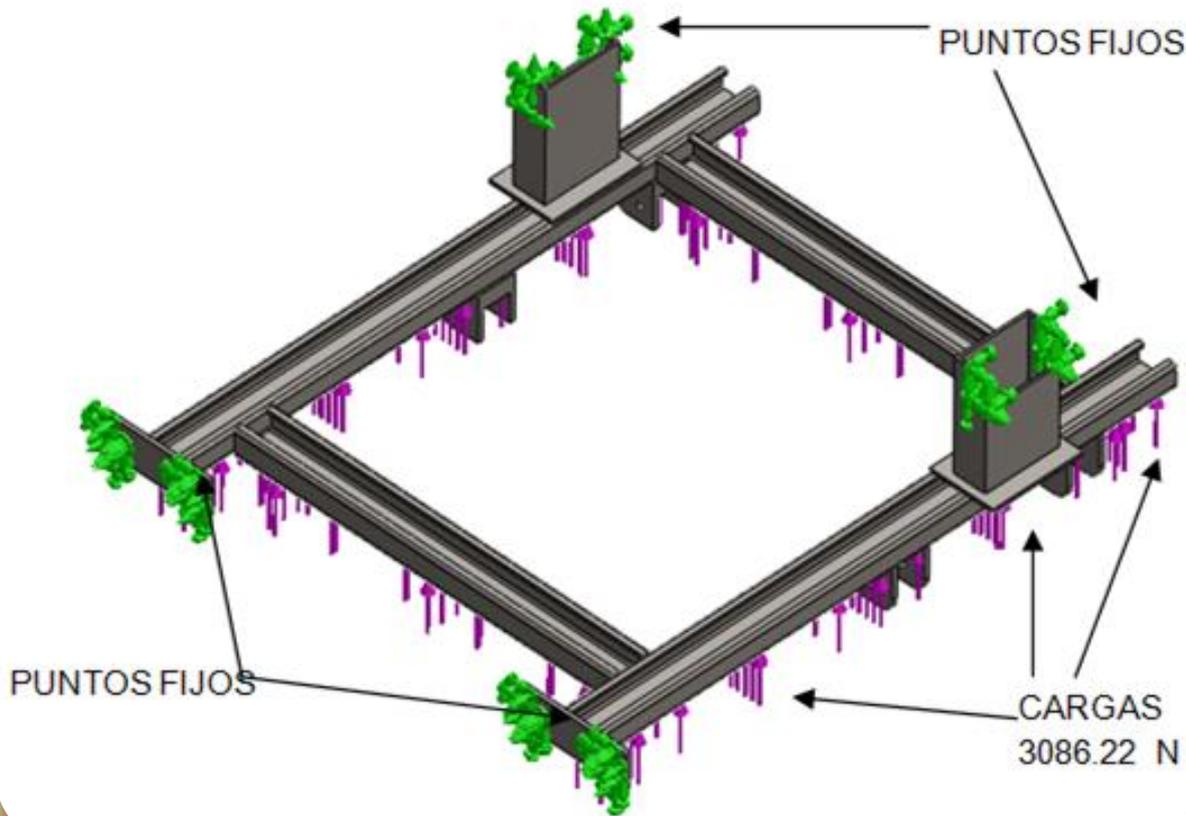


# ANÁLISIS DE ELEMENTOS FINITOS

**Para realizar el análisis estático sobre la estructura del semi-chasis posterior con el objetivo de determinar la fiabilidad del material y la eficiencia de la misma, mediante el software de simulación Solidworks, se la somete a cargas que se aplican en el eje posterior del vehículo durante la conducción, originadas por cargas vivas y cargas muertas en el vehículo.**



## CARGAS DE PESO SOBRE EL EJE POSTERIOR



$$F_p = F_t * \frac{b - d}{b}$$

$$F_p = 17581.2 \text{ N} * \frac{2550 - 2102.37 \text{ mm}}{2550 \text{ mm}}$$

$$F_p = 3086.22 \text{ N}$$

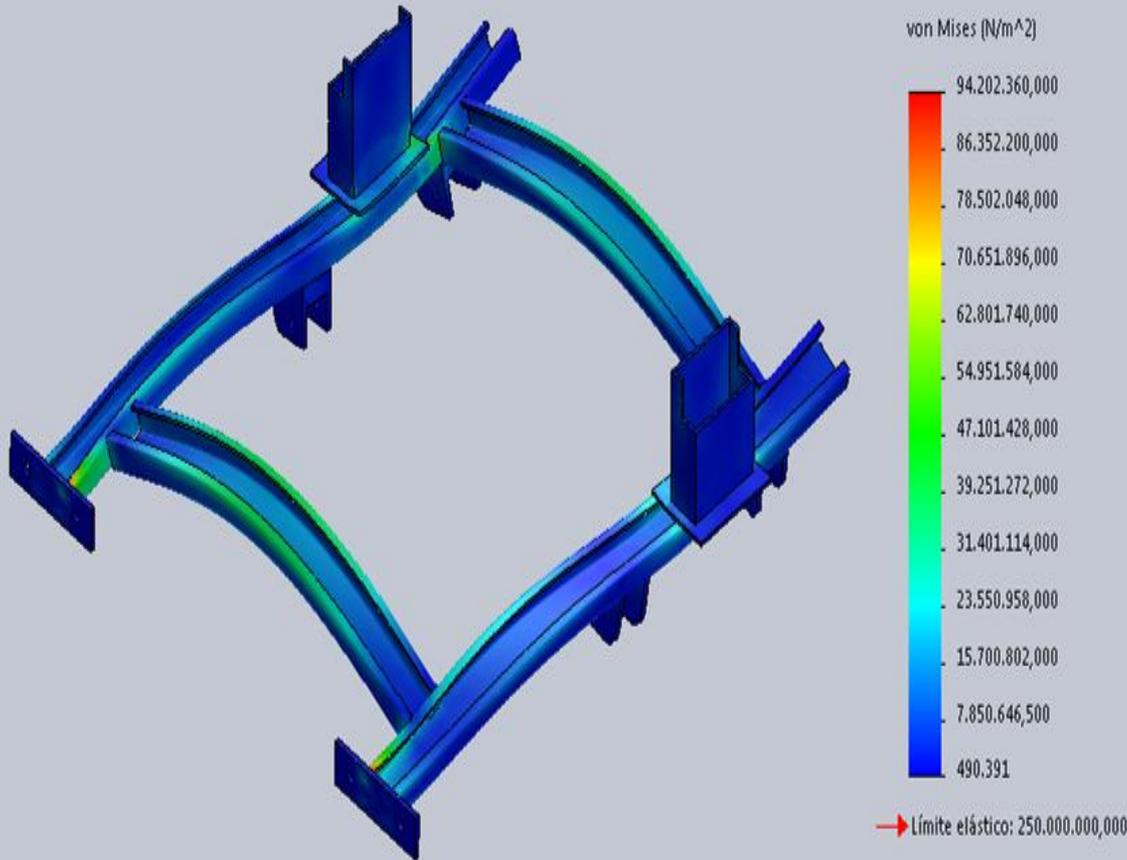
3086.22 N

CARGAS

PUNTOS FIJOS



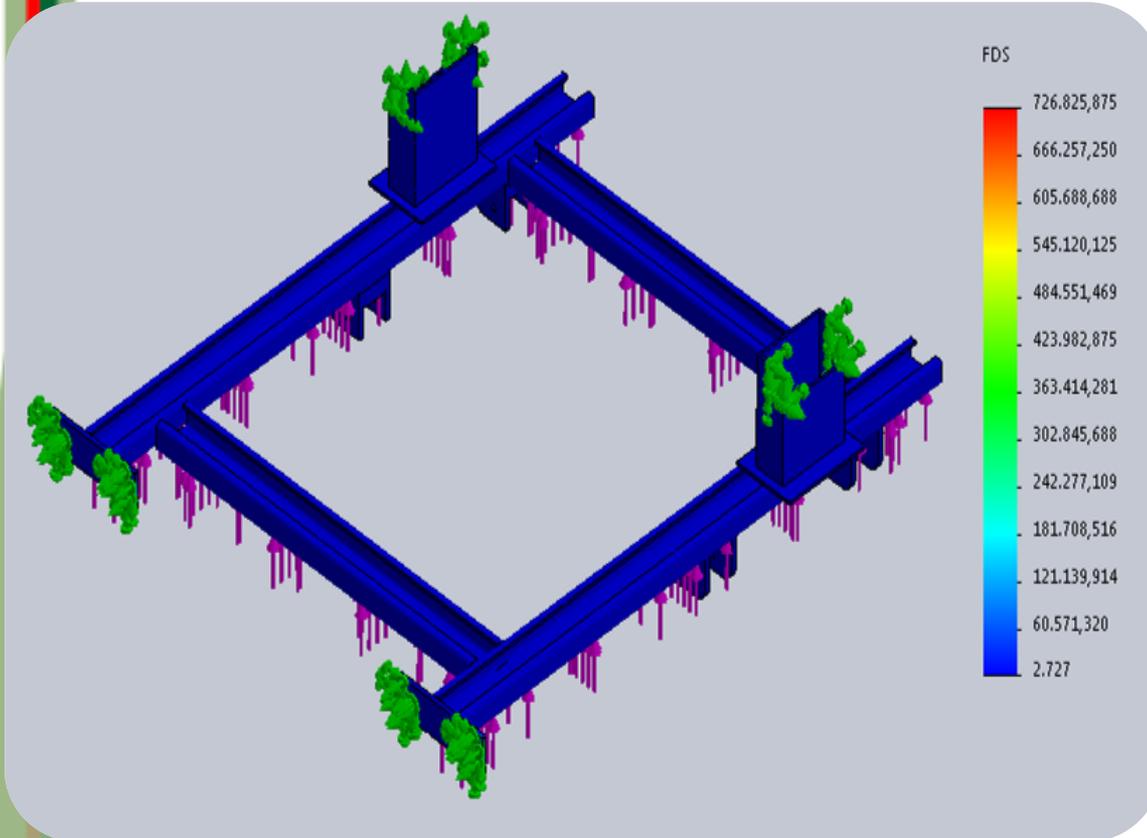
## ESTUDIO DE TENSION DE VON MISES



**El límite elástico del material tiene un valor de 250 Mpa, el esfuerzo máximo que soporta la estructura es de 94 Mpa**



## FACTOR DE SEGURIDAD DE LA ESTRUCTURA



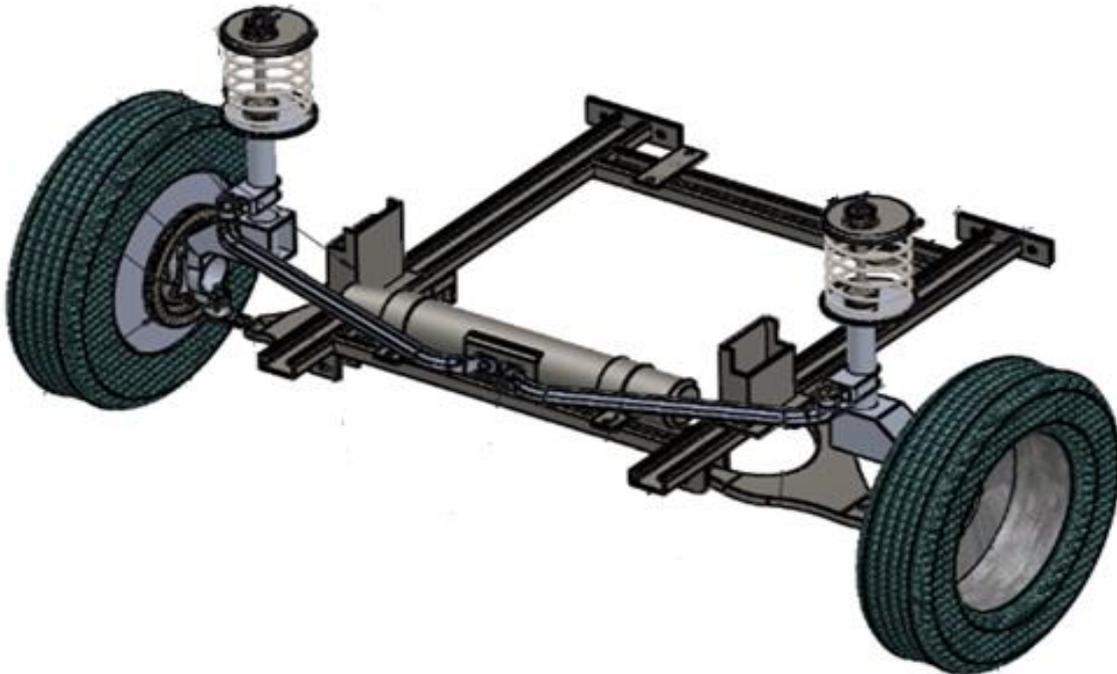
$$\text{FDS} = \frac{\text{Resistencia}}{\text{carga}}$$

$$\text{FDS} = \frac{250 \text{ Mpa}}{94 \text{ Mpa}}$$

$$\text{FDS} = 2.7$$



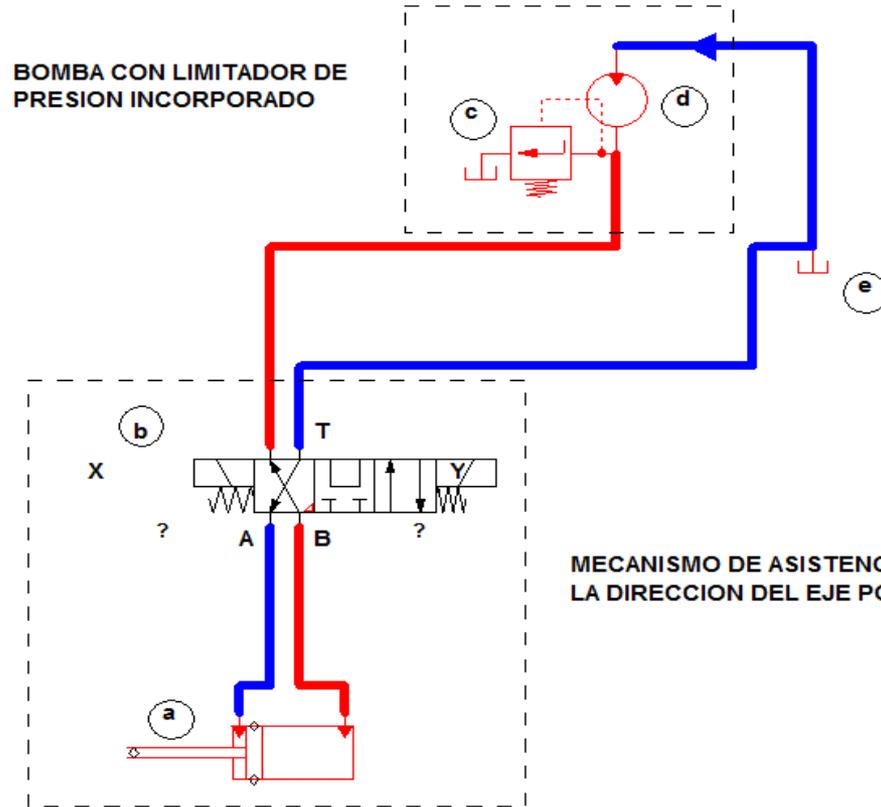
**Mediante la simulación de elementos finitos a través del software Solidworks se puede apreciar como esta constituido el sistema de suspensión posterior así como también el sistema de dirección posterior en el vehículo prototipo.**





# DISEÑO HIDRÁULICO

Para obtener mayor eficiencia en la dirección de las ruedas posteriores, se implementa un circuito de asistencia hidráulica. El mismo que será totalmente independiente al sistema de asistencia de las ruedas delanteras, ya que consta de una bomba, un depósito de fluido hidráulico y cañerías de alta presión independientes y prolongadas hacia el eje posterior del vehículo prototipo.



**Circuito cerrado e independiente de asistencia a la dirección posterior**

**En la figura se aprecia el circuito de asistencia hidráulica a la dirección posterior en funcionamiento y recirculación del fluido hidráulico.**



# PRINCIPALES ELEMENTOS DE LA DIRECCIÓN HIDRÁULICA DEL EJE POSTERIOR



Características	Valores de trabajo
Presión de la bomba	60 Bar (870 Psi)
Caudal	2.4 Gpm
Revoluciones de la bomba	1200 Rpm



Características	Valores de trabajo
Volumen	1/4 L



Características	Valores de trabajo
Mecanismo de dirección	Piñón y cremallera
Diámetro del embolo	70 mm
Fuerza que proporciona	28771 N



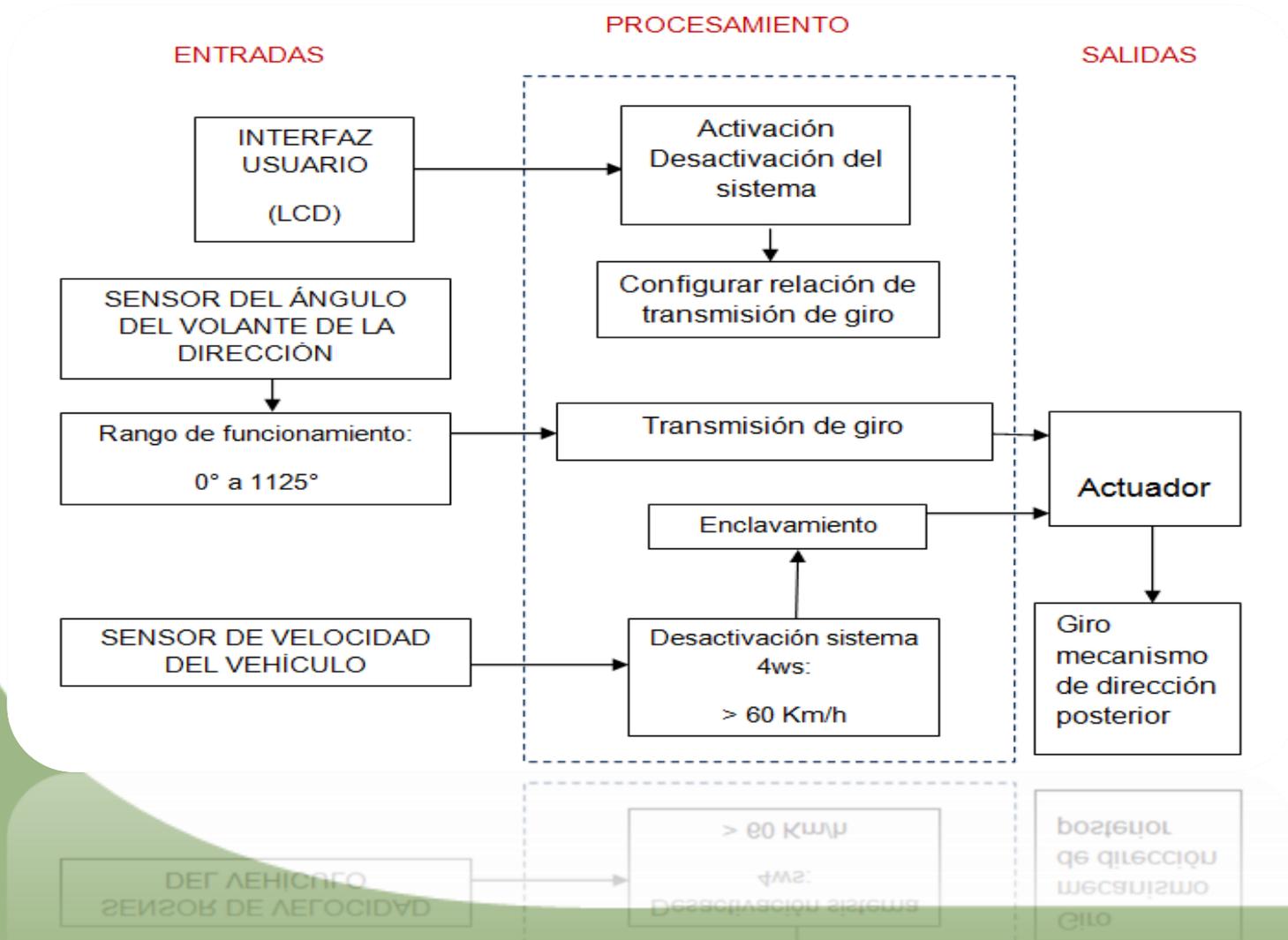
# DISEÑO ELECTRÓNICO

**Para el diseño del sistema electrónico que comandará el mecanismo de dirección posterior, se toma como referencia los sistemas de control electrónico de dirección a las cuatro ruedas existentes en el campo automotriz, que sirven como guía para la implementación en el vehículo prototipo, así se procede a la selección de elementos electrónicos similares a los originales y que se pueden encontrar en el mercado de nuestro país.**



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA





## UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO

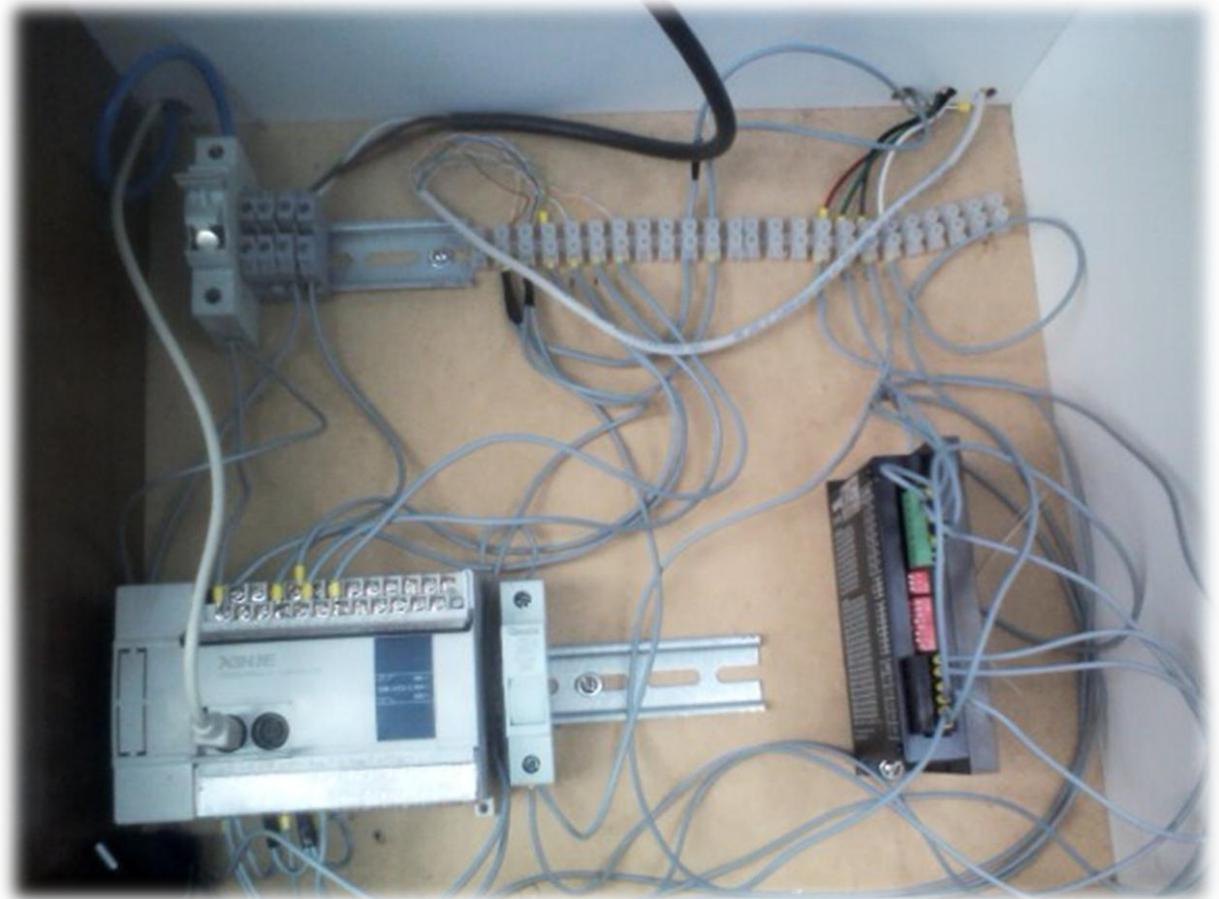
Para la unidad de control electrónico, se opta adquirir un controlador lógico programable, PLC, que satisface las necesidades del proyecto, es óptimo para procesar las señales de entrada que existirán en el sistema y es el adecuado para controlar el actuador de control del mecanismo de asistencia hidráulica de la dirección posterior.





## UNIDAD CENTRAL DE PROCESAMIENTO

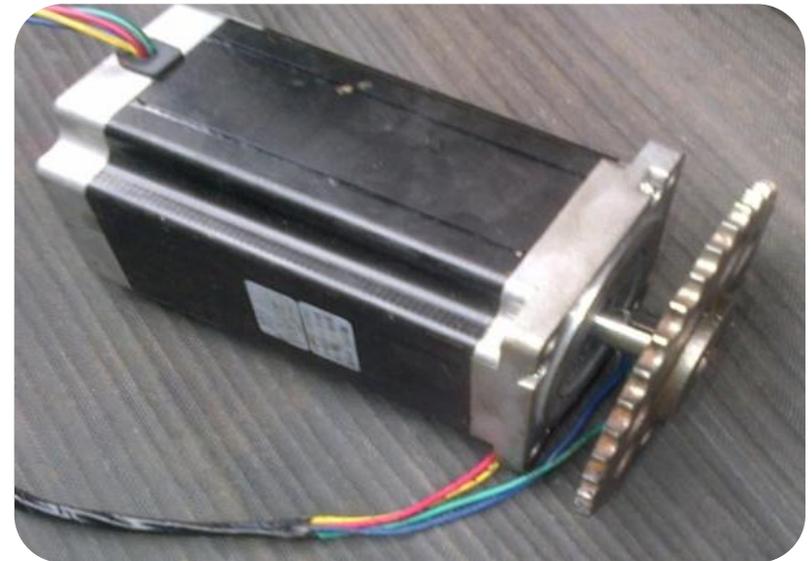
**Ubicación de  
PLC del control  
electrónico**





## ACTUADOR DE LA DIRECCIÓN POSTERIOR

**Este actuador será el encargado de proporcionar el par hacia la válvula rotativa del mecanismo de asistencia hidráulica de la dirección posterior, mediante un sistema de cadena y catarina. Con el motor del vehículo encendido y el sistema hidráulico de asistencia en funcionamiento:**

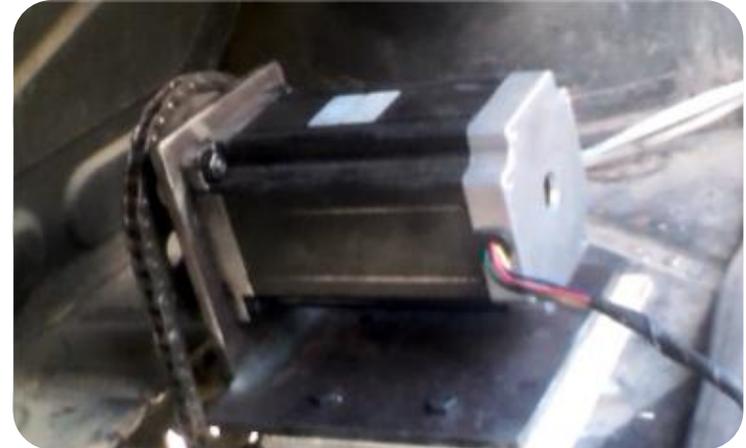


Característica	Valore de trabajo
Torque	12 N.m.



## ACTUADOR DE LA DIRECCIÓN POSTERIOR

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.





## SENSOR DE ÁNGULO DEL VOLANTE DE LA DIRECCIÓN

Para poder sensor el ángulo de giro del volante de la dirección que será transmitido hacia las ruedas posteriores, se utiliza un elemento electrónico como es el encoder rotativo

Especificaciones del Encoder rotativo	
Nombre	E 40S
Revoluciones máximas	6000 rpm
Max. Carga del eje axial	20 N.
Max. Carga del eje radial	30 N.
Voltaje de operación	4,75...30 VDC





## SENSOR DE ÁNGULO DEL VOLANTE DE LA DIRECCIÓN

Para transmitir el ángulo de giro del volante de la dirección al encoder rotativo se construyen dos engranajes con las mismas dimensiones y número de dientes.





## SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

La velocidad del vehículo es información primordial para el funcionamiento del actuador de la dirección posterior, ya que el sistema de dirección posterior trabaja en el rango de velocidad de 0 a 60 Km/h, quedando a partir de esta velocidad en estado de enclavamiento. Para sensar la velocidad del vehículo se utiliza un sensor inductivo magnético

### Especificaciones técnicas del sensor magnético

Distancia Operativa	Máx. 23 mm
Temperatura	-25°C hasta 70°C
Dimensiones	34x15x8 mm





## SENSOR DE VELOCIDAD DEL VEHÍCULO

**Este sensor está ubicado a la salida de la caja de cambios, en una base metálica por encima del árbol de transmisión, en el cual se instaló el contacto magnético móvil**

**Se debe instalar de tal manera que los contactos magnéticos estén alineados correctamente.**





## **PANEL DE CONTROL**

**Para tener un interfaz del usuario con el sistema de control electrónico, además poder visualizar el adecuado funcionamiento de la dirección posterior en el vehículo prototipo, asimismo permitir programar dicho funcionamiento acorde a las necesidades del usuario, se hace necesario el uso de un dispositivo que sea capaz de comunicarse con el PLC y que permita configurar el sistema de asistencia electrónica a través de este.**

**Es así que se implementa una pantalla monocromática con teclado de navegación, la misma que cumplirá las funciones de:**



## PANEL DE CONTROL

- ✓ Permitir activar o desactivar el sistema de asistencia electrónica a la dirección posterior
- ✓ Configurar a qué velocidad de circulación del vehículo se dará la desactivación de la asistencia a través del motor a pasos a la dirección posterior.
- ✓ Programar la relación de giro del volante de la dirección delantera con el giro de las ruedas traseras.





# PROGRAMACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO

✓ Encendido



Switch de encendido ON/OFF

Interfaz de programación





## PROGRAMACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO

### ✓ Configuración de velocidad de desactivación:



A través del teclado numérico se debe ingresar el valor de la velocidad de desactivación (0 – 60 Km/h)

Para ingresar un valor se presiona la tecla SET

finalmente presionar la tecla ENT, para guardar el valor de la velocidad.



## ✓ Activación del sistema 4WS



Mediante las teclas de navegación se puede configurar la activación o desactivación del sistema de dirección posterior.



## PROGRAMACIÓN DEL CONTROL ELECTRÓNICO

- ✓ Relación de transmisión electrónica de giro de las ruedas posteriores.

Este determina el ángulo de viraje de las ruedas posteriores con respecto a las ruedas delanteras.

Se puede configurar valores desde 2:1 hasta 8:1

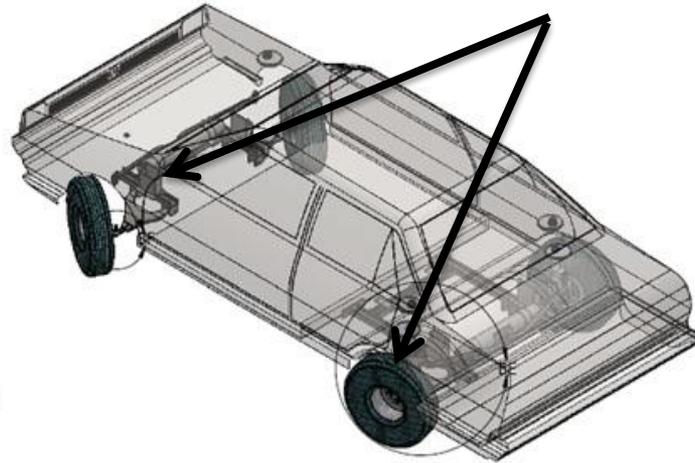




# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

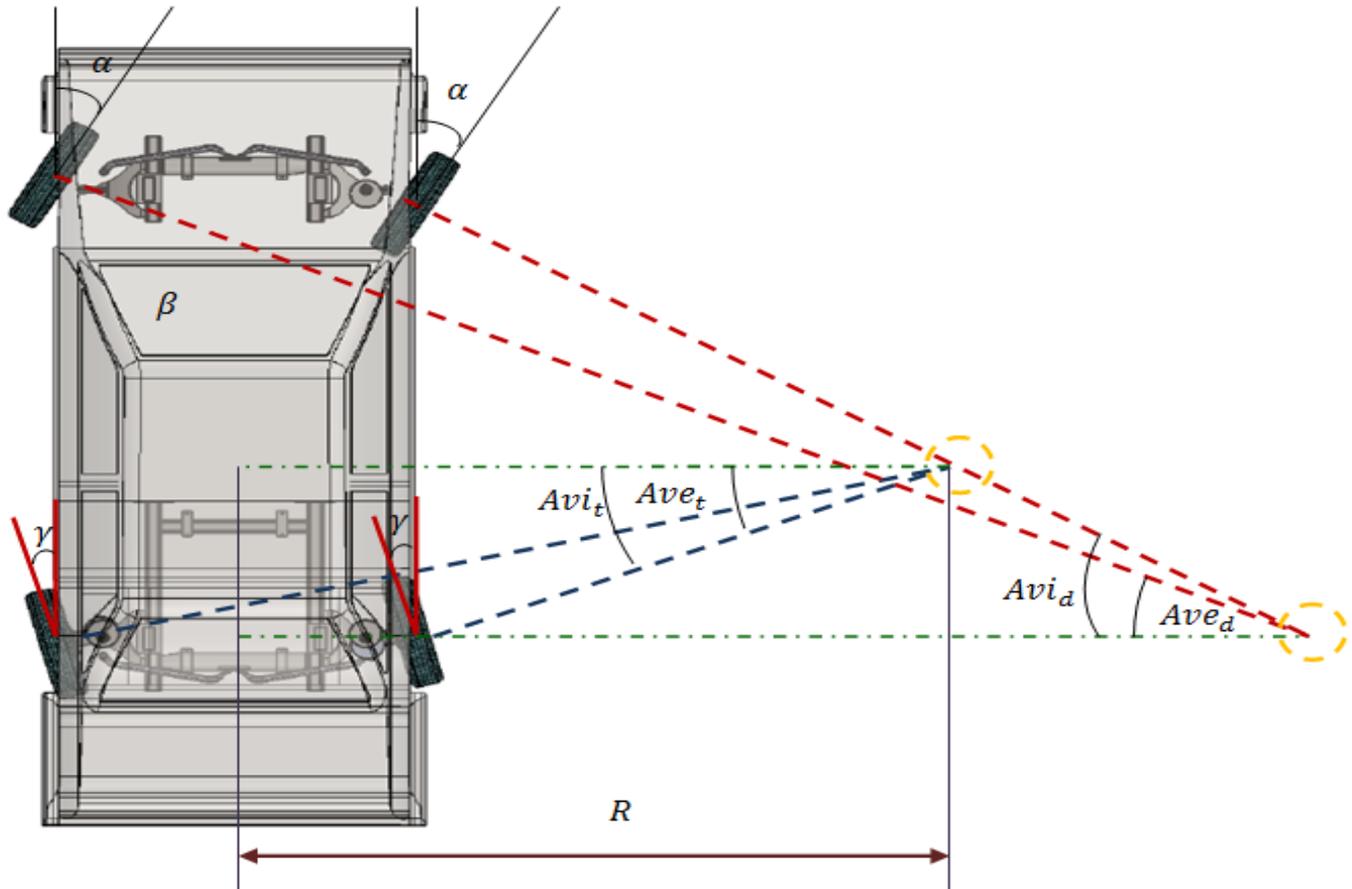
Una vez finalizado el diseño del prototipo de dirección a las cuatro ruedas y la configuración del control electrónico.



Relación de  
transmisión de 2:1



# GEOMETRÍA DE LA DIRECCIÓN POSTERIOR.





## **PRUEBAS DEL SISTEMA**

**Para analizar el funcionamiento y el desempeño del sistema implementado en el vehículo prototipo, se realiza el recorrido de prueba por las calles principales en la ciudad de Latacunga cuya característica más notable es su dimensión angosta con respecto al ancho de sus calzadas y paso por curva.**

**En la siguiente figura se observa el recorrido total que incluye pasos por curvas angostas, giros en U de 180° y giros de 360°.**





# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



**Curva 1 – curva angosta (C. Guayaquil y C. Quijano y Ordoñez)**



**Curva 13 – curva normal (C. Quito y Av. Rumiñahui)**



**Curva 14 – giro en U (Av. Rumiñahui y Santiago Mora)**



# ANÁLISIS DE RESULTADOS CON EL SISTEMA DE DIRECCIÓN A LAS CUATRO RUEDAS.

## Pruebas realizadas

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

## Resultados

Prueba	$\beta$ [°]	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [°]	$L_{ex}$ [mm]	$L_{in}$ [mm]
<b>C 1</b> Paso por curva angosta	400	25	12.5	10775,66	8827,87
<b>C 13</b> Paso por curva normal	250	15	7.5	10822,79	8874,99
<b>C 14</b> Giro en U	450	27	13.5	9393,36	5497,79



✓ **Análisis del resultado de reducción del diámetro de giro.**

En la siguiente tabla se presentan las dimensiones del diámetro de giro obtenidas experimentalmente, con una relación de transmisión electrónica de viraje de las ruedas posteriores con respecto a las ruedas delanteras de 2:1.

Diámetro de giro del vehículo prototipo			
Tipo dirección	Dimensión	Reducción	% reducción
Sistema de dirección estándar 2WS	11150 mm	2350 mm	21.14 %
Sistema de dirección a las cuatro ruedas implementado 4WS.	8800 mm		



✓ **Análisis de resultados del ángulo de giro del volante de la dirección**

	<b>ÁNGULO DE GIRO DEL VOLANTE DE DIRECCIÓN</b>			
<b>Curvas</b>	Desactivado 4WS (°)	Activado 4WS (°)	Reducción de viraje en (°)	Reducción de giro en (%)
<b>C1</b>	540	400	140	25.92
<b>C13</b>	315	250	65	20.63
<b>C14</b>	630	450	180	28.57



✓ **Análisis de resultados del ángulo de viraje de las ruedas delanteras**

	<b>ANGULO DE VIRAJE DE LAS RUEDAS DELANTERAS</b>			
<b>Curvas</b>	Desactivado 4WS (°)	Activado 4WS (°)	Reducción de viraje en (°)	Reducción de viraje en (%)
<b>C1</b>	33	25	8	24
<b>C13</b>	20	15	5	25
<b>C14</b>	39	27	12	30



## ✓ Análisis de resultados de las longitudes recorridas por las ruedas delanteras

LONGITUD INTERNA RECORRIDA POR LAS RUEDAS DELANTERAS				
Curvas	Desactivado 4WS (mm)	Activado 4WS (mm)	Reducción de Longitud en (mm)	Reducción de longitud en (%)
<b>C1</b>	10807,18	8827,87	1979.31	18
<b>C13</b>	11938,05	8874,99	3063.06	25
<b>C14</b>	8168,14	5497,79	2670.35	32
<b>Giro a 360°</b>	25585,13	19790	5795.13	22

LONGITUD EXTERNA RECORRIDA POR LAS RUEDAS DELANTERAS				
Curvas	Desactivado 4WS (mm)	Activado 4WS (mm)	Reducción de Longitud en (mm)	Reducción de longitud en (%)
<b>C1</b>	12754,87	10775,66	1979.21	15
<b>C13</b>	13885,84	10822,79	3063.05	22
<b>C14</b>	12063,72	9393,36	2670.36	22
<b>Giro a 360°</b>	33376,28	27640	5736.28	17

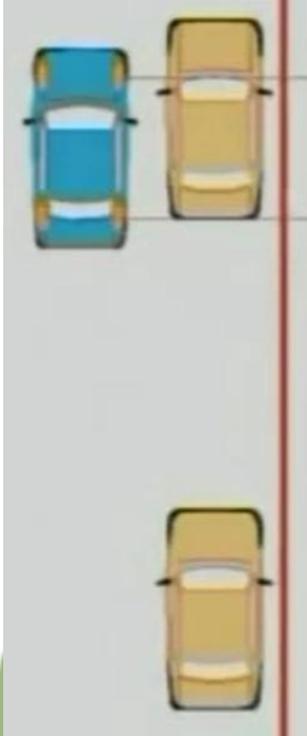


# ESPE

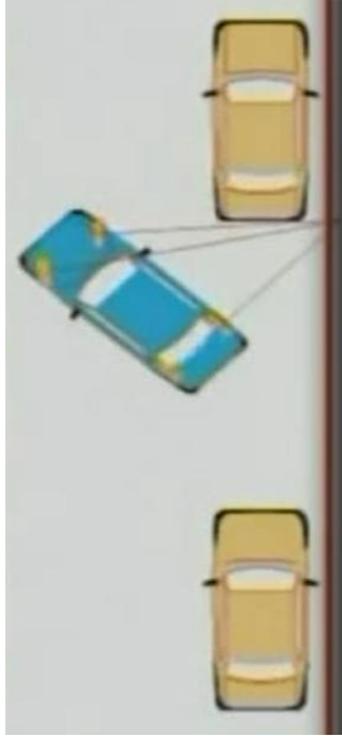
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

## MANIOBRAS DE PARQUEO

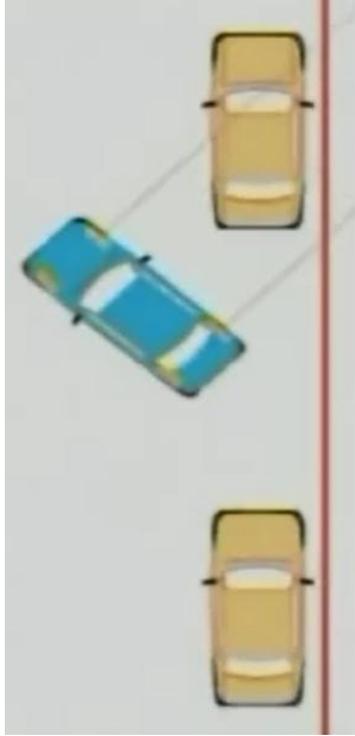
Paso 1



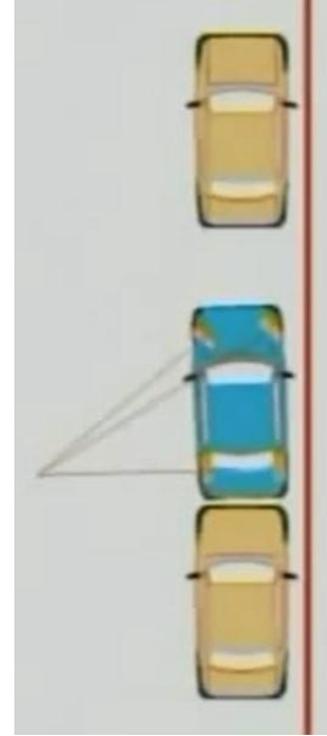
Paso 2-560° Der.



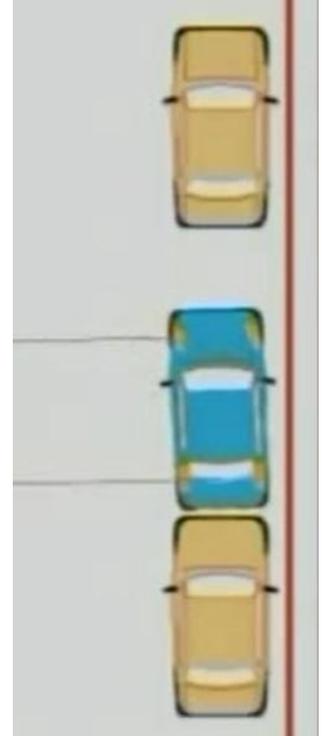
Paso 3 560° Izq.



Paso 4- 565° Izq.



Paso 5- 565° Der.





✓ **Análisis de resultados del giro del volante de la dirección para efectuar el parqueo**



	<b>ÁNGULO DEL VOLANTE DE LA DIRECCIÓN EN MANIOBRAS DE PARQUEO</b>			
	Desactivado 4WS(°)	Activado 4WS (°)	Reducción en (°)	Reducción en (%)
<b>Paso 1</b>	Posición central	Posición central		
<b>Paso 2</b>	560 - Derecha	280- Derecha	280	50
<b>Paso 3</b>	560 - Izquierda	280- Izquierda	280	50
<b>Paso 4</b>	565- Izquierda	283- Izquierda	282	50
<b>Paso 5</b>	565- Derecha	283- Derecha	282	50



✓ **Análisis de resultados del ángulo de viraje de las ruedas posteriores.**

Se analiza el ángulo de viraje de la ruedas del eje posterior, las mismas que son guiadas por el mismo volante de la dirección, obteniendo de esta manera la dirección total del vehículo prototipo, se puede configurar la relación de transmisión electrónica de giro a través del panel de control desde un valor de 2:1 hasta 8:1.



Relación de transmisión electrónica del giro	$\beta$ [°]	$\alpha$ [°]	$\gamma$ [°]
2:1	360	22.4	12.2
3:1	450	28	9.3
4:1	540	33	8.4
5:1	600	37	7.5
6:1	630	39	6.5
7:1	720	45	6.4
8:1	810	50	6.3



## CONCLUSIONES

- Se diseñó, construyó e implementó un 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 en circunstancias comprometidas por falta de espacio, disminuir el área necesaria para el tránsito del vehículo en las calles de la ciudad de Latacunga y facilitar al conductor el manejo en paso por curva, evitar obstáculos en la vía y el parqueo en las vías angostas de las ciudades.
- 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 de transmisión de viraje de 2:1 con respecto a las ruedas delanteras, para obtener mejor maniobrabilidad, agilidad, precisión y seguridad de conducción en espacios reducidos.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- 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.
- Al momento de efectuar las maniobras de parqueo con el vehículo prototipo implementado con el sistema de dirección posterior se obtiene el 50% de disminución en el ángulo de giro del volante de la dirección por ende también se reduce a la mitad del espacio necesario para la ejecución de la prueba, estos resultados reflejan la eficiencia y prestancia del sistema incorporado.



## RECOMENDACIONES

- ✓ El diseño, construcción e implementación del sistema de dirección asistido hidráulicamente a las ruedas posteriores implementado en el vehículo prototipo, ha sido planteado y preparado exclusivamente para el vehículo Volkswagen Santana, por las características de construcción que posee en sus sistemas automotrices.
- ✓ Para la implementación de este sistema en otro vehículo prototipo se deberá analizar y diseñar acorde a las características de construcción del vehículo, referente al tipo de tracción y la disposición del sistema de suspensión de su eje posterior.
- ✓ Antes de iniciar la conducción del vehículo prototipo, el usuario debe estar instruido en el manejo del control electrónico para la configuración del sistema de asistencia electrónica a las ruedas posteriores.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

- ✓ La relación de transmisión de viraje de las ruedas posteriores más recomendable y eficiente para una conducción segura y ágil en las vías locales de la ciudad de Latacunga es de 2:1, ya que proporciona mayor maniobrabilidad para el paso por curva angosta y en espacios reducidos.
- ✓ Evitar transportar líquidos y fluidos inflamables cerca del gabinete donde se alojan los equipos del control electrónico ubicados en la cajuela del vehículo.
- ✓ Constatar que no exista fugas en el circuito hidráulico, ya que si esto sucede el circuito de asistencia para la dirección del eje posterior no realizará su trabajo adecuadamente, de esta forma el motor eléctrico realizaría un esfuerzo mayor, ocasionando alguna avería interna del mismo.



# ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# GRACIAS

