



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE-L**

**Departamento de Energía y Mecánica Carrera de  
Ingeniería Automotriz**

**“Análisis de vibraciones y estabilidad del vehículo Datsun 160J al  
implementar un sistema de suspensión neumática con control electrónico ”**

**Autores:**

Castillo Herrera, William Andrés

Rosero Ganchala, Kevin Alexander

**Director:**

Ing. Erazo Laverde, Washington Germán

**Latacunga, enero de 2023**



# ÍNDICE DE CONTENIDO

- Antecedentes
- Planteamiento del problema
- Descripción resumida del proyecto
- Justificación e importancia
- Objetivos del proyecto
  - Objetivo General
  - Objetivos Específicos
- Metas
- Hipótesis



- ❑ **Marco teórico**
  - ❑ **Movimientos del vehículo**
  - ❑ **Ubicación del centro de masa**
  - ❑ **Sistema de suspensión convencional McPherson**
  - ❑ **Sistema de muelles**
  - ❑ **Muelle neumático**
  - ❑ **Vibraciones mecánicas**



- ❑ **Diseño y selección**
  - ❑ **Ubicación del centro de masa**
  - ❑ **Presiones requeridas**
  - ❑ **Diseño de soporte inferior posterior**
  - ❑ **Compresor y tanque de aire**
  - ❑ **Manguera neumática**
  - ❑ **Muelle neumático**
  - ❑ **Arduino**
  - ❑ **Circuito neumático**
  - ❑ **Circuito eléctrico**



- Implementación
- Prueba y análisis de resultados
  - Prueba de ruta
  - Curvas características
  - Tabla de resultados
  - Porcentaje de ganancia y pérdida neta
- Conclusiones
- Recomendaciones



# MARCO METODOLÓGICO



# ANTECEDENTES

El uso de automóviles a lo largo de la historia ha demostrado la innovación en los diferentes sistemas automotrices según (Noroña M, B, & F, 2019):

En los años cuando los automóviles comenzaban a popularizarse, las presentaciones que demandaban los usuarios no eran muchas. Los automóviles tenían que ser más grandes y veloces, con precios más económicos, interviniendo en el desarrollo tecnológico de la parte electrónica y mecánica de los sistemas del vehículo.

El sistema de seguridad y estabilidad que presenta el vehículo ha ido cambiando durante el transcurso del tiempo, según (Ponce, 2020) explica que:

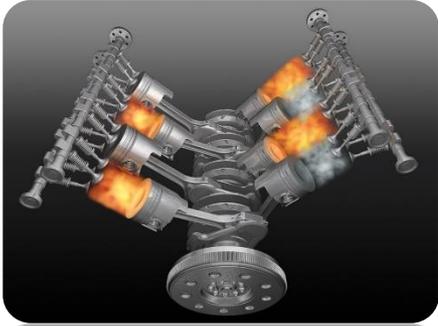
La clave es hacer que los sistemas funcionen de manera cooperativa y evitar que un sistema domine a los demás. El chasis todavía tiene que funcionar de manera excelente sin la electrónica.

El sistema de suspensión electrónica tiene como resultado una innovación en la seguridad y tecnología según (Mapfre, 2020).

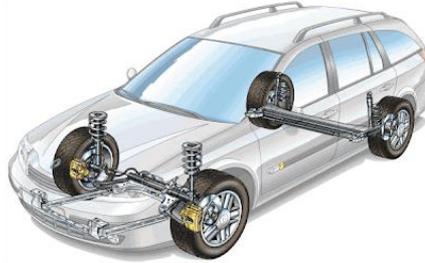
La suspensión electrónica aporta comodidad a la conducción y en el interior de tu vehículo, ofreciendo extras de seguridad que se notan y sienten al volante. La innovación tecnológica actual ha permitido la llegada del control electrónico.



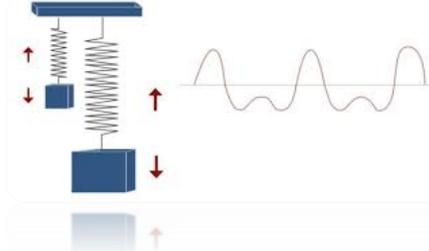
# PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA



Mejora de potencia



Sistemas auxiliares



Vibraciones mecánicas



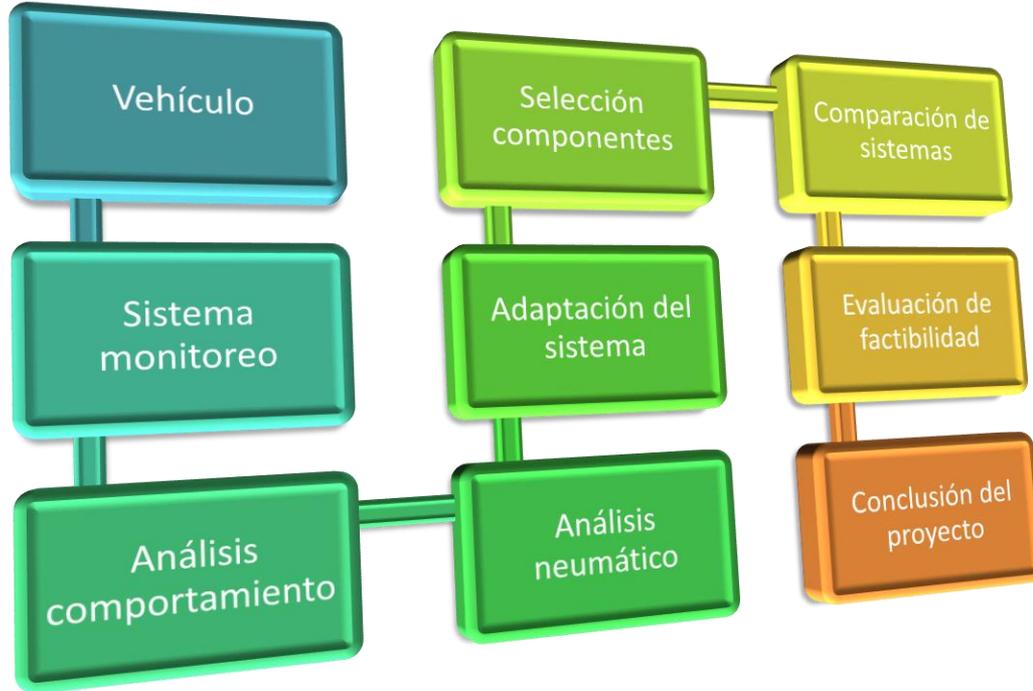
Suspensión neumática

Por lo tanto, el problema a investigar es la transmisión de vibraciones y la incidencia en la estabilidad en el vehículo con la implementación de una suspensión neumática comparada con una convencional.

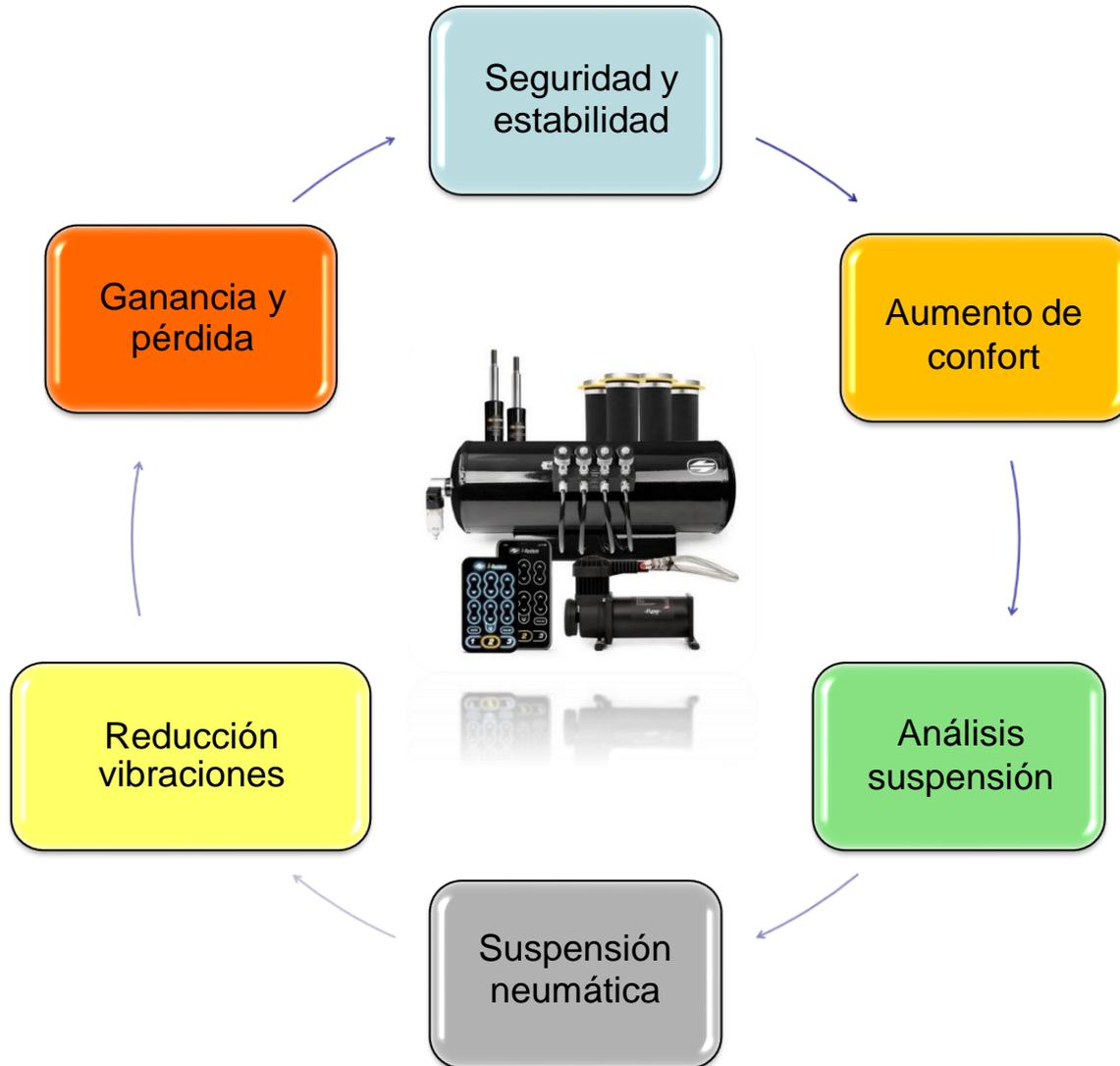


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# DESCRIPCIÓN RESUMIDA DEL PROYECTO



# JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA





## OBJETIVO GENERAL

Analizar y comparar el comportamiento de la suspensión convencional tipo McPherson con una suspensión neumática controlada electrónicamente con el fin de evidenciar la ganancia y pérdida de vibraciones en las diferentes condiciones de prueba.

# OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Fundamentar teóricamente los parámetros característicos de los diferentes tipos de suspensión, tomando en cuenta las ventajas y desventajas que presenta uno sobre otro.



Incorporar un sistema de monitoreo de los sistemas de suspensión evaluando aceleraciones, velocidades angulares, grados de inclinación en los tres ejes de coordenadas



Analizar el comportamiento de la suspensión convencional tipo McPherson presente en el vehículo.



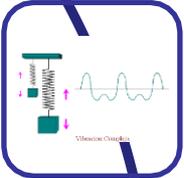
Seleccionar los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos para la implementación del sistema de suspensión neumático con control electrónico.



Implementar el sistema de suspensión con control electrónico en el vehículo mediante la implementación de sus componentes



# OBJETIVOS ESPECÍFICOS



Analizar el comportamiento del sistema neumático con control electrónico implementado en el vehículo.



Comparar el comportamiento de los dos tipos de suspensiones para identificar las ventajas de uno sobre el otro.



Evaluar la factibilidad de la implementación de este sistema considerando el costo y beneficio.



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA



Analizar los sistemas de suspensión



Implementar el sistema neumático



Comparar la ganancia y pérdida de los sistemas de suspensión



## HIPÓTESIS

¿Mediante la implementación del sistema de suspensión neumática controlada electrónicamente permitirá elevar el nivel de confort y estabilidad en el vehículo?



# MARCO TEÓRICO



# Movimientos del vehículo



Eje X Balanceo



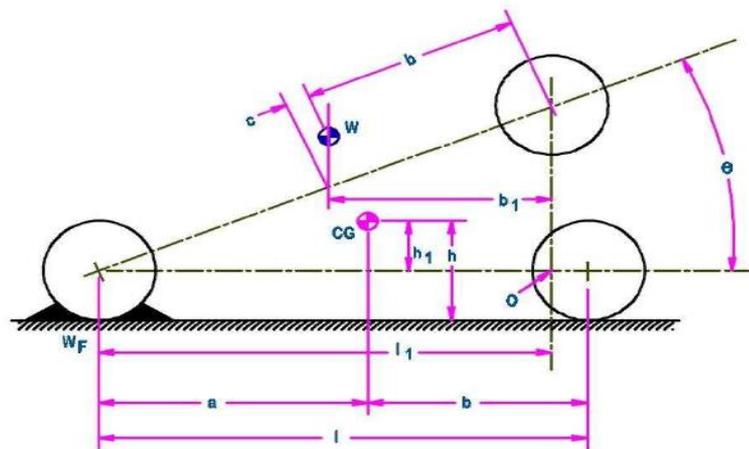
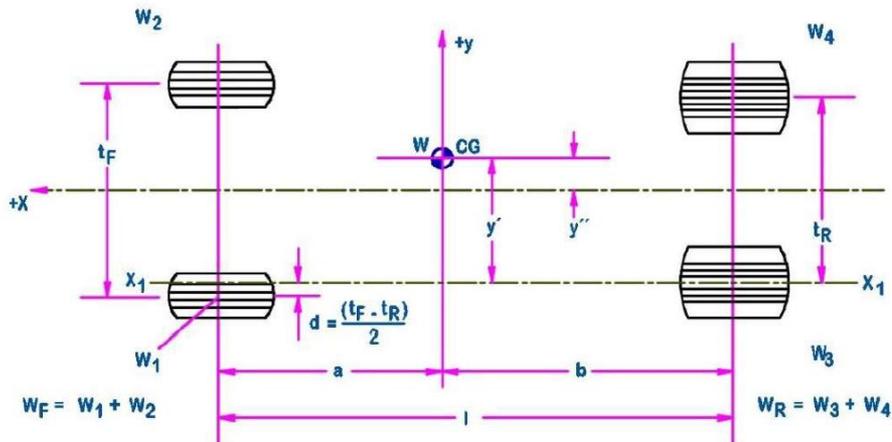
Eje Y Cabeceo



Eje Z Viraje



# Ubicación del centro de masa



## Ecuaciones necesarias

$$b = \frac{W_F x l}{2}$$

Eje posterior a CG

$$a = l - b$$

Eje delantero a CG

$$d = \frac{t_F - t_R}{2}$$

Variación de ancho

$$y' = \frac{W_2}{W} (t_F - d) - \frac{W_1}{W} (d) + \frac{W_4 t_R}{W}$$

Eje central a CG

$$l_1 = l x \cos \theta$$

Batalla con ángulo

$$b_1 = \left( \frac{W_F}{W} \right) x l \cos \theta$$

Eje posterior a CG

$$c = \left( \frac{W_F}{W} l \right) - b$$

Distancia a W

$$h_1 = \frac{W_F l - W_b}{W \tan \theta}$$

Distancia centro a CG



# Sistema de suspensión convencional McPherson



## Concepto

Amortiguador encerrado en el muelle

## Ventaja

Reacciones sobre caen en los muelles helicoidales y amortiguador

## Desventaja

Cambio de inclinación de acuerdo al arco que se encuentre



# Sistema de Muelles

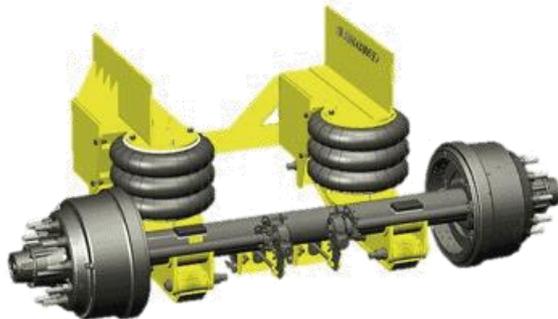


## Concepto

Barra de acero elástico de sección circular enrollada de forma continua en torno a un eje imaginario



# Muelle Neumático



## Concepto

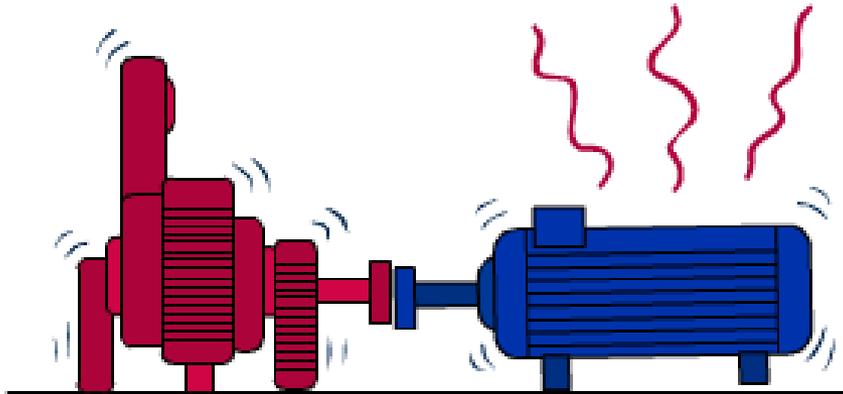
Depósito de aire que adquiere la presión aplicada al sistema para elevar un vehículo a la altura deseada

## Objetivo

Absorber las oscilaciones generadas por el desplazamiento del vehículo y la irregularidad de la calzada.



# Vibraciones mecánicas

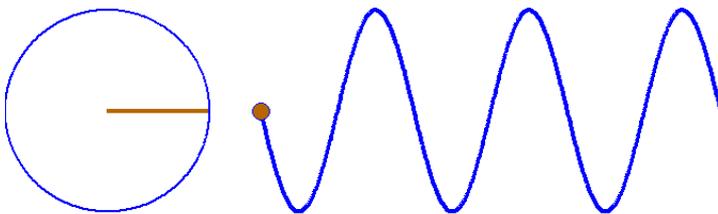


## Concepto

Movimiento de un cuerpo sólido alrededor de una posición de equilibrio sin desplazamiento neto

## Interpretación

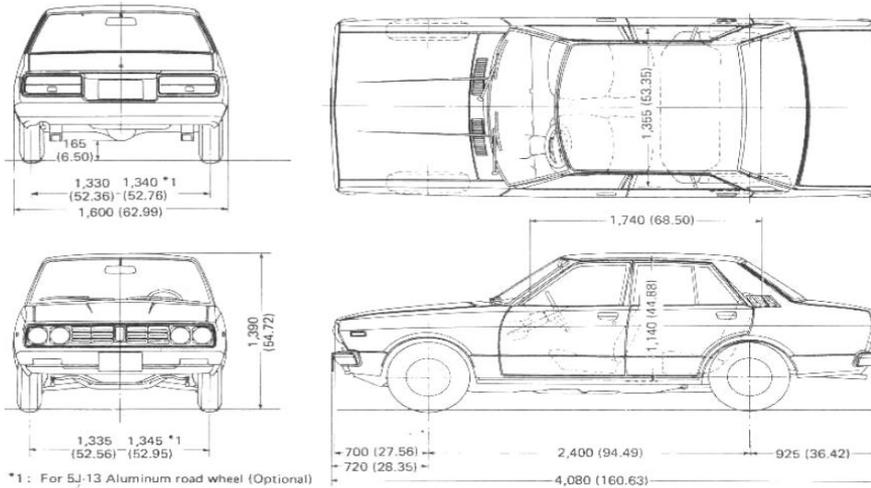
Aceleraciones, velocidades angulares, ángulos de inclinación instantáneos.



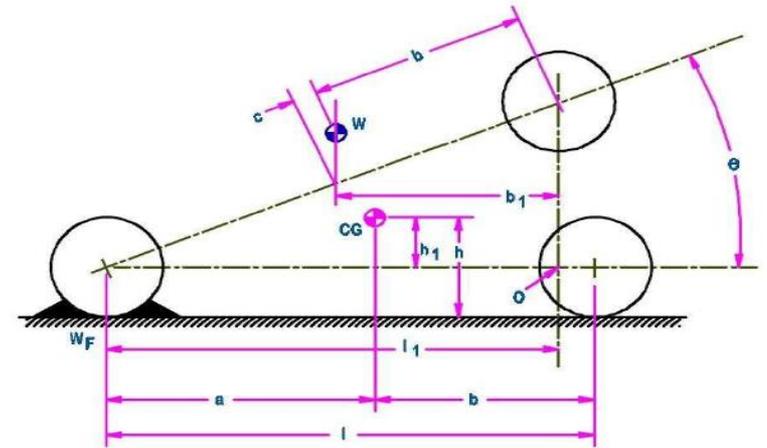
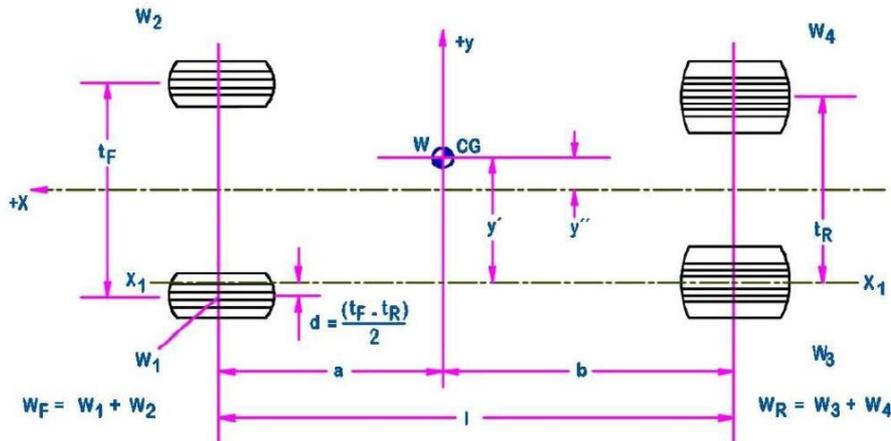
# DISEÑO Y SELECCIÓN



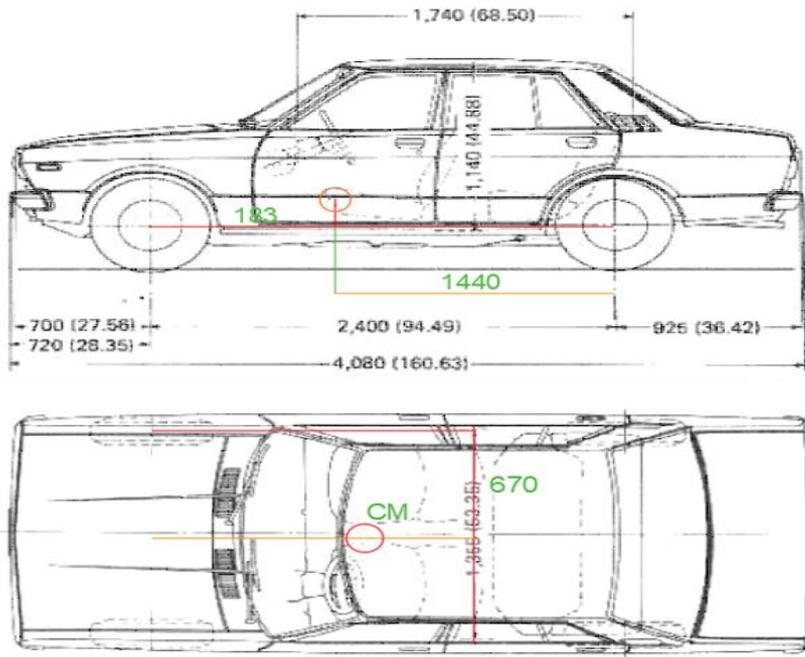
# Ubicación del centro de masa



Parámetro	Valor	Unidad
Ancho de vía Frontal (Tf)	1.345	m
Ancho de vía Posterior (Tr)	1.34	
Batalla (l)	2.4	



# Ubicación del centro de masa



Parámetro	Valor	Unidad
B	1440	mm
A	183	
D	0,0025	
Y'	670	



# Presiones requeridas

PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	EQUIVALENTE	UNIDAD
PESO DEL VEHÍCULO	9515,70	N	2139,22	lb
PESO DEL VEHÍCULO CON FS 50%	14273,55		3208,82	
PESO DEL EJE DELANTERO	7850,45		1764,85	
PESO DEL EJE POSTERIOR	6423,10		1443,97	

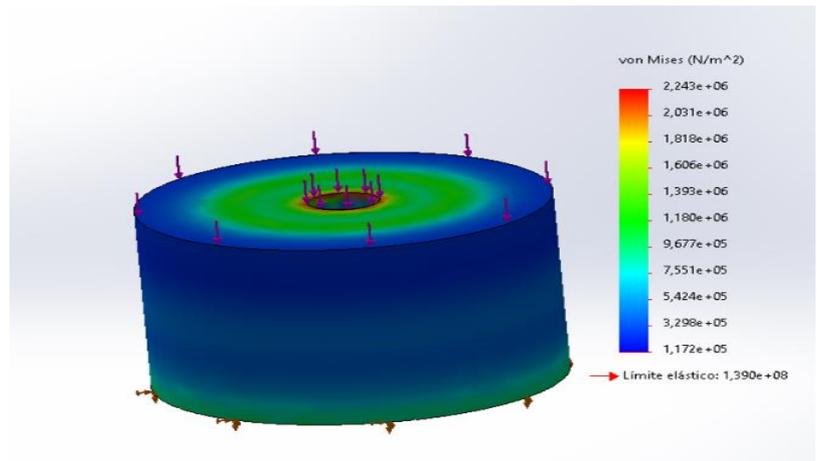
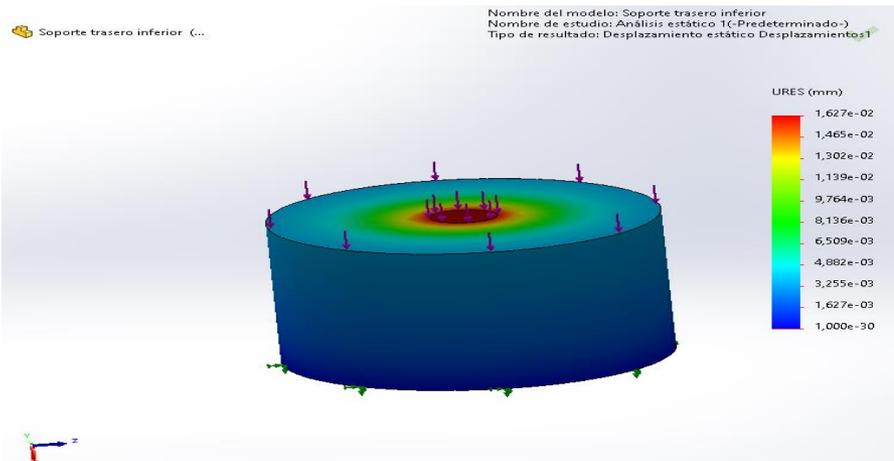
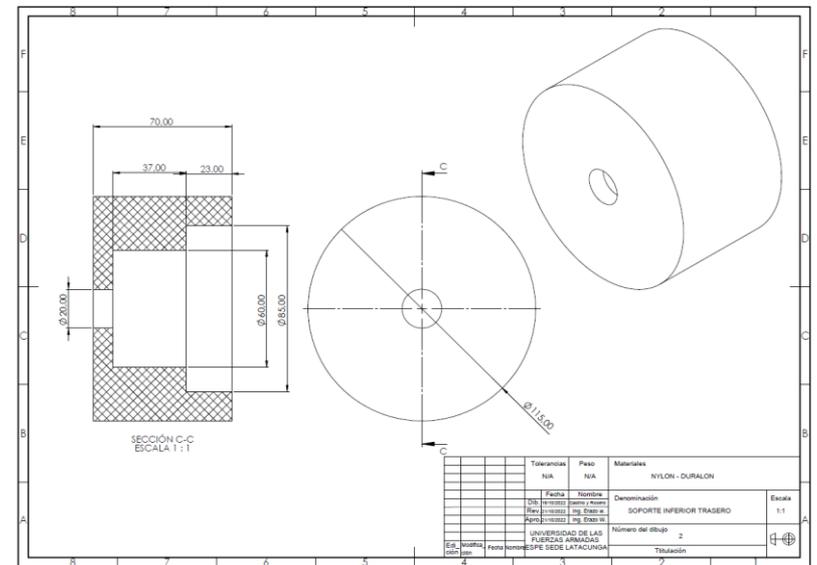
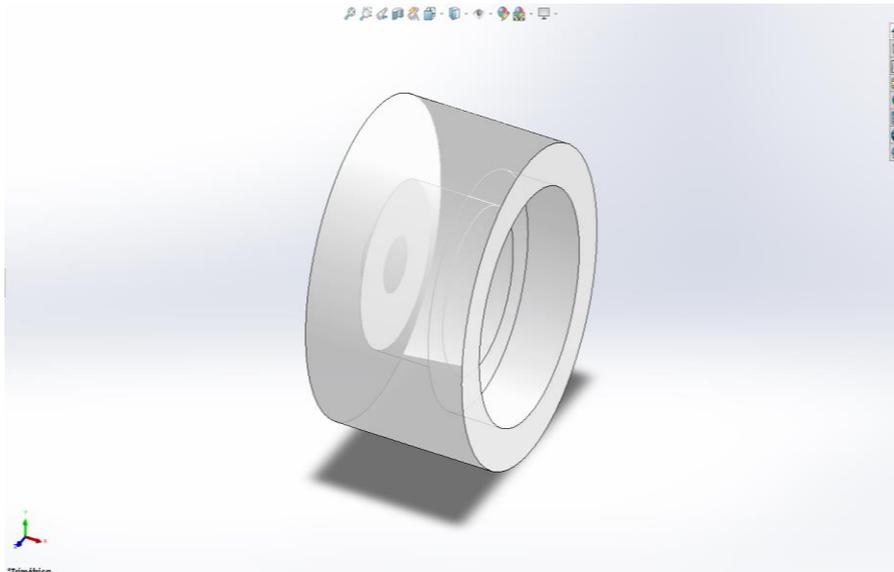
PESO DE CADA NEUMATICO				
NEUMATICO DD	3925,23	N	882,43	lb
NEUMATICO DI	3925,23		882,43	
NEUMATICO PD	3211,55		721,99	
NEUMATICO PI	3211,55		721,99	

DIMENSIONES DEL PULMÓN				
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	EQUIVALENTE	UNIDAD
DIAMETRO		16 cm	6,299216 in	

PRESIÓN REQUERIDA PARA CADA PULMÓN			
PARAMETRO	VALOR	UNIDAD	
AREA	31,16	in <sup>2</sup>	
PRESIÓN	882,43	lbf	
PRESION MINIMA NECESARIA EJE DELANTERO	28,32	PSI	
	1,95	bares	
PRESION MINIMA NECESARIA EJE POSTERIOR	23,17	PSI	
	1,60	bares	



# Diseño de las soportes posteriores inferior



# Diseño de las soportes posteriores

## Deformaciones

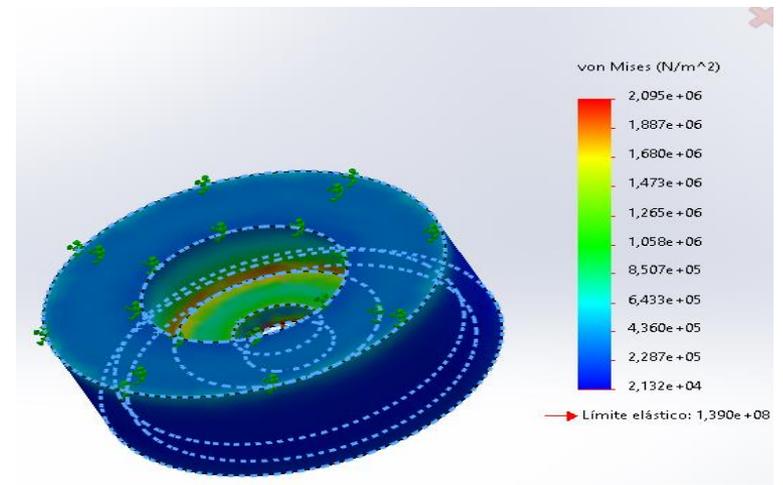
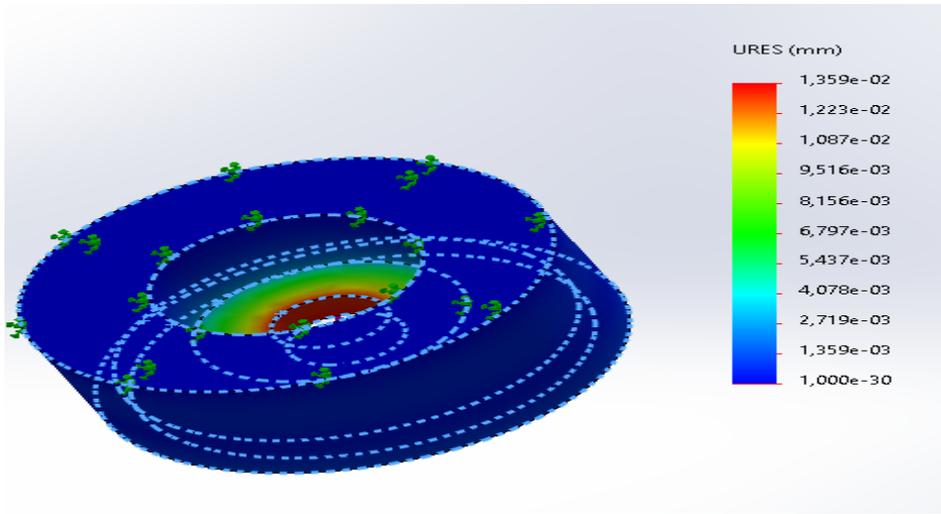
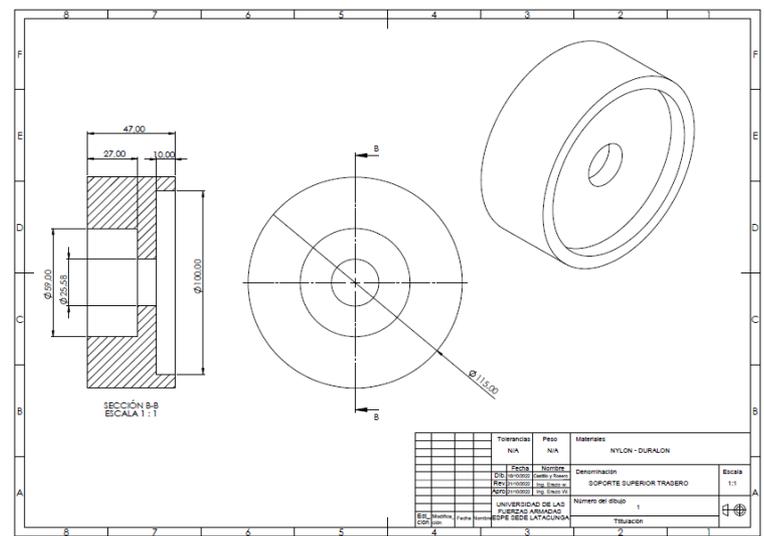
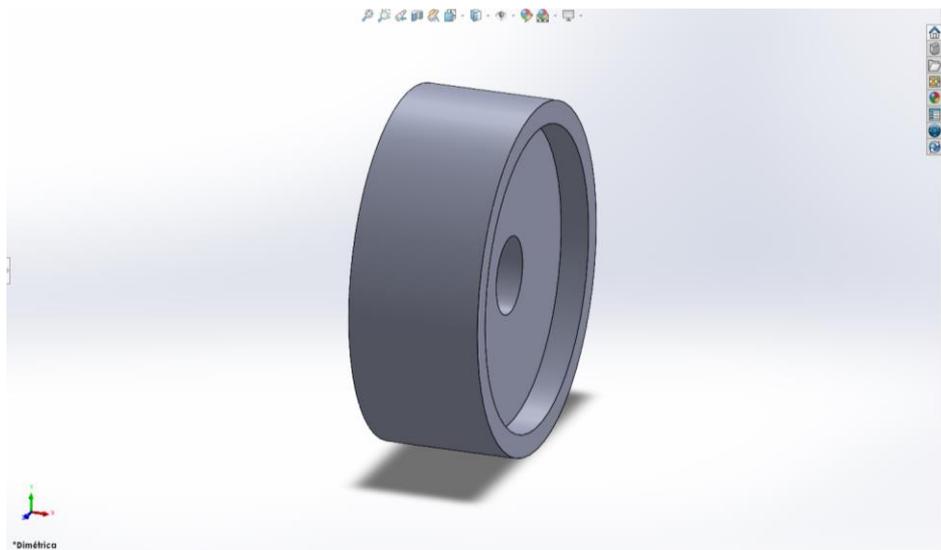
Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	1,57E+00	mm
Máx:	1,63E-02	
Min:	1,00E-30	
RMS:	5,36E-03	

## Tensiones

Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	2,51E+08	$\frac{N}{m^2}$
Máx:	2,24E+06	
Min:	1,17E+05	
RMS:	8,73E+05	



# Diseño de las soportes posteriores inferior



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Diseño de las soportes posteriores

## Deformaciones

Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	1,19E+00	mm
Máx:	1,36E-02	
Min:	1,00E-03	
RMS:	4,12E-03	

## Tensiones

Parámetro	Valor	Unidad
Suma:	2,94E+08	$\frac{N}{m^2}$
Máx:	2,09E+06	
Min:	1,43E+05	
RMS:	7,61E+05	



# Selección de componentes: Compresor y tanque de aire



**Voltaje: 12v**  
**Presión máxima: 200 Psi**  
**Caudal: 1,8 Cfm**



**Conexiones: 3/8"; 1/4"**  
**Capacidad: 4 gal**  
**Presión: 170 Psi**



# Selección de componentes: Muelle neumático



**Presión máxima: 250 Psi**  
**Altura: 150 mm**  
**Desplazamiento: 279,4 mm**  
**Agujero vástago : 20 mm**



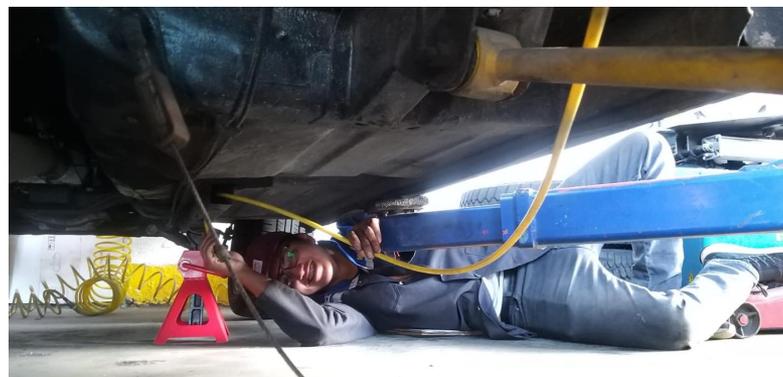
**Presión máxima: 100 Psi**  
**Altura: 101,6 mm**  
**Desplazamiento: 200 mm**  
**Presión: 170 Psi**



# Selección de componentes: Manguera neumática

## Tabla de selección

Consumo de aire (FAD)		Medidas recomendadas
Cfm	m <sup>3</sup> /min	
0 – 20	0 – 0.57	5/16" (8 mm.) para long. hasta 10 ft. (3 m).
		3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.).
		½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).
20 – 30	0.57 – 0.85	3/8" (9.5 mm.) para long. hasta 25 ft. (7.5 m.).
		½" (12.5 mm.) para long. hasta 50 ft. (15 m.).



# ARDUINO UNO



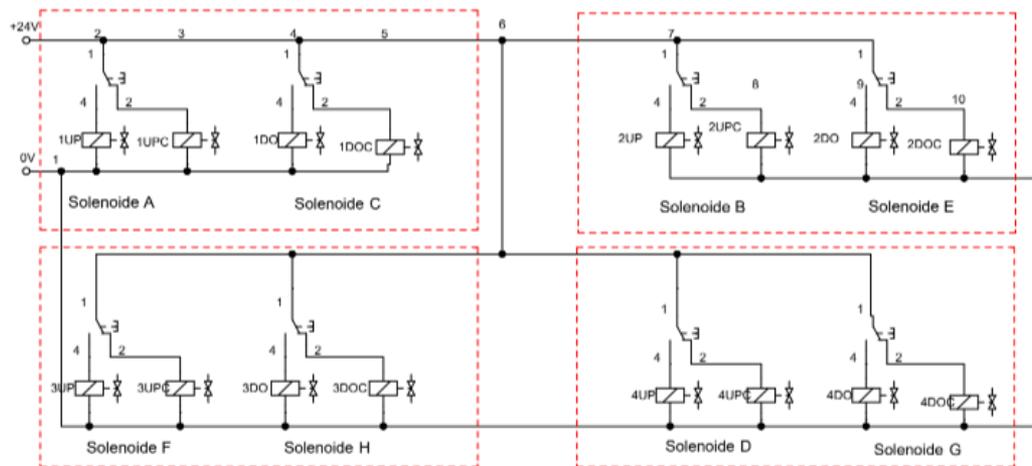
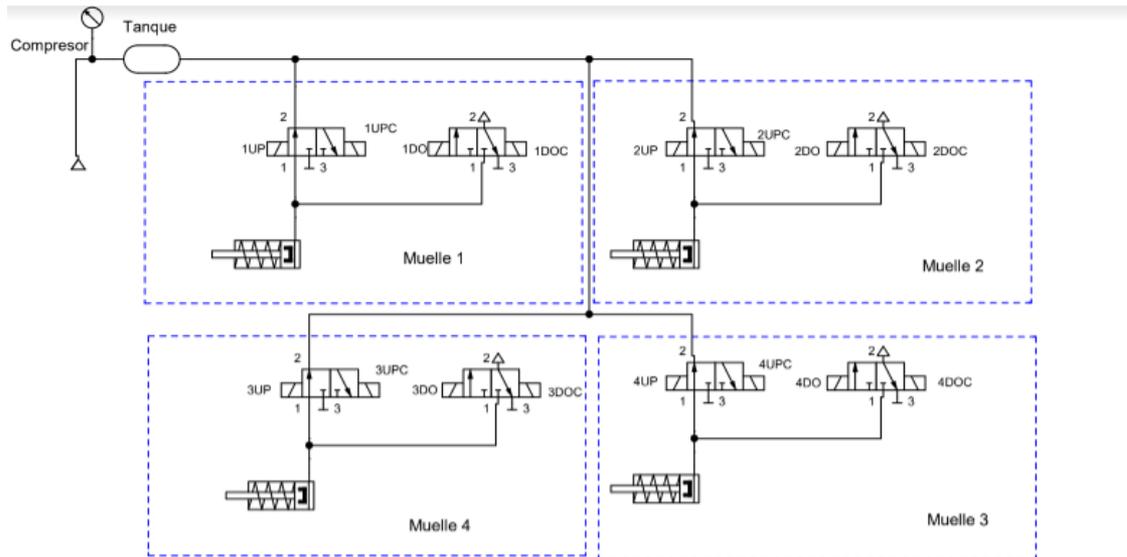
Código abierto – software libre  
Versatilidad



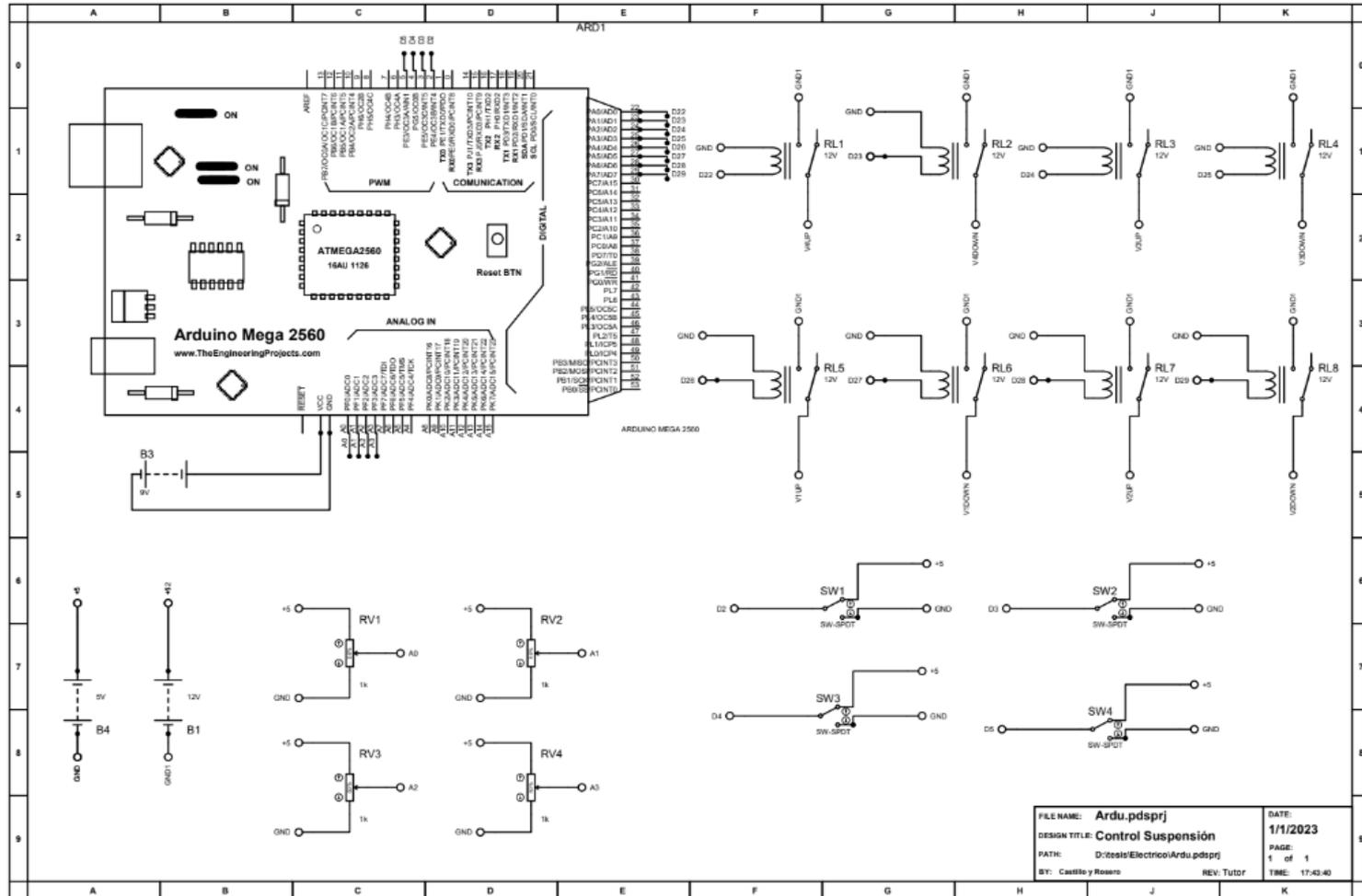
Placas más utilizadas  
Atmega 328T  
14 pines de entradas / salidas digitales



# Circuito neumático



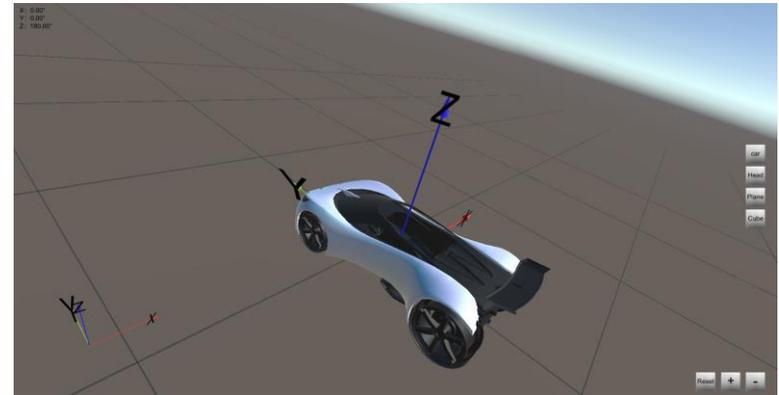
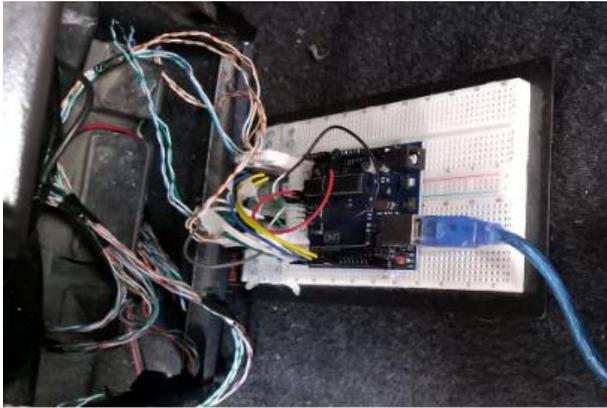
# Circuito eléctrico



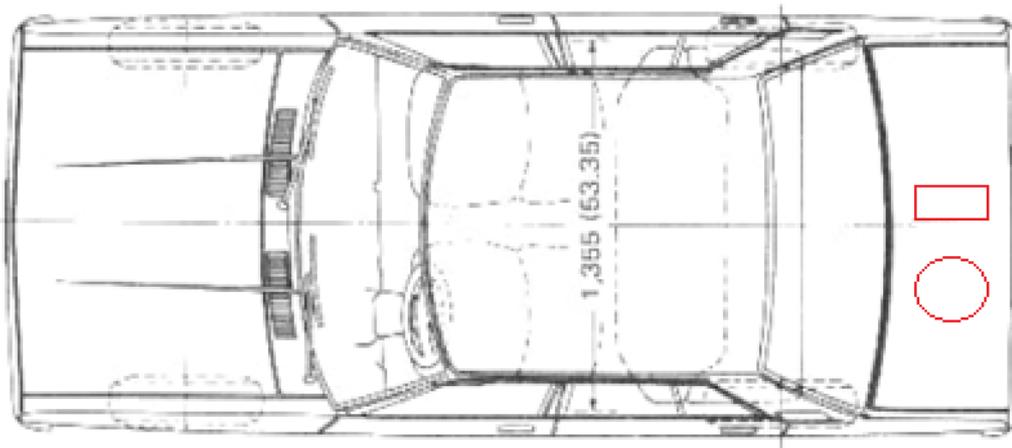
# Implementación del sistema neumático



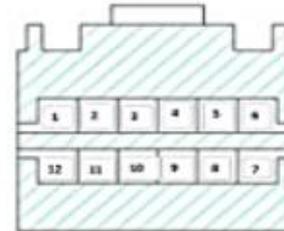
# Implementación del sistema neumático



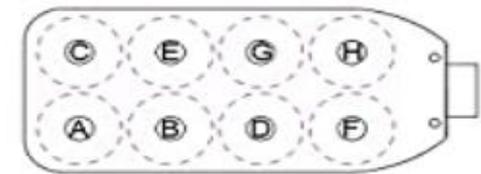
# Implementación del sistema neumático



Connector terminal location diagram



Solenoid valve position picture



Wiring instructions:

A-2 C-1 B-3 E-12 D-4 G11 F-5 H-6  
10-negative electrode-12v

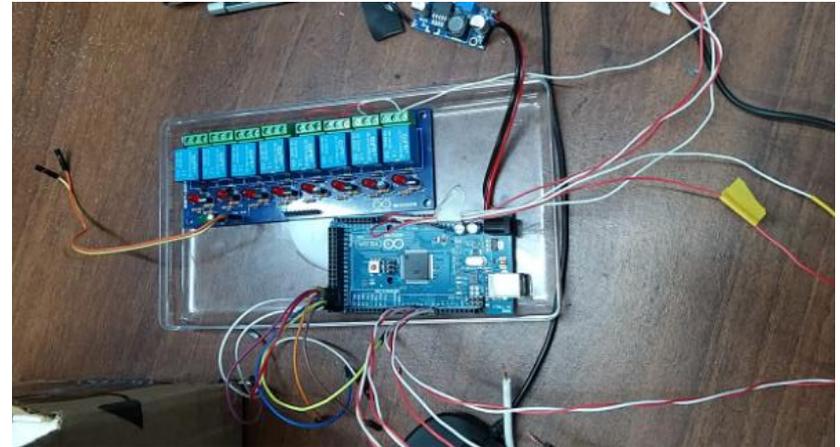


**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

# Implementación del sistema neumático



# Implementación del sistema neumático



# Implementación del sistema neumático

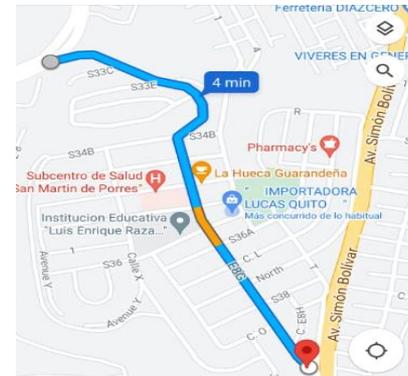
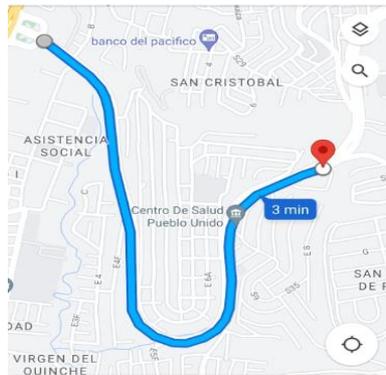


# PRUEBAS Y ANÁLISIS DE RESULTADOS

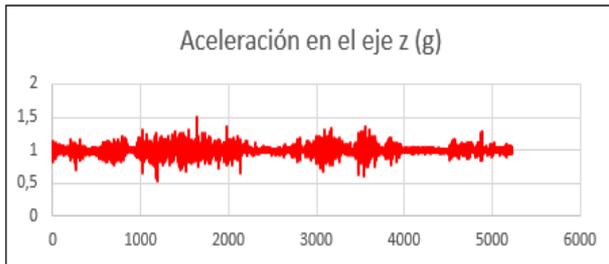
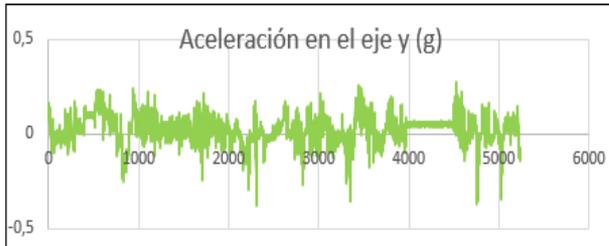
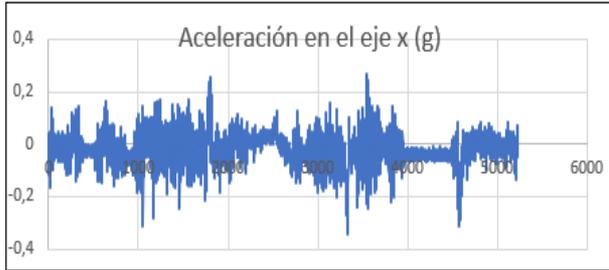


# PRUEBA DE RUTA

Tipo de carretera	Velocidad (Km/h)	Distancia (m)
Adoquín	50	500
Asfalto	50	500
Tierra	20	500
Rompe velocidad	25	500
Frenado	50	500
Curva derecha e izquierda	50	500



# Curvas características



# Tablas de resultados

Adoquín porcentaje de ganancia y pérdida

Giro	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Horario	-13,18	-12,44	4,02	-18,82	-36,25	-75,41	-43,53	-50,41
Antihorario	-42,75	-34,28	-45,13	0,00	-36,18	-53,49	-8,53	-54,60	69,64
Prom Ho	23,18	6,06	-0,22	39,10	12,27	-44,96	-1,30	-16,78	11,50
Prom Aho	-25,51	16,19	0,00	19,55	5,64	-11,94	6,22	23,11	0,00

Rompevelocidad porcentaje de ganancia

Giro	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Horario	13,62	45,96	25,19	18,42	38,61	-58,46	2,79	-68,11
Antihorario	33,19	-3,82	-16,54	1,77	68,09	-25,21	-7,95	-12,92	7,77
Prom Ho	24,71	-28,18	0,07	-26,45	-27,83	-68,26	-56,80	-77,67	1,65
Prom Aho	32,22	-12,58	0,00	-20,27	-12,64	-12,20	-11,75	-12,93	0,00

Tierra porcentaje de ganancia

Giro	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Horario	9,27	-9,59	7,33	119,13	15,71	18,28	-70,42	110,42
Antihorario	2,91	-25,16	-6,57	39,46	62,45	-20,57	-22,86	-13,92	1,58
Prom Ho	-13,12	-20,26	-0,14	31,42	26,13	41,70	-59,95	93,87	1,22
Prom Aho	21,13	34,35	7,33	7,12	5,88	54,11	40,74	2,46	0,00

Frenado porcentaje de ganancia

Giro	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
	Horario	41,74	13,48	-17,13	-4,35	-13,33	-57,14	4,79	-34,91
Antihorario	14,69	-13,28	5,56	36,26	-40,24	-79,85	-8,09	-99,73	-3,86
Prom Ho	81,08	-14,79	0,17	-46,54	-61,01	-82,31	-41,34	-61,55	5,30
Prom Aho	40,56	-61,52	0,00	-36,22	-52,87	-78,38	-41,72	-99,72	0,00



# Porcentaje de ganancia y pérdida neta

Condición	Movimiento Horario								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
ADO	23,18	6,06	-0,22	39,10	12,27	-44,96	-1,30	-16,78	11,50
ASF	183,58	-17,28	-1,61	46,68	58,49	-6,35	-32,25	104,57	9,42
TIE	-13,12	-20,26	-0,14	31,42	26,13	41,70	-59,95	93,87	1,22
ROMP	-24,71	-28,18	0,07	-26,45	-27,83	-68,26	-56,80	-77,67	1,65
FREN	-81,08	-14,79	0,17	-46,54	-61,01	-82,31	-41,34	-61,55	5,30
CURVS	-64,07	9,96	-1,94	-0,88	-11,38	-4,17	40,11	-34,58	2,16
PROM	3,96	-10,75	-0,61	7,22	-0,56	-27,39	-25,26	1,31	5,21

Condición	Movimiento Antihorario								
	Aceleración (%)			Velocidad angular (%)			Ángulo de inclinación (%)		
	X	Y	Z	X	Y	Z	X	Y	Z
ADO	-25,51	16,19	0,00	19,55	5,64	-11,94	6,22	23,11	0,00
ASF	77,49	-77,69	0,00	38,44	57,10	58,75	-87,23	217,49	0,00
TIE	21,13	34,35	0,00	7,12	5,88	54,11	40,74	2,46	0,00
ROMP	-32,22	-12,58	0,00	-20,27	-12,64	-12,20	-11,75	-12,93	0,00
FREN	-40,56	-61,52	0,00	-36,22	-52,87	-78,38	-41,72	-99,72	0,00
CURVS	-33,86	-47,85	0,00	1,61	-1,69	-42,75	-48,88	-67,82	0,00
PROM	-5,59	-24,85	0,00	1,71	0,24	-5,40	-23,77	10,43	0,00



# CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES



- Con la ayuda de fuentes bibliográficas se determinó que el sistema de suspensión neumática regula su altura electrónicamente facilitando su control en comparación a la suspensión convencional McPherson, no obstante, esta suspensión presenta costos de fabricación menores y una durabilidad mayor.
- Se evidenció que el sistema de suspensión neumática al poseer más componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos presenta más tendencia a presentar fallas en su sistema a comparación del sistema convencional McPherson.
- Gracias a la implementación del inclinómetro WT901BLECL BLES5.0, se obtuvo las muestras características del comportamiento de las suspensiones con alta fiabilidad.
- Se analizó el comportamiento de la suspensión convencional mediante la observación, testeo y análisis de los valores proporcionados por el sistema de monitoreo de suspensión obteniendo curvas características de los diferentes parámetros de medición los cuales corresponden a la aceleración, velocidad angular y ángulos de inclinación en los tres ejes coordenados respetando las condiciones de prueba descritas.



- Identificando las características requeridas para el funcionamiento del sistema de suspensión neumática se seleccionó los componentes mecánicos, eléctricos y electrónicos adecuados, considerando sus características obtenidas de las fichas técnicas de cada componente.
- En la implementación del sistema de suspensión neumática con control electrónico, se adaptó su geometría y conexiones eléctricas necesarias, con el fin de que el sistema funcione de acuerdo con lo especificado en la sección de diseño.
- Mediante el sistema de monitoreo de la suspensión se analizó de manera dinámica el comportamiento del sistema de suspensión neumática con control electrónico, evaluando los parámetros de aceleración, velocidad angular y ángulos de inclinación de acuerdo con las condiciones de prueba descritas.



- Se reviso que los valores obtenidos se encuentren dentro de los parámetros correctos de funcionamiento, para esto se comparó la información recopilada del OBD-II mediante el uso del dashboard con los valores de la base de datos previamente investigada.
- Se analizo los valores obtenidos de los componentes del sistema de inyección del vehículo con la base de datos para determinar el procedimiento que se deberá seguir al momento de reparar las averías.
- El plan de reparación se creo para el caso de que los sensores del sistema de inyección funcionen fuera del rango correcto, se deben seguir los pasos especificados en este para poder arreglar la avería.
- Para que un vehículo tenga una vida útil larga se debe tener en cuenta un plan de mantenimiento del sistema de inyección para los vehículos que se diseñó en función del kilometraje y/o estado de los componentes, este plan de mantenimiento no se puede utilizar dentro de la aplicación debido a que el PID del odómetro no se pudo obtener.



- Para las condiciones de prueba del sistema de suspensión, establecer rutas que no presenten considerables variaciones en su terreno como rompevelocidades, baches, curvas pronunciadas, puesto que interfieren con la confianza de los valores obtenidos.
- Para la optimización del espacio utilizado es favorable construir el tanque de aire comprimido a la medida necesaria para que facilite el acceso y disminuya la cantidad de espacio muerto utilizado.
- Previo a la implementación del sistema de suspensión neumática se debe realizar un mantenimiento preventivo del sistema de suspensión, con el fin de evitar inconvenientes en su funcionamiento.
- La conexión del sistema neumático se lo debe realizar con acoples rápidos y seguros para garantizar la estanquidad del sistema y poder realizar un mantenimiento con mayor facilidad.



# “Ningún mar en calma hizo experto a un marinero”



*Laureano Gallardo*



**ESPE**  
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS  
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA