

**SEMINARIO ANALISIS CINEMÁTICO DE LOS MECANISMOS QUE  
CONFORMAN LOS SISTEMAS DE CONTROL Y SEGURIDAD DEL  
AUTOMÓVIL**

**TEMA: ANALISIS DEL SISTEMA DE FRENOS PARA SUBARU IMPREZA  
WRX 2002 REPOTENCIADO**

**SOPHIA ALEXANDRA ACOSTA VILLAMIL  
JOSE ANDRES PAEZ CASTRO  
LUIS GIOVANNY SALAMANCA ROMERO**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA  
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ  
BOGOTÁ, D.C.  
2016**

**ANALISIS DE SISTEMA DE FRENOS PARA SUBARU IMPREZA WRX  
REPOTENCIADO**

**SOPHIA ALEXANDRA ACOSTA VILLAMIL  
JOSE ANDRES PAEZ CASTRO  
LUIS GIOVANNY SALAMANCA ROMERO**

**Proyecto de investigación**

**JAIME PEÑA HERNANDEZ  
INGENIERO MECÁNICO**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD INGENIERÍA MECÁNICA  
PROGRAMA TECNOLOGÍA EN MECÁNICA AUTOMOTRIZ  
BOGOTÁ D.C.  
2016**

## TABLA DE CONTENIDO

1. <u>TÍTULO DE LA INVESTIGACIÓN</u> .....	pág.5 _____
2. <u>PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN</u> .....	pág.5 _____
2.1. <u>DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA</u> .....	pág.5 _____
2.2. <u>FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</u> .....	pág.5 _____
3. <u>OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</u> .....	pág.6 _____
3.1. <u>OBJETIVO GENERAL</u> .....	pág. 6 _____
3.2. <u>OBJETIVOS ESPECÍFICOS</u> .....	pág. 6 _____
4. <u>JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN</u> .....	pág. 6 _____
4.1. <u>JUSTIFICACIÓN</u> .....	pág. 6 _____
4.2. <u>DELIMITACIÓN</u> .....	pág. 6 _____
5. <u>MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN</u> .....	pág. 7 _____
5.1. <u>MARCO TEÓRICO</u> .....	pág. 7 _____
5.2. <u>MARCO CONCEPTUAL</u> .....	pág. 24
5.3. <u>MARCO HISTORICO</u> .....	pág. 29
6. <u>DESARROLLO DEL PROYECTO</u> .....	pág. 30 _____
7. <u>DISEÑO METODOLÓGICO</u> .....	pág. 35 _____
8. <u>FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN</u> .....	pág. 35 _____
8.1. <u>FUENTES PRIMARIAS</u> .....	pág. 35 _____
8.2. <u>FUENTES SECUNDARIAS</u> .....	pág.35 _____
9. <u>RECURSOS</u> .....	pág.35
10. <u>CONCLUSIONES</u> .....	pág.36
11. <u>REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA)</u> .....	pág. 37

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1: Dimensiones.....	pág. 7
TABLA 2: Especificaciones del sistema de frenos.....	pág. 16

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1: Reconocimiento de partes del freno de disco.....	pág. 10
FIGURA 2: Partes bomba de freno.....	Pág. 11
FIGURA 3: Piezas del servofreno.....	pág. 12
FIGURA 4: Gráfica de punto de división.....	pág. 13
FIGURA 5: Vista superior bomba de freno.....	pág. 14
FIGURA 6: Vista superior bomba de freno.....	pág. 15
FIGURA 7: Esquema de un sistema de frenos.....	pág. 25
FIGURA 8: Esquema de un disco de freno con mordaza fija.....	pág. 26
FIGURA 9: Esquema de un disco de freno con mordaza oscilante.....	pág. 26
FIGURA 10: Esquema de freno de disco con mordaza flotante.....	pág. 27
FIGURA 11: Despiece de un freno de disco de bastidor flotante.....	pág. 28
FIGURA 12: Esquema de funcionamiento.....	pág. 28
FIGURA 13: Reparto fuerza de frenado.....	pág. 31
FIGURA 14: Fuerza de frenado en cada eje.....	pág. 34
FIGURA 15: Superficie de frenado.....	Pág. 35
FIGURA 16: Resistencia a la fuerza del frenado.....	pág. 39

## LISTA DE ILUSTRACIONES

ILUSTRACIÓN 1: Medidas de pastillas de freno.....	pág. 18
ILUSTRACIÓN 2: Medidas de discos de freno.....	Pág. 19
ILUSTRACIÓN 3: Caliper.....	pág. 20
ILUSTRACIÓN 4: Discos de freno traseros.....	Pág. 21
ILUSTRACIÓN 5: Cilindro maestro.....	Pág. 22
ILUSTRACIÓN 6: Servofreno.....	pág. 23
ILUSTRACIÓN 7: Pedal de freno.....	pág. 23

## LISTA DE GRAFICAS

---

GRAFICA 1: Distancia de frenado..... pág. 39

## **1. ANALISIS DE SISTEMA DE FRENOS DE UN SUBARU IMPREZA WRX**

Durante el seminario de ANALISIS CINEMÁTICO DE LOS MECANISMOS QUE CONFORMAN LOS SISTEMAS DE CONTROL Y SEGURIDAD DEL AUTOMÓVIL, analizaremos el funcionamiento de los frenos de un subaru wrx 2002 y determinaremos si es un sistema eficiente o no, cuyo motor fue modificado para ser usado en carreras, este vehículo inicialmente tenía un motor 2L y después del proceso de repotenciado, el cual será explicado en el presente informe, obtuvo 2.5L. Su sistema de frenos no responde de manera correcta al ser oprimido el pedal de freno. Por lo cual se requiere analizar las características iniciales del vehículo y las finales para así poder darle solución a este inconveniente.

## **2. PROBLEMA DE INVESTIGACIÓN**

### **2.1 DESCRIPCIÓN DEL PROBLEMA**

El inconveniente que presenta el vehículo es que no reacciona oportunamente a frenadas imprevistas, los tiempos de reacción son mucho más largos que los que tenía cuando estaba estándar, es decir antes de que su motor fuese modificado, así mismo las distancias de frenado son considerablemente mayores lo que genera riesgo para el conductor.

### **2.2 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

El sistema de frenos inicial del vehículo no está respondiendo al motor modificado debido a que fue alterado el bloque del motor, fue retirado el booster, y fueron retiradas las sillas del vehículo, dejando así solo la silla del conductor, estos cambios generan inconvenientes con el sistema de frenos debido a que las cargas han sido modificadas en su totalidad, para lo cual haremos un análisis exhaustivo de las condiciones finales del vehículo para así poder realizar un diseño de frenos eficiente para nuestro subaru impreza wrx 2.0 Turbo. Al obtener tanto los datos iniciales del vehículo como los finales, podemos hacer una comparativa que nos

permitirá conocer, que parámetros debe de tener el sistema de frenos para así cumplir con los requerimientos que genera nuestro nuevo motor de 2.5L

### **3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Analizar el sistema de frenos del Subaru Impreza Wrx 2002 y determinar la eficiencia de frenado en el vehículo después de haber sido modificado.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

Para cumplir con nuestro objetivo principal debemos cumplir los siguientes objetivos:

1. Analizar las características iniciales del vehículo, teniendo en cuenta condiciones tales como especificaciones del fabricante con relación al motor, cargas, sistema de frenado entre otros.
2. Conocer las condiciones actuales del WRX, para de este modo corroborar que requerimientos adicionales tiene y así poder calcular mediante fórmulas en que parámetros está funcionando el sistema de frenos.

### **4. JUSTIFICACIÓN Y DELIMITACIÓN DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **4.1. JUSTIFICACIÓN**

La formulación de este problema se generó inicialmente porque nuestro compañero Andrés Páez trabaja haciéndole alistamientos y reparaciones al vehículo, y por inconformidades con el conductor respecto a la poca eficiencia del sistema de frenos, decidimos realizar el análisis del sistema de frenos.

#### **4.2. DELIMITACIÓN**

La limitación principal en nuestro proyecto es el poco acceso a la información a las modificaciones que se le realizaron al vehículo, debido a que fue un proceso que se le realizó hace bastante tiempo. Además de esto es un vehículo que por lo general se encuentra viajando para correr en diferentes terrenos, así que nuestra oportunidad de estar con el auto es muy escasa.

## 5. MARCO DE REFERENCIA DE LA INVESTIGACIÓN

### 5.1. MARCO TEÓRICO

#### LISTADO DE MODIFICACIONES DEL MOTOR

- Motor forjado
- Relación inicial 8.2 a 1 – relación actual 9.5 a 1
- Válvulas en titanio admisión escape 1 mm más de alzada
- Cuñas en titanio
- Pistones en 0.75 con tratamiento térmico
- Turbo wolverine borg Warner EF6758
- Booster suprimido
- Compresor de vacío de carreras
- Inyectores de 1000  $\text{cm}^3$
- Bujías de iridium
- Funciona con etanol
- Radiador mishimoto (aluminio)
- Clutch de bronce
- Espirales de carreras y amortiguadores de presión regulable de una vía
- Bloque EJ25 STI
- Sistema de combustible flexible (aumenta 100 caballos con alcohol etílico)
- Inyección programable

**TABLA 1****A: DIMENSIONS**

Model		Sedan	
Overall length	mm (in)		
Overall width	mm (in)	1,730 (68.1)	
Overall height (at CW)	mm (in)	1,440 (56.7)	
Compartment	Length	mm (in)	1,890 (74.4)
	Width	mm (in)	
	Height	mm (in)	1,180 (46.5)
Wheelbase	mm (in)		
Tread	Front	mm (in)	1,485 (58.5)
	Rear	mm (in)	1,475 (58.1), 1,480 (58.3)★1
Minimum road clearance	mm (in)	150 (5.9), 155 (6.1)★1	

4.1. WBY



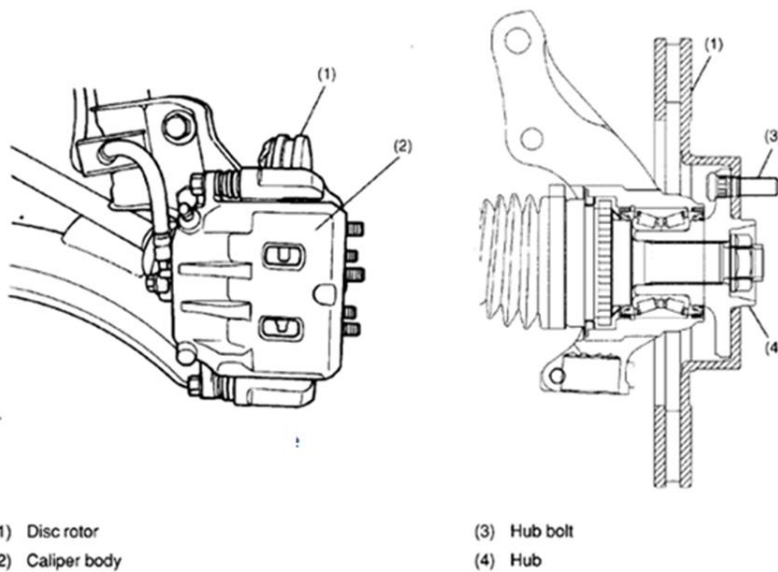
## Sistema de frenos original SUBARU IMPREZA WRX 2002

### Frenos de disco delanteros y traseros

Los frenos de disco son de un tipo de disco ventilado que cuenta con alta disipación de calor y excelente estabilidad en la frenada. Además, los frenos delanteros restauran rápidamente su rendimiento de frenado original incluso cuando se mojan. Discos ventilados se utilizan sólo en las ruedas delanteras.

**Ver figura 1.**

- 1) Rotor de disco      2) 2) Cuerpo del caliper      3) Eje del perno      4) Eje



[1]

FIGURA 1: Reconocimiento de partes del freno de disco

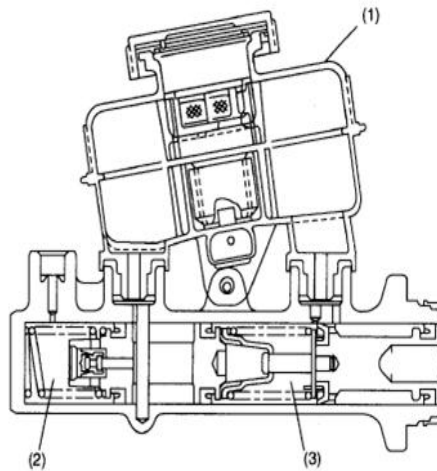
REF. Imagen obtenida del manual de reparación de Subaru WRX . [http://www.wrinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrinfo.com/service_manuals/)

## BOMBA DE FRENO:

### Cilindro principal o bomba de frenos

Este elemento es uno de los principales del sistema de freno hidráulico, ya que es el encargado de generar la presión que debe actuar sobre los pistones y bombines de freno.

La bomba de freno esta constituida por un cilindro (1), con los orificios de entrada y salida de liquido, dentro del cual se desplaza un pistón (2), con un retén (3) que hace estanco el interior del cilindro, empujado por el vástago (4) de unión al pedal de freno. Por delante del pistón va montada la copela (5), el muelle (6) que mantiene el pistón en su posición de reposo y la válvula (7) que regula la presión de salida del líquido. El conjunto va cerrado con una arandela y fiador elástico (10) que impiden que el pistón salga fuera del conjunto. **Ver figura 2.**



- (1) Reservoir tank
- (2) Secondary hydraulic chamber (chamber S)
- (3) Primary hydraulic chamber (chamber P)

[1]

FIGURA 2: Partes bomba de freno

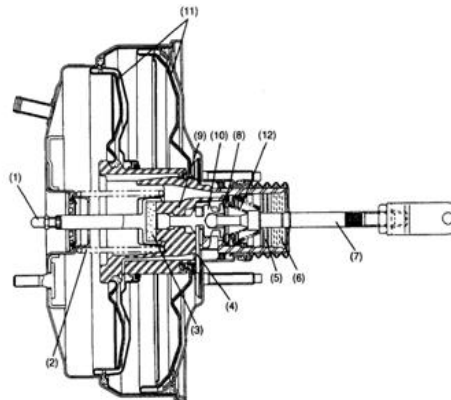
REF. Imagen obtenida del manual de reparacion de Subaru WRX . [http://www.wrinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrinfo.com/service_manuals/)

## SERVOFRENO:

Es el elemento que se utiliza para ayudar al conductor en la acción de frenado. La acción del servofreno se suma a la fuerza ejercida por el conductor sobre el pedal de freno, con el fin de mejorar la frenada. El servofreno se fue implantando en todos los vehículos a medida que estos ganaban en peso y potencia. **Ver figura 3.**

Usa dos diafragmas que cumplen la función de elevar la presión de frenado

- (1) La varilla de empuje
- (2) Muelle de retorno
- (3) disco de reacción
- (4) Llave
- (5) Filtro
- (6) Silenciador
- (7) la varilla de operación
- (8) Válvula de asiento
- (9) El cuerpo de válvula
- (10) Válvula del émbolo
- (11) Placa del diafragma



[1]

FIGURA 3: Piezas del servofreno

REF. Imagen obtenida del manual de reparación de Subaru WRX . [http://www.wrinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrinfo.com/service_manuals/)

## ESPECIFICACIONES DEL SISTEMA DE FRENOS

### TABLA 2

#### G: BRAKE

Model	SEDAN	WAGON
Service brake system	Dual circuit hydraulic with vacuum suspended power unit	
Front	Ventilated disc brake	
Rear	Disc brake	Drum brake, Disc brake★1
Parking brake	Mechanical on rear brakes	

★1: WRX

#### H: TIRE

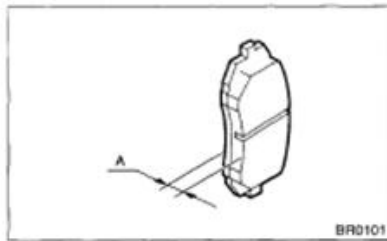
Model	TS	OTHERS
Rim size	15 × 6JJ	16 × 6 <sup>1</sup> / <sub>2</sub> JJ
Tire size	P195/60R15 87H	P205/55R16 89V
Type	Steel belted radial, Tubeless	

REF. Imagen obtenida del manual de reparacion de Subaru WRX . [http://www.wrinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrinfo.com/service_manuals/)

## MEDIDAS DEL SISTEMA DE FRENADO

Las pastillas están diseñadas para producir una alta fricción con el disco. El material del que estén compuestas determinara la duración, potencia de frenado y su comportamiento en condiciones adversas. Deben ser reemplazadas regularmente, y muchas están equipadas con un sensor que alerta al conductor cuando es necesario hacerlo. Algunas tienen una pieza de metal que provoca que suene un chillido cuando están a punto de gastarse, mientras que otras llevan un material que cierra un circuito eléctrico que hace que se ilumine un testigo en el cuadro del conductor. **Ver ilustración 1.**

Check the pad thickness A.



BR0101

Pad thickness (including back metal)	Standard value	17 mm (0.67 in)
	Wear limit	7.5 mm (0.295 in)



Ilustración 1. Medidas de pastillas de freno

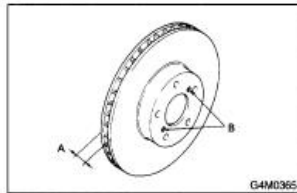
REF. Imagen obtenida del manual de reparacion de Subaru WRX . [http://www.wrxinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrxinfo.com/service_manuals/)

## DISCO DELANTERO

Este tipo de freno adoptado en la mayoría de los vehículos de turismo, tiene la ventaja sobre el freno de tambor de que su acción de frenado es más enérgica, obteniendo, por tanto, un menor tiempo de frenado que se traduce en una menor distancia de parada. Ello es debido a que elementos de fricción van montados al aire, al disponer de una mejor refrigeración, la absorción de energía y transformación en calor se puede realizar más rápidamente **Ver ilustración 2.**

**Disc rotor runout limit:**  
0.075 mm (0.0030 in)

3) Measure the disc rotor thickness.  
If the thickness of disc rotor is below runout limit, replace the disc rotor.



**NOTE:**  
Make sure the micrometer is set 5 mm (0.20 in) inward of rotor outer perimeter.

		Standard value	Service limit	Disc outer diameter
Disc rotor thickness A	15"	24.0 mm (0.945 in)	22.0 mm (0.866 in)	277 mm (10.91 in)
	16"	24.0 mm (0.945 in)	22.0 mm (0.866 in)	294 mm (11.57 in)

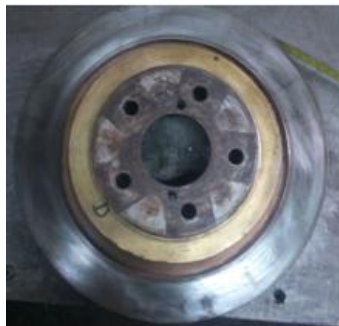


Ilustración 2. Medidas discos de freno

REF. Imagen obtenida del manual de reparación de Subaru WRX . [http://www.wrinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrinfo.com/service_manuals/)

## CALIPER

El cáliper de freno es el elemento que alberga las pastillas de freno y los pistones de un sistema de frenos de disco, y está colocado en posición fija con respecto al automóvil (es decir, no rota) que basa su funcionamiento en apretar el disco de freno (que gira a la misma velocidad que la rueda) hasta detenerlo. **Ver ilustración 3.**



Ilustración 3. Caliper

---

## FRENO TRASERO

Este tipo de freno adoptado en la mayoría de los vehículos de turismo, tiene la ventaja sobre el freno de tambor de que su acción de frenado es más enérgica, obteniendo, por tanto, un menor tiempo de frenado que se traduce en una menor distancia de parada. Ello es debido a que elementos de fricción van montados al aire, al disponer de una mejor refrigeración, la absorción de energía y transformación en calor se puede realizar más rápidamente. **Ver ilustración 4.**



Ilustración 4. Discos de freno traseros



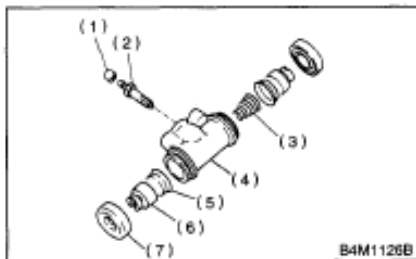
## BOMBA DE FRENO

### Cilindro principal o bomba de frenos

Este elemento es uno de los principales del sistema de freno hidráulico, ya que es el encargado de generar la presión que debe actuar sobre los pistones y bombines de freno.

La bomba de freno está constituida por un cilindro (1), con los orificios de entrada y salida de líquido, dentro del cual se desplaza un pistón (2), con un retén (3) que hace estanco el interior del cilindro, empujado por el vástago (4) de unión al pedal de freno. Por delante del pistón va montada la copela (5), el muelle (6) que mantiene el pistón en su posición de reposo y la válvula (7) que regula la presión de salida del líquido. El conjunto va cerrado con una arandela y fiador elástico (10) que impiden que el pistón salga fuera del conjunto. **Ver ilustración 5.**

Ilustración 5.



- (1) Bleeder cap
- (2) Bleeder screw
- (3) Spring
- (4) Cylinder
- (5) Cup
- (6) Piston
- (7) Boot

REF. Imagen obtenida del manual de reparación de SUBARU WRX . [http://www.wrinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrinfo.com/service_manuals/)



Ilustración 5. Cilindro maestro

## SERVOFRENO

Es el elemento que se utiliza para ayudar al conductor en la acción de frenado. La acción del servofreno se suma a la fuerza ejercida por el conductor sobre el pedal de freno, con el fin de mejorar la frenada. El servofreno se fue implantando en todos los vehículos a medida que estos ganaban en peso y potencia. **Ver ilustración 6.**



Ilustración 6. Servofreno

## PEDAL DE FRENO



Pieza metálica que transmite la fuerza ejercida por el conductor al sistema hidráulico. Con el pedal conseguimos hacer menos esfuerzo a la hora de transmitir dicha fuerza. El pedal de freno forma parte del conjunto “pedalera”, donde se sitúan 2 o 3 palancas de accionamiento individual que nos permiten

Ilustración 7. Pedal de freno

## 5.2. MARCO CONCEPTUAL

### FRENOS DE DISCO

Este tipo de freno adoptado en la mayoría de los vehículos de turismo, tiene la ventaja sobre el freno de tambor de que su acción se frenado es más enérgica, obteniendo, por tanto, un menor tiempo de frenado que se traduce en una menor distancia de parada. Ello es debido a que elementos de fricción van montados al aire, al disponer de una mejor refrigeración, la absorción de energía y transformación en calor se puede realizar más rápidamente. Otra de las ventajas de estos frenos es que en ellos no aparece el fenómeno de "fading" que suele presentarse en los frenos de tambor. Este efecto se produce cuando por un frenado enérgico o frenados sucesivos, el tambor no tiene tiempo de evacuar el calor absorbido en la transformación de energía. En estas condiciones, el tambor se dilata alejando la superficie de adherencia del contacto con las zapatas, quedando momentáneamente el vehículo sin frenos. En los frenos de disco al mejorar la evacuación del calor no existe calentamiento crítico y por tanto dilatación, pero en caso de haberla el disco se aproximaría más a las pastillas de freno, lo cual favorecería la presión y efecto de frenado.

### Constitución

El freno de disco está formado por un disco que se une al buje de la rueda o forma parte de él, girando con la rueda y constituyendo el elemento móvil de frenado. Sobre este disco, abarcando aproximadamente la quinta parte de la superficie del mismo, va montada una mordaza sujeta al puente o mangueta en cuyo interior se forman los cilindros por los que se desplazan los pistones. A estos pistones se unen las pastillas de freno de un material similar a los ferodos de las zapatas utilizadas en los frenos de tambor.

Por el interior de la mordaza (2) van situados los conductos por donde se comunica el líquido de freno a los cilindros (3), acoplado en (A) el latiguillo de freno y en (B) el purgador. El líquido a presión, procedente del circuito de frenos y que entra por (A), desplaza a los pistones (4) hacia el interior, aplicando las pastillas de freno (5) sobre el disco (1), las cuales, por fricción, detienen el giro del mismo. **Ver figura 7.**

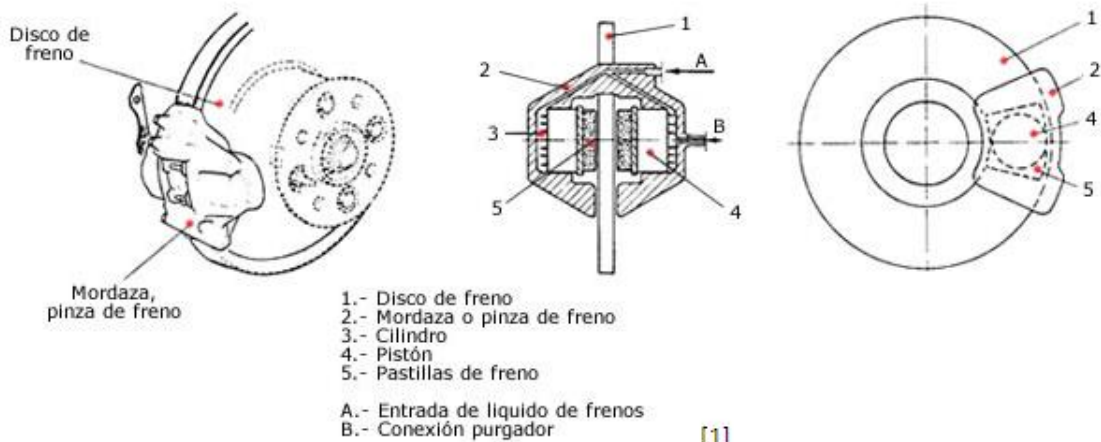


FIGURA 7: Esquema de un sistema de frenos

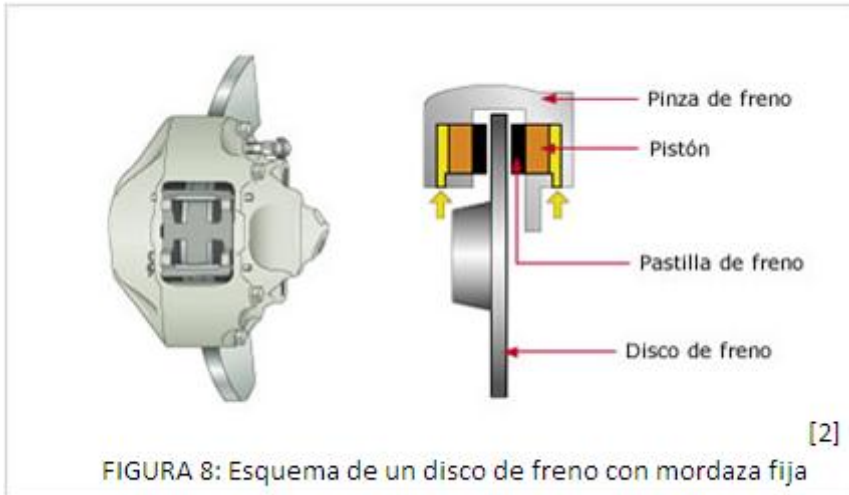
REF. Imagen obtenida <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

Sistemas de mordazas o pinza de freno  
Según el sistema empleado para la sujeción de la mordaza o pinza, los frenos de disco se clasifican en:

### Freno de pinza fija

También llamada de doble acción, la mordaza va sujeta de forma que permanece fija en el frenado. La acción de frenado se realiza por medio de dos o cuatro pistones de doble acción, desplazables, que se ajustan a caja una de las caras del disco.

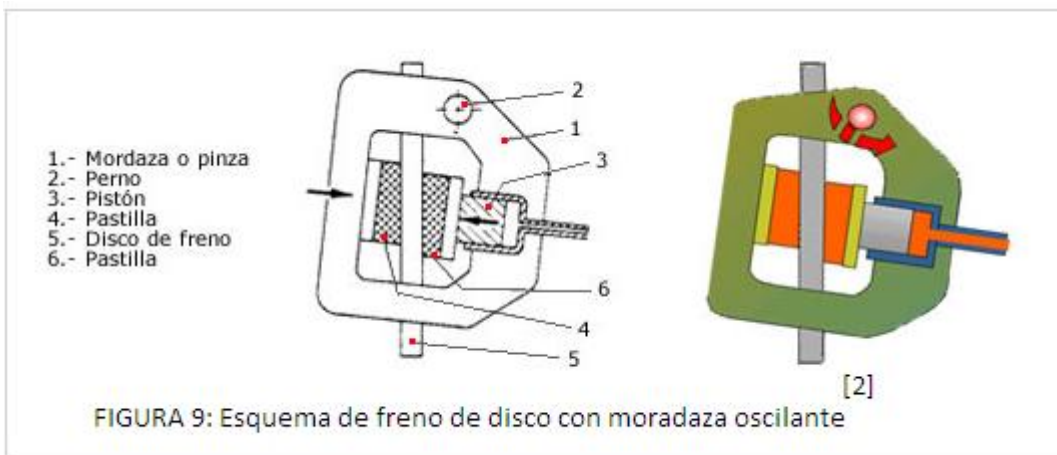
En este tipo de pinzas, cada pistón se encuentra en cada mitad de la mordaza. Durante el proceso de frenado, actúa una presión hidráulica sobre los dos pistones y cada pistón aprieta la pastilla contra el disco. Los frenos de pinza fija contra el disco de freno son muy sólidos, por lo que se emplea en vehículos rápidos y pesados. **Ver figura 8.**



REF. Imagen obtenida <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

### Freno de pinza oscilante

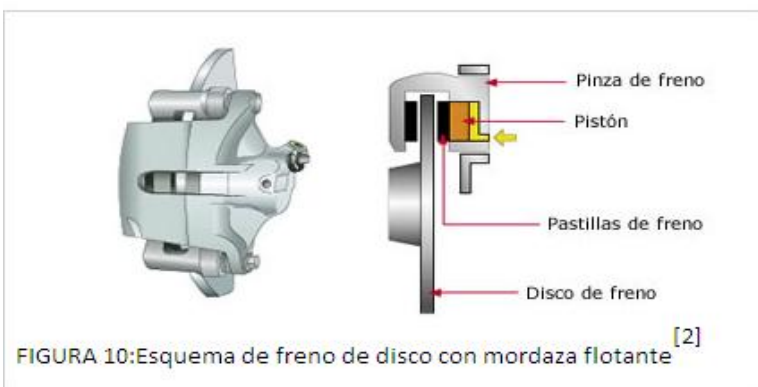
En este tipo de freno la mordaza o pinza (1) se halla sujeta con un perno (2) que sirve de eje de giro. Al aplicar presión al líquido para accionar el pistón (3) se ejerce una presión igual y opuesta sobre el extremo cerrado del cilindro. Esto obliga a la mordaza a desplazarse en dirección opuesta a la del movimiento del pistón, ya que describe un pequeño giro alrededor del perno, con lo cual la mordaza empuja a la otra pastilla (4) contra el disco (5) quedando aprisionada entre las pastillas (4) y (6). **Ver figura 9.**



REF. Imagen obtenida <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

### Freno de pinza flotante

También llamado de reacción, el freno de disco de pinza flotante sólo utiliza un pistón, que cuando se acciona aprieta la pastilla de freno correspondiente contra el disco de freno. La fuerza con la que el pistón aprieta la pastilla contra el disco



genera una fuerza opuesta o de reacción. Esa fuerza opuesta desplaza la pinza de freno y aplica la otra pastilla contra el disco. Si en el eje trasero se monta un sistema pinza flotante, éste se puede utilizar también como freno de estacionamiento (freno de mano) por activación mecánica. **Ver fig. 10**

REF. Imagen obtenida <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

Dentro de los frenos de pinza móvil podemos encontrar:

## Bastidor flotante

Pinza flotante Bastidor flotante: está formado por un bastidor flotante (2) que se monta sobre un soporte (1) unido al porta mangueta. El bastidor flotante se fija sobre el soporte (1) mediante chavetas (6) y muelles (3), de manera que pueda deslizarse lateralmente en la acción de frenado. En el bastidor flotante (2) está labrado el único cilindro, contra cuyo pistón (8) se acopla la pastilla (5), mientras que la otra se aloja en el lado opuesto del disco. **Ver figura 12**

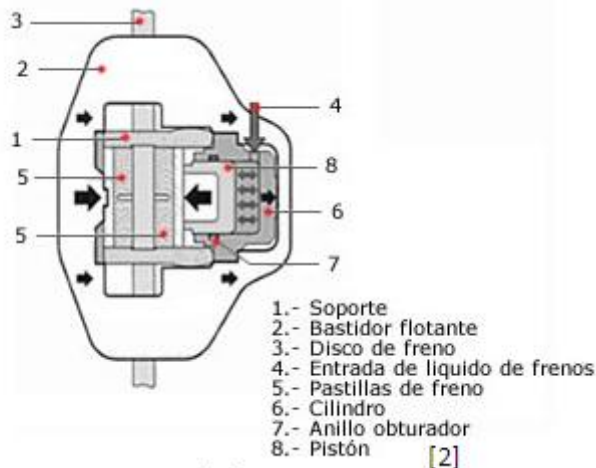


FIGURA 12: Esquema de funcionamiento

REF. Imagen obtenida <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

## Pinza flotante

Este es el sistema de frenado de disco más utilizado actualmente, debido a las ventajas que presenta con respecto al sistema de freno anterior. Estas ventajas se traducen en una menor fricción de la pinza en su deslizamiento, que supone un accionamiento más silencioso y equilibrado, que además atenúa el desgaste de las pastillas y lo reparte más uniformemente. Este sistema está constituido por la pinza de frenos (1), la cual está acoplada al porta pinza (2) en las guías (3) fijadas por unos tornillos y protegidas de la suciedad por los guardapolvos (5). El porta pinza, a su vez, va fijado al porta mangueta por medio de otros tornillos.

Regulación mediante perno y manguito roscado Este sistema, además del retén o anillo obturador (6) de hermetismo, lleva por el interior del pistón (7), que es hueco un perno (1) roscado al manguito (2) que se

apoya a través de un rodamiento de bolas (3) sobre la chapa (5) solidaria al pistón. Entre el manguito (2) y el pistón va situado el muelle (4) con sus espiras dispuestas en sentido de avance del manguito.

Al desplazarse el pistón (7) por efecto de la presión del líquido de frenado, realiza una carrera igual al juego existente entre la pastilla y el disco. Como consecuencia de ello el retén se deforma proporcionalmente al desplazamiento del émbolo. Cuando cesa el esfuerzo, el retén recupera la posición de reposo produciendo, como en el caso anterior, el retroceso del pistón.

### **5.3. MARCO HISTÓRICO**

Inicialmente los frenos de disco fueron introducidos en los vehículos deportivos que demandaban una mayor capacidad de frenada. Algunos estaban colocados dentro del vehículo, junto al diferencial, pero la inmensa mayoría de los actuales se colocan dentro de las ruedas. Los posicionados dentro del vehículo permiten disminuir la masa suspendida y el calor transmitido a las ruedas, importante en la alta competición.

En la actualidad los frenos de disco han sido introducidos prácticamente en la totalidad de los vehículos, si bien se siguen utilizando los frenos de tambor en el eje trasero en las gamas bajas, como forma de reducir costos y simplificar el funcionamiento del freno de mano. Dado que la mayoría del esfuerzo de frenada se produce en el eje delantero, esta solución ofrece un compromiso razonable entre costo y seguridad.



## 6. DESARROLLO DEL PROYECTO

### Cálculos:

#### Subaru impresa WRX 2.5L turbo 2002

### Cálculos:

#### Subaru impresa WRX 2.5L turbo 2002

$$m = \frac{p}{g} = \frac{1460}{9.81} = 148.82 \text{ kg}$$

$$T = E_c$$

$$v = 30 \text{ km/h} \times \frac{1 \text{ m/s}}{3.6 \text{ km/h}} = 8.33 \text{ m/s}$$

$$T = \frac{1}{2} m \cdot V^2 = \frac{1}{2} \times 148.82 \text{ kg} \times (8.33 \text{ m/s})^2 = 10326.45 \text{ kg f} \cdot \text{m}$$

$$T = \text{TRABAJO}$$

$$E_c = \text{Energía cinética}$$

$$E_c = 10.326.45 \text{ kgf} \cdot \text{m} = \frac{1 \text{ kgf} \cdot \text{m}}{9.80665 \text{ Nm}} = 1053.004 \text{ Nm}$$

### FUERZA DE FRENADO

$$F_{f1} = p_1 \cdot \mu = F_{i1}$$

$$p_1 = 741.5 \text{ kg}$$

$$F_{f1} = 741.5 \text{ kg} \cdot 0.8 = \mathbf{593.2 \text{ kg} = F_{i1}}$$

$$p_2 = 719.5 \text{ kg}$$

$$F_{f2} = p_2 \cdot \mu = F_{i2}$$

$$F_{f2} = 719.5 \times 0.8 = \mathbf{575.6 \text{ kgf} = F_{i2}}$$

## Reparto de fuerza de frenado

$$F_f = F_{f1} + F_{f2} = \mathbf{1168.8 \text{ kg}}$$

$F_f$  = Fuerza de frenado

$P_1$  = CARGA EJE 1

$P_2$  = CARGA EJE 2

$\mu$  = Coeficiente de adherencia de las ruedas = 0,8

$F_i$  = Fuerza de impulsión

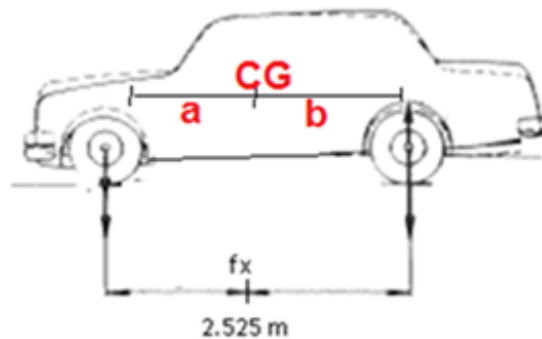
## Reparto de fuerza de frenado

$$C = F \cdot h \cdot P \cdot \mu \cdot h$$

$$c = pt \cdot a + pt \cdot b = pt (a + b) = pt \cdot l$$

$$P \cdot \mu \cdot h = pt \cdot l$$

$$pt = \mu \cdot \frac{h}{L} = F_f \cdot \frac{h}{L}$$



[3]

FIGURA 13: Reparto fuerza de frenado

REF. Imagen obtenida "tecnología automoción" <https://sites.google.com/site/itiautomotriz/tecnologia-de-la-automocion>

$$p = 1.460 \text{ kg} \times 9.81 \text{ m/s}^2$$

$$p = 14.332 \text{ N}$$

$$P1 = 741.5\text{kg}$$

$$p2 = 719.5 \text{ kg}$$

$$p1 = 7266.7 \text{ N}$$

$$P = 7051.1 \text{ N}$$

$$L = a + b$$

$$\sum MA = 0 = -[14332 \text{ N} \times (-b)] + (7590.97 \text{ N} \times 2.525 \text{ m})$$

$$= 35830 + 14332 b + 19167.19$$

$$b = \frac{35830 \text{ N} - 19167.19}{14332} = 1.16 \text{ m}$$

$$b = 1.16 \text{ m}$$

$$C = p_t \cdot a + p_t \cdot b$$

$$p_t = 0.2 p$$

$$p_t = 292 \text{ N}$$

$$c = 292 \text{ N} \cdot 1.3 \text{ m} + 292 \text{ N} \cdot 1.16 \text{ m}$$

$$c = 397.6 + 440.3$$

$$c = 819$$

$$p_t = F_f \cdot \frac{h}{1}$$

$$\frac{p_t \cdot 1}{F_f} = h$$

$$F_f = 1168 \text{ kgf} \times \frac{9.80 \text{ N}}{1 \text{ kgf}}$$

$$F_f = 11446.4 \text{ N}$$

$$h = \frac{292 \text{ N} \times 2.525 \text{ m}}{11446.4} = \frac{737.3 \text{ N}}{11446.4 \text{ N}}$$

$$h = 0.064 \text{ m} = 64 \text{ mm}$$

Pt = Carga transferida

h = altura del cg

a = distancia eje delantero con centro de gravedad

b = distancia eje trasero con centro de gravedad

cg = centro de gravedad

C = maximo para de frenado

L = distancia entre ejes

Carga dinámica:

EJE DELANTERO = P1din

$$P1din = P1 + Pt = P1din = 7266.7N + 292 = 7558.7N$$

$$P1din = p1 + \frac{h}{L} \cdot Ff$$

$$P1din = 7266.7N + \frac{0.064m}{2.525m} * 11446.4N = 7556.8N$$

EJE TRASEERO= P2din

$$P2din = P2 + Pt$$

$$P2din = 7051.1N + 292 = 7343.1N$$

$$P2din = p2 + \frac{h}{L} \cdot Ff$$

$$P2din = 7051.1N + \frac{0.064m}{2.525m} * 11446.4N = 7441.22N$$

### FUERZA DE FRENADO EN CADA EJE

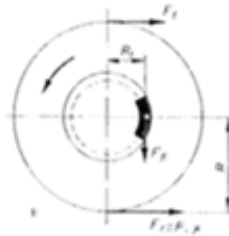


FIGURA 14: Fuerza de frenado en cada eje [3]

REF. Imagen obtenida "tecnología automoción" <https://sites.google.com/site/itiautomotriz/tecnologia-de-la-automocion>

$$F_{fd} = \text{Fuerza de frenado eje delantero} = P_{1din} \cdot \mu =$$

$$F_{fd} = 7556.8N \cdot 0.8 = 6045.44N$$

$$F_{ft} = \text{Fuerza de frenado eje trasero} = P_{2din} \cdot \mu =$$

$$F_{ft} = 7441.22N \cdot \mu = 5952.9N$$

FUERZAS DE APLICACIÓN A LOS FRENOS =

$$\varnothing \text{ DEL DISCO} = 228\text{MM} = 0.228\text{M}$$

$$C_f = \text{Par de frenado} = F_f \cdot R = F_r \cdot R_1$$

$F_r$  = Fuerza de rozamiento sobre los elementos de frenado

$R_1$  = Radio de aplicación ferodos sobre la supercie del disco = 0.114

$$R = \text{Radio de la rueda} = 0.21624\text{m}$$

$$F_r = P \cdot \mu \cdot \frac{R}{R_1} = 14322.6\text{N} \cdot 0.8 \cdot \frac{0.21625\text{m}}{0.114\text{m}} = 21710\text{N}$$

$$C_f = F_r \cdot R_1 = 21710\text{N} \cdot 0.114\text{m} = 2474.94\text{Nm}$$

### SUPERFICIE DE FRENADO

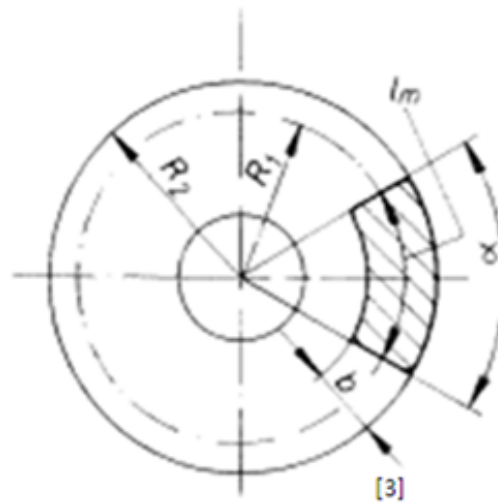


FIGURA 15: Superficie de frenado

REF. Imagen obtenida "tecnología automoción" <https://sites.google.com/site/itiiautomotriz/tecnologia-de-la-automocion>

### S= SUPERFICIE DE FRENADO

$$LM = 11\text{CM}$$

$$B = 4.6\text{CM}$$

$$R_1 = R_{\text{DISCO}} - \frac{D_{\text{PASTILLA}}}{2} = 0.114\text{M} - \frac{0.046}{2}\text{M} = 0.091\text{M}$$

$$S = 2 \cdot LM \cdot B = 2 \cdot 11\text{CM} \cdot 4.6\text{CM} = 102.3\text{CM}^2 = 1.023\text{CM}^2$$

**FUERZA DE ROZAMIENTO**

$$F_R = \frac{R}{S} \cdot F_F$$

$$F_R = 11446.4\text{N} \cdot \frac{0.432\text{m}}{1.023\text{m}} = 11446.4 \cdot 0.422 = 4830\text{N}$$

**FUERZA DE CONTACTO**

$$F_{FA} = \frac{F_R}{\mu_f}$$

$\mu_f = \pm 0.3$  a  $0.6$  Coeficiente de rozamiento ferodos

$$F_{fa} = \frac{4830\text{N}}{0.45}$$

$$F_{fa} = 10733\text{N}$$

**PRESIÓN DE CONTACTO**

$$P_c = \frac{F_{FA}}{S}$$

$$P_c = \frac{10733\text{N}}{1.023\text{m}} = 10491.6\text{NM}^2$$

$$F_s = F_{FA}$$

FUERZA DE CONTACTO= FUERZA DE APLICADA

**FUERZA DE MANDO EN LOS FRENOS**

$$F_{FA} = P_H \cdot S = P_H \cdot \frac{\pi \cdot D^2}{4}$$

$P_H$  = PRESION DE LA BOMBA

$S$  = SUPERFICIE DEL EMBOLO

$$D = \text{DIAMETRO DEL EMBOLO} = 0.029\text{M}$$

$$P_H = 285\text{PSI} = \frac{6894.75 \text{ N/M}^2}{1\text{PSI}} = 1965003 \text{ N/M}^2$$

$$F_{FA} = 1965003 \text{ N/M}^2 \cdot \frac{\pi \cdot (0.029\text{M})^2}{4} = 1965003 \text{ N/M}^2 \cdot 6.6 \times 10^{-4} \text{M}^2 = 1297.92\text{N}$$

$$F_{FA} = 1297.92\text{N}$$

#### FUERZA RESULTANTE EN LOS FRENOS

$$F_R = F_{FA} \cdot MF$$

$$F_R = 1297.92\text{N} \cdot 0.45 = 584.06\text{N}$$

ENERGÍA CINÉTICA = TRABAJO A REALIZAR PARA ABSORBER LA ENERGÍA DE ESE FRENADO

$$T = F_F \cdot E(\text{DISTANCIA})$$

$$T = 11446.4\text{N} \cdot 100\text{m}$$

$$T = 1.114.640\text{Nm}$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

$$T = \frac{1}{2} \cdot 0.1488\text{kg} \cdot (27.77 \text{ m/s})^2 = 57.38 \text{ Joules}$$

$$E = \frac{M \cdot v^2}{2 \cdot F_F} = \frac{1460\text{KG} \cdot (27.77\text{M/s})^2}{2 \cdot 11446.4\text{N}} = \frac{1125912}{22892.8} = 49.181\text{J}$$



**EFICIENCIA DE FRENADO**

$$E = \frac{F_f}{P} \cdot 100 = \frac{11446.4N}{148.82n} \cdot 100 = 77\%$$

**DISTANCIA DE FRENADO**

$$E = \frac{v^2}{E * PLLANTAS}$$

$$E = \frac{(50 \text{ KM/H})^2}{0.7 * 220000P_A} = \frac{2500}{154000} = 1.623M$$

$$E = \frac{(100 \text{ KM/H})^2}{0.7 * 220000P_A} = \frac{10000}{154000} = 6.493M$$

$$E = \frac{(150 \text{ KM/H})^2}{0.7 * 220000P_A} = \frac{22500}{154000} = 14.693M$$

$$E = \frac{(200 \text{ KM/H})^2}{0.7 * 220000P_A} = \frac{40000}{154000} = 25.974M$$

$$E = \frac{(250 \text{ KM/H})^2}{0.7 * 220000P_A} = \frac{62500}{154000} = 40.584M$$

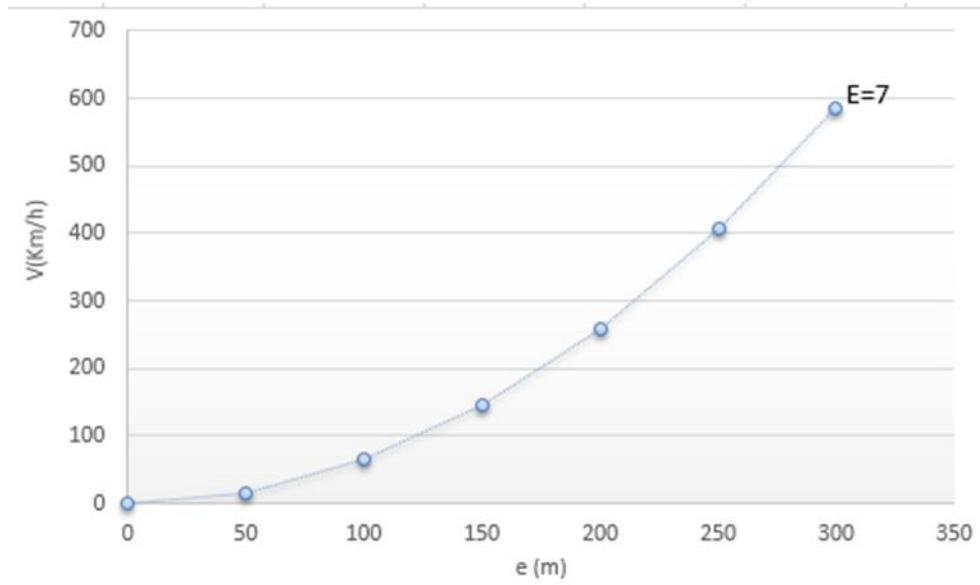
$$E = \frac{(300 \text{ KM/H})^2}{0.7 * 220000P_A} = \frac{90000}{154000} = 58.441M$$

$\xi$  = DISTANCIA DE PARADA EN M

V = VELOCIDAD EN KM/H

E = EFICACIA DE LOS FRENOS

km/h	distancia
50	1,623 m
100	6,493 m
150	14,693 m
200	25,974 m
250	40,584 m



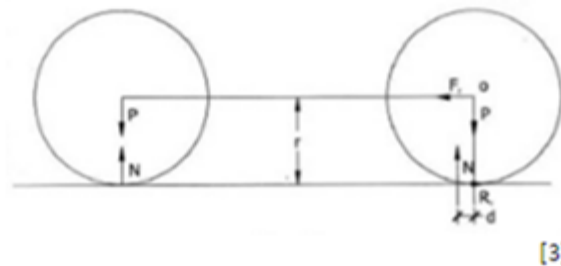
[3]

GRAFICA 1. Distancia de frenado

## RESISTENCIAS QUE SE OPONEN A LA FUERZA DEL VEHICULO

### RESISTENCIA DE LA RODADURA

$$R_R = P \cdot \frac{D}{R} = 148.82\text{N} \cdot \frac{0.10\text{M}}{0.216\text{M}} = 69.058\text{KG}$$



[3]

FIGURA 16: Resistencias a la fuerza del frenado

REF. Imagen obtenida ingeniería de vehículos de Manuel Casajosa.

P = CARGA

$$R = \text{RADIO} = 17 \text{ IN} \cdot 25.4 \text{ MM} = \frac{432.48}{2} = 216.24 \text{ MM} = 0.216 \text{ M}$$

**RESISTENCIA POR INERCIA**

$$R_j = \frac{P \cdot J}{G}$$

$$J = \frac{v_2 - v_1}{T} = \frac{140 \text{ KM/H} - 100 \text{ KM/H}}{2.0 \text{ s}} = \frac{40 \text{ K/H}}{2} = \frac{11.11 \text{ M/s}}{2.0 \text{ s}} = 5.5 \text{ M/s}^2$$

$$R_j = \frac{148.82 \text{ N} \cdot 5.5 \text{ M/s}^2}{10 \text{ M/s}^2} = 81.85 \text{ KG}$$

v1 = VELOCIDAD INICIAL

v2 = VELOCIDAD FINAL

T = TIEMPO INVERTIDO PARA PASAR DE v1 A v2

**RESISTENCIA AL AIRE**

$$R_A = K \cdot s \cdot v^2 = \Delta \cdot \frac{C}{2G} \cdot s \cdot v^2$$

$$\Delta = \text{PESO ESPECIFICO DEL AIRE} = 1.293 \text{ KG/M}^3$$

$$C = \text{CONSTANTE DE DISEÑO} = 0.25$$

s = SUPERFICIE MAESTRA = COEFICIENTE 0.8 · ANCHO · ALTURA

$$s = 0.8 \cdot 17.8 \text{ M} \cdot 14.4 \text{ M} = 205.05 \text{ M}^2$$

$$v = 80 \text{ KM/H} = 22.22 \text{ M/s}$$

$$R_A = 1.293 \text{ KG/M}^3 \cdot \frac{0.25}{2(9.8 \text{ M/s}^2)} \cdot 205.05 \text{ M}^2 \cdot 22.22 \text{ M/s}$$

$$R_A = 75 \text{ KG}$$

$$R_T = 69.058 + 75 + 81.5 = 225.558 \text{KG}$$

$$F = R_T = 225.558 \text{KG} \cdot (\tau) = 225.558 \text{KG} \cdot 14 \text{KG}/\tau = 3157.8$$

$$\tau = \text{COEFICIENTE DE ROTURA (ASFALTO)}$$

## 7. DISEÑO METODOLÓGICO

A partir de la información recolectada del vehículo, haremos uso de las fórmulas de cálculo de sistemas de frenado, para así poder determinar qué factores influyeron en la decisión de usar este sistema de frenos según el fabricante. Después de tener esta información podemos empezar a hacer el diseño de sistema de frenos para nuestro Subaru WRX modificado

## 8. FUENTES PARA LA OBTENCIÓN DE INFORMACIÓN

### 8.1. FUENTES PRIMARIAS

La fuente principal fue el manual de reparación del subaru wrx.

### 8.2. FUENTES SECUNDARIAS

La fuente secundaria fue la información proporcionada por el técnico mecánico que realizó la modificación del motor del carro.

## 9. RECURSOS

- Recursos humanos:

Sophia Acosta, Andrés Páez y Luis Salamanca. El proyecto será desarrollado por los integrantes mencionados con anterioridad.

- Recursos físicos:

Subaru WRX

## 10. CONCLUSIONES

A partir de los resultados obtenidos podemos determinar lo siguiente:

- El vehículo está frenando en un 70%, debido a que conserva el mismo peso y la misma fuerza de frenado que tenía antes de ser modificado.
- En la gráfica de distancias de frenado podemos determinar que a mayor velocidad más distancia de frenado tiene el vehículo.
- El problema en el sistema de frenos del carro es que a pesar de responder relativamente bien, se recalienta debido a que el motor tiene más potencia y por este motivo es más difícil detener el auto. Después de varias frenadas consecutivas el sistema se encuentra a altas temperaturas por lo cual no responde correctamente.
- Para mejorar la eficiencia de frenado se deben poner discos una pulgada más grande perforada y ventilada para permitir que el calor presente en los discos pueda ser evacuado y permitir que en el menor tiempo posible el sistema retome una temperatura adecuada para responder eficientemente. También es recomendable unas pastillas de marca ferodo o bremsbo ya que estas tienen materiales mejores como fibra de vidrio.
- Se puede independizar la bomba de freno por eje poniéndolas graduables para poder mejorar el dominio en las curvas. Es decir utilizar una bomba de freno para el eje delantero y otra para el eje trasero. De este modo se puede graduar más presión en el eje de la parte de adelante.

- Mediante esta investigación comprobamos que a pesar de tener un porcentaje de 77% de eficiencia de frenado, no responde de la manera adecuada al vehículo con una potencia de 443 hp.
- A mayor velocidad en la que se encuentre el vehículo, las distancias de frenado aumentan.

## **11. REFERENCIAS (BIBLIOGRAFÍA)**

[1] [http://www.wrxinfo.com/service\\_manuals/](http://www.wrxinfo.com/service_manuals/)

[2] <http://www.aficionadosalamecanica.net/frenos-3.htm>

[3] Ingeniería de vehículos Manuel Casajosa