

UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO		
Nº DE RADICACIÓN: _____		
INFORMACIÓN EJECUTORES		
<b>Ejecutor 1</b>		
Nombre (s):	JOHN SEBASTIAN	
Apellido (s):	GARZÓN QUIMBAY	
Código:	20111275013	
E-mail:	<a href="mailto:johngarzon_ing@hotmail.com">johngarzon_ing@hotmail.com</a>	
Teléfono fijo:	(57 +1) 4905087	
Celular:	(57) 3102705194	
<b>Ejecutor 2</b>		
Nombre (s):	DANIEL CAMILO	
Apellido (s):	GUATAQUI AVENDAÑO	
Código:	20111275015	
E-mail:	<a href="mailto:ingmdanielcga@hotmail.com">ingmdanielcga@hotmail.com</a>	
Teléfono fijo:	(57 +1) 6927270	
Celular:	(57 ) 3173023391	
INFORMACIÓN DEL PROYECTO		
Título del Proyecto:	<b>ELABORACIÓN DE BANCO DIDÁCTICO PARA ANÁLISIS DE POTENCIA EN UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CONVERTIDO A GAS NATURAL VEHICULAR</b>	
Duración (estimada):	18 meses	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	
	Prestación y Servicios Tecnológicos	X
	Otro	
Modalidad del Trabajo de Grado:		
Línea de Investigación de la Facultad*:		
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:		
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:		
INFORMACIÓN PASANTÍA		
Nombre de la empresa:		
Dirección:		
Teléfonos:		
Correo electrónico:		
Página Web:		
INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA		
Director: (Vo. Bo.)		
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)		
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	MIRNA JIRON	

## Contenido

1. Planteamiento del problema .....	5
1.1 Contexto Nacional.....	5
1.2 Contexto local .....	6
1.3 Diagnostico.....	7
1.4 Problema del proyecto .....	7
2. Estado del Arte .....	8
2.1 Construcción de un banco de pruebas para la comprobación de motores de combustión interna.....	8
2.2 Diseño de un sistema de adquisición de datos para un motor de combustión interna de cuatro tiempos de Renault Twingo .....	10
2.3 Diseño de una sala de pruebas para motores alternativos de combustión interna .....	10
2.4 Banco de pruebas para un motor diesel .....	11
2.5 Influencia de la tecnología de conversión sobre el comportamiento de motores de gasolina convertidos a gas natural .....	12
3. Justificación .....	15
4. Objetivos .....	15
4.1 Objetivo general.....	15
4.2 Objetivos específicos .....	15
5. Marco Teórico.....	16
5.1 Fase o ciclo real del motor de 4t .....	16
5.1.1 Primera fase real (admisión).....	16
5.1.2 Segunda fase real (compresión) .....	16
5.1.3 Tercera fase real (explosión) .....	16
5.2 Relación de compresión .....	17
5.3 Potencia del motor.....	17
5.3.1 Potencia indicada .....	18

5.3.2	Par motor o Potencia efectiva .....	18
5.3.3	Potencia absorbida .....	19
5.4	Análisis de los productos de la combustión .....	19
5.4.1	Valor del aire de combustión, exceso de aire .....	20
5.4.2	Poder calorífico; rendimiento de combustión; pérdida de gases de combustión .....	20
5.4.3	Valor de calderas de condensación .....	20
5.4.4	Rendimiento de combustión .....	20
6.	Metodología .....	21
6.1	Fase de documentación .....	21
6.2	Fase de Diseño .....	21
6.2.1	Diseño teórico (equipo a GNV) .....	21
6.2.2	Diseño teórico (freno de potencia) .....	22
6.3	Fase de Diseño detallado .....	22
6.3.1	Diseño detallado (equipo GNV) .....	22
6.3.2	Diseño detallado (freno de potencia) .....	22
6.4	Fase de fabricación .....	22
6.4.1	Conversión motor a GNV .....	22
6.4.2	Fabricación y adaptación de dispositivo de freno .....	22
6.5	Pruebas iniciales de funcionamiento .....	22
6.6	Implementación de laboratorios para el uso del banco .....	23
7.	Cronograma .....	23
8.	Presupuesto y fuentes de financiación .....	24
9.	Bibliografía .....	26

## ÍNDICE DE FIGURAS

Fig. 1 Banco de Pruebas Diesel.....	9
Fig. 2 Esquema generador de corriente.....	9
Fig. 3 Comparación de potencia combustible liquido Vs combustible gaseoso .....	13
Fig. 4 Eficiencia ideal de un motor respecto a la relación de compresión .....	14
Fig. 5 Diagrama teórico del motor (explosión 4t).....	16
Fig. 6 Freno de Prony .....	19

## INDICE DE TABLAS

Tabla 1 Composición de aire limpio y seco .....	20
Tabla 2 Presupuesto General .....	24
Tabla 3 Recurso Humano .....	24
Tabla 4 Materiales .....	25

## **Resumen**

La idea del proyecto es realizar un banco de pruebas para el análisis de potencia en los motores de combustión interna convertidos a Gas Natural Vehicular (GNV) donde se ha dicho que estos pierden fuerza por el combustible, debido a diferentes factores que serán analizados de una manera analítica y matemática.

Para esto se realizara la conversión de un M.C.I con un equipo de tercera generación a dicho motor, donde este quedara trabajando “bi-combustible”; lo que dará pie para poder realizar las pruebas en ambos sistemas de combustión.

Se adaptara un sistema de “potencia al freno” usando el dispositivo *llamado freno de prony* donde a través de una palanca que soporta unas pesas patrón y que actuara la masa directamente sobre un sistema de balatas, llevando a una velocidad menor cada vez que se coloque mayor peso en la palanca de actuación.

Por último se indicaran las pruebas que se pueden realizar con el banco de pruebas, se darán algunas pautas y los diferentes cálculos que se obtener realizando curvas características sobre el torque ejercido en el motor así como en el freno; donde será necesario realizar estadísticas para así apreciar el comportamiento del motor.

Debido a la adquisición de un analizador de gases por parte de la universidad se pueden hacer lecturas de nivel de gases emitidos a la salida del motor, lo cual indicara de qué manera el GNV realizara su proceso de combustión dejando a criterio de cada estudiante y del profesor el análisis previo a su uso.

## **1. Planteamiento del problema**

### **1.1 Contexto Nacional**

Colombia es un país que se caracteriza por tener gran biodiversidad natural, también se destaca a nivel mundial por sus con abundantes reservas de hidrocarburos, entre ellos el gas natural, que permiten estructurar un programa masivo de uso para la industria automotriz, donde actualmente según las estimaciones que se tienen de este hay 4,5 teras de reservas probadas de gas convencional, las cuales alcanzan hasta el 2017 mientras que en gas metano debe tener 7,5 teras en reserva.<sup>1</sup>

---

<sup>1</sup> COLOMBIA. ASOCIACION S COLOMBIANA DE INGENIEROS. Colombia podría subir sus reservas de gas. [base de datos portafolio]. [publicado 15 marzo 2011]. Disponible en <http://www.aciem.org/home/index.php/prensa/aciem-en-los-medios/244-colombia-podria-subir-sus-reservas-de-gas>.

Con estudios realizados por diferentes entes de investigación, cabe la posibilidad de hallar nuevas reservas en zonas de alta montaña, que no se han tenido en cuenta y donde se podría aumentar en 5 a 6 veces las reservas que se han identificado actualmente.<sup>2</sup> Lo cual es un punto a favor para usar el gas metano como segunda alternativa o elemento para hacer la combustión en un motor a gasolina, destacando el factor económico ya que el proceso de obtención es menos complejo que los diferentes tipos de gasolina que para su elaboración requieren de procesos de refinación e incrementan el costo final de venta.

Destacándose primero por el factor económico ya que el proceso de obtención es menos complejo que los diferentes tipos de gasolina que para su elaboración requieren de procesos de refinación e incrementan el costo final de venta, segundo porque es un combustible más limpio y se compara directamente con la gasolina que emite dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>), uno de las causantes del denominado efecto invernadero, por ende al utilizar gas metano se está contribuyendo para el cuidado del medio ambiente a nivel mundial.

Naturgas realizó un informe en el año 2011 mediante el que se demuestra que el metro cúbico de GNV pasó de \$1.326 en diciembre de 2010 a \$1.311 en diciembre de 2011. La gasolina aumentó \$7.999 en diciembre de 2010 a \$8.544 en diciembre de 2011. Eduardo Pizano de Narváez, Presidente de Naturgas, explicó que mientras el GNV disminuyó en un 4,1% en el 2011, la gasolina aumentó en un 6,8%, lo que favorecería a 229 mil vehículos que utilizan este producto secundario<sup>3</sup>, así como un número gran parte de la industria que necesita de elementos de combustión para operar la maquinaria en proceso de manufactura.

### ***1.2 Contexto local***

La investigación será desarrollada en las instalaciones de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Facultad Tecnológica ubicada en la capital de Colombia, donde el proyecto curricular de Ingeniería Mecánica cuenta con un laboratorio de motores, en el que se hacen investigaciones para conocer el desempeño y características principalmente de motores de combustión interna bien sea gasolina, gas o diesel, los diferentes bancos de pruebas que hacen parte del taller tienen programadas prácticas, con el fin de que cada estudiante de tecnología e ingeniería Mecánica desarrollen pruebas de rendimiento, potencia, emisión de gases entre otras, para crear bases suficientes y poder tener un criterio fuerte a la hora de abordar

---

<sup>2</sup> PIZANO, Eduardo. Presidente Asociación Colombiana de Gas Natural (Naturgas).

<sup>3</sup> RCN NOTICIAS MEDELLIN. En 88% crece el número de vehículos con GNV. [publicado 23 agosto de 2011]. <http://www.rcnradio.com/noticias/en-88-crece-el-numero-de-vehiculos-con-gnv-que-ingresan-al-pais-104006>

temas relacionados con la funcionalidad y eficiencia de procesos, y así crear mejoras que optimicen los dispositivos y mecanismos para luego ser utilizados en la industria nacional.

### ***1.3 Diagnostico***

El laboratorio de motores de la Universidad Distrital Francisco José de Caldas, se compone de un banco de motor a gasolina y gas propano que mide temperaturas en diferentes puntos del motor trabajando con los dos sistemas aunque usando como alternativa a gas propano, actualmente hay en curso un banco de pruebas para un motor diesel, hay un banco de motor a gasolina que solo esta adecuado para funcionamiento con un solo combustible y se ve la necesidad de modificarlo para que trabaje con gasolina y gas metano, entre otros dispositivos y maquetas que orientan los cursamos dirigidos por el proyecto currículos de ingeniería mecánica.

Después de que los bancos de pruebas son entregados al laboratorio, los equipos en ocasiones no son tenidos en cuenta para usarlos como ayuda didáctica en las distintas materias electivas, se ve la necesidad de crear una cartilla de puesta a punto y mantenimiento preventivo para el banco, con el fin de que el mismo sea útil y el estudiante en sus prácticas libres pueda operar la maquina sin ninguna dificultad.

Los docentes en ocasiones se ven limitados por no tener con facilidad maquinas didácticas para poder impartir sus clases, ya que la teoría en ocasiones es tediosa y por medio de la práctica un tema se puede abordar con mas incentivo facilitando la enseñanza respecto a los motores de combustión interna.

### ***1.4 Problema del proyecto***

Para este caso de conversión de un motor a gasolina y gas, se va incorporarlo a un banco de pruebas, en cual es interesante y surge la necesidad de cuantificar la pérdida de potencia dependiendo del combustible a quemar por medio de un dispositivo, esto ayudaría a entender a los estudiantes de ingeniería los diferentes aspectos termodinámicos que influyen sobre el funcionamiento y operación del motor como el poder calorífico, y algunos problemas en la eficiencia y mecanismos fundamentales, desgastes prematuros de piezas mecánicas entre otros criterios. Se observaría los puntos críticos ya que el rendimiento de los vehículos que trabajan con este sistema no es la misma, disminuyen los vehículos no fueron diseñados para este sistema de energía.

El análisis de consumo para utilizar gas en motores de combustión, tiene importancia ya que al ser menos denso que el aire minimiza la probabilidad de explosión por fugas, generando pérdidas, las cuales los estudiantes pueden analizar por perdidas de

potencia, el gas es una opción de combustible alternativo, en los países latinoamericanos su uso a incrementado en los últimos años puesto que la autonomía de los vehículos respecto a su recorrido aumenta en condiciones normales.

Por este motivo debe ser tenido en cuenta el estudio de este combustible de partículas más limpias, para poder desde la universidad generar proyectos de investigación en rediseño de mecanismos del motor para obtener un mejor funcionamiento idóneo en condiciones de operación bruscas que requieran del máximo potencial del motor, y así con esto contribuir a un mejor aprovechamiento del gas prolongado su vida útil y con la posibilidad de disminuir los costos de mantenimiento y el consumo del mismo.

## **2. Estado del Arte**

Se ha encaminado el estado de arte al desarrollo de diferentes bancos de pruebas para motores, tanto comerciales como de orden didáctico, y por otra parte trabajos sobre conversión de motores de gasolina a gas; esto con el fin de descomponer los temas principales que se denotaran en el proyecto a desarrollar.

### **2.1 Construcción de un banco de pruebas para la comprobación de motores de combustión interna**

Este equipo permitirá realizar pruebas a diferentes motores de combustión interna, ya sean estos a gasolina, de dos o cuatro tiempos, motores diesel, motores a inyección electrónica y cualquier tipo de motores cuya potencia fluctúe entre 0 y 5HP.

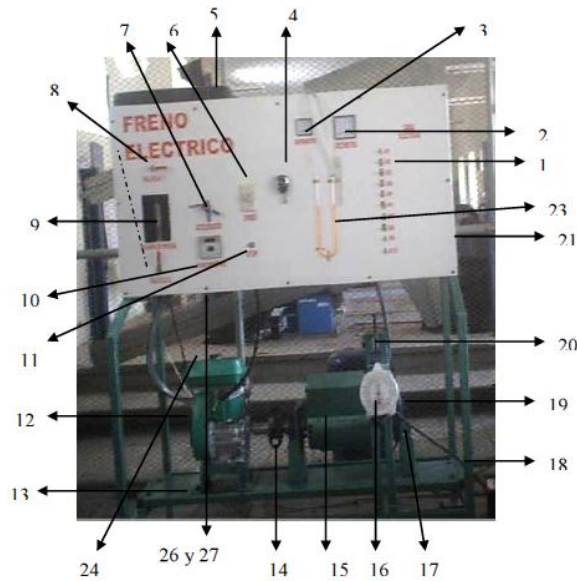
Se podrá realizar los ajustes en los sistemas de encendido, alimentación escape, con lo que determinaremos las curvas características de los motores en prueba.

Está construido de tal manera que permita el acople de cualquier motor de combustión interna con las características descritas anteriormente, y que vaya a analizado. En la figura 1 se puede apreciar el equipo, el mismo que tiene una construcción robusta, sirve para realizar pruebas continuas y sencillas, con un bastante económico por prueba, está construido con los elementos que detallamos a continuación, los mismos que permitirán realizar el acople de un MCI.

El Conjunto Dinamómetro consta de un generador eléctrico que cumple funciones de freno, y de un dispositivo para medir el par motor, que es el dinamómetro el generador eléctrico (15) es de corriente alterna, se alimenta con 110 voltios, su eje va montado sobre rodamientos ubicados en chumaceras (17) en ambos extremos. La carcasa también va montada sobre rodamientos permitiéndole girar sobre la línea central del eje, y trae un brazo (16) de 39.5 centímetros de radio anclado a una balanza (19) de resorte con la carátula graduada para lecturas de 0 a 100 Kg.

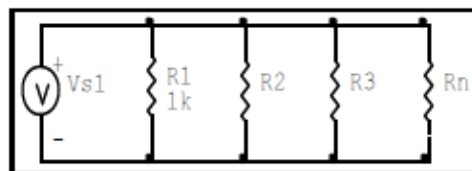
La balanza trae un tornillo (20) para poder nivelar el brazo. Antes de tomar cada lectura, se debe nivelar el extremo del brazo de carga, así se asegura que la línea de acción del balanceo es perpendicular al brazo del par motor.





**Fig. 1 Banco de Pruebas Diesel**

En este caso el generador de corriente alterna (5) será utilizado para que absorba la energía del motor de combustión interna, mediante la conexión de de un cuerpo de resistencias eléctricas variables conectadas en paralelo en su circuito como se muestra en la figura 2



**Fig. 2 Esquema generador de corriente**

El generador eléctrico es acoplado en un extremo al M.C.I. (12) a través de un acople semi flexible (14) construido por cuatro correas, las mismas que están sujetas por dos rodela grandes a cada extremo, sirven de unión entre los dos ejes (motor y generador) pero no de una manera rígida, evitando roturas por desaliniamiento y vibración.

Las conexiones eléctricas del generador se hacen por medio de cable flexible y por la parte posterior para evitar posibles problemas en el momento de las pruebas. Todos los instrumentos están situados en un tablero (A) con acabado en barniz que actúa como sellante protegiéndolo del combustible, los paneles están fijos en un armazón construido con tubos de sección cuadrada (18) y ubicados encima del motor y el dinamómetro. Todas las conexiones entre el motor y los instrumentos son flexibles de tal forma que la vibración de estos se reduce al mínimo, recubiertos por una manguera plástica, a excepción de las conexiones de las resistencias que por producir calor

necesitan la máxima ventilación. Es necesario una batería para producir la auto excitación del generador.

El tanque de combustible (5) está situado en el extremo superior izquierdo del equipo, contiene una probeta (9) para determinar el consumo de combustible y válvulas de control de combustible (8) (llaves de paso). Se dispone de una termocupla (22) y de un pirómetro (10), usados para medir la temperatura de los gases de escape del motor y asegurar que éstas temperaturas sean leídas con una exactitud razonable, en el panel también se encuentra un pequeño cuadrante de control manual de aceleración (7), conectado a la mariposa del carburador; un control manual de variación de mezcla aire-combustible ubicado en el MCI, un interruptor (11) de inicio y de parada.

### ***2.2 Diseño de un sistema de adquisición de datos para un motor de combustión interna de cuatro tiempos de Renault Twingo***

Con base en un banco de pruebas de un motor de combustión interna full inyección de cuatro tiempos de motor twingo se realizara el diseño de un sistema de adquisición de datos, que servirá para observar el comportamiento de las señales que emiten los sensores que este motor posee; y la posibilidad de instalar sensores adicionales para tener un monitoreo casi total del comportamiento de este.

Para poder obtener la descripción del funcionamiento del motor de combustión interna de cuatro tiempos de Renault Twingo, se propone obtener el diseño, a construcción de un sistema de adquisición de datos con el fin de tener unas lecturas de las variables que normalmente no se obtendrían con los indicadores básicos de un automóvil y dejar abierta la posibilidad de diseñarle un control para observar el comportamiento de este bajo diferentes condiciones y hacerle variaciones para optimizar su funcionamiento.

El proceso del sistema de adquisición de datos empezó con la búsqueda de una tarjeta de adquisición de datos , que sirve como interface o mejor es la que ayuda a interpretar las señales análogas que nos brinda el motor y enviarlas al computador para que este por medio de un programa Lab View las leyerá.

### ***2.3 Diseño de una sala de pruebas para motores alternativos de combustión interna***

Se detalla la composición de una sala de ensayos para motores endotérmicos. Ésta consta de al menos dos zonas bien diferenciadas: una donde se realizan las pruebas necesarias en el motor, y otra desde donde, de manera controlada, se definen las condiciones de trabajo del motor. En la primera, y durante la ejecución de las pruebas, se desaconseja la presencia de cualquier persona por los riesgos que esto conllevaría, mientras que en la segunda es aconsejable la presencia de un responsable para poder solucionar eventuales problemas que puedan surgir o, simplemente, para verificar el comportamiento del motor y controlar las condiciones a las que se quiere testear.

Una vez realizadas las pruebas y memorizadas diferentes magnitudes mediante un sistema de adquisición de datos (las básicas son el régimen de giro del motor y el par o resistencia de frenado) es posible la graficación de los resultados, permitiendo esto un estudio detallado del motor y/o de sus componentes.

Se realiza dentro de una nave ya construida, pero será necesario habilitar el espacio para la ubicación de la sala de pruebas y la sala de control con las medidas necesarias para que, durante la realización de las pruebas, el resto de la nave no se vea afectada por los ruidos, vibraciones, olores o variaciones de temperatura generadas por el motor o los componentes del sistema. También será necesaria la habilitación del espacio destinado a los sistemas hidráulicos propios de la sala (como son el sistema de refrigeración del freno y del motor), al sistema de renovación de aire de la sala de ensayos, al sistema de alimentación de combustible al motor, la alimentación eléctrica de las bombas y electro-válvulas necesarias y la alimentación eléctrica de los sistemas de iluminación, control del sistema y adquisición de datos.

También a lo largo del presente documento se van a analizar los diferentes tipos de frenos y los modelos existentes en el mercado, con la finalidad de seleccionar el más apropiado para la sala de ensayos en estudio, así como los controladores de freno y de aceleración de las diferentes empresas dedicadas a este campo del sector de la automoción. Se utilizará un depósito para el almacenamiento del combustible, que ha de estar homologado para tal fin y que permita ser instalado en exteriores, con el fin de evitar riesgos en la nave general.

#### ***2.4 Banco de pruebas para un motor diesel***

Se encontró el diseño de un banco de pruebas en el cual se monto un motor de combustión a diesel. Donde en este se diseño un soporte de peso para el motor y un sistema de freno de prony<sup>4</sup>, el cual se incrusto en la salida de la trasmisión.

Donde freno de prony fue actuado a través de una palanca que soportara unas pesas patrón y que actuara la masa directamente sobre un sistema de balatas, llevando a una velocidad menor cada vez que se coloque mayor peso en la palanca de actuación.

Con las pruebas desarrolladas se logro obtener curvas características sobre el torque ejercido en el motor así como en el freno. Donde llevando una estadística se podrá apreciar la curva del comportamiento del motor. Se podrá hacer también pruebas de gasto de combustible a través de un a pipeta graduada cada vez que se haga pruebas. Una de las características principales de la obtención de datos, es para saber la eficiencia media que es obtenida solamente con las pruebas.

---

<sup>4</sup> El freno de Proxy es un freno dinamométrico, utilizado para medir la fuerza de los motores.

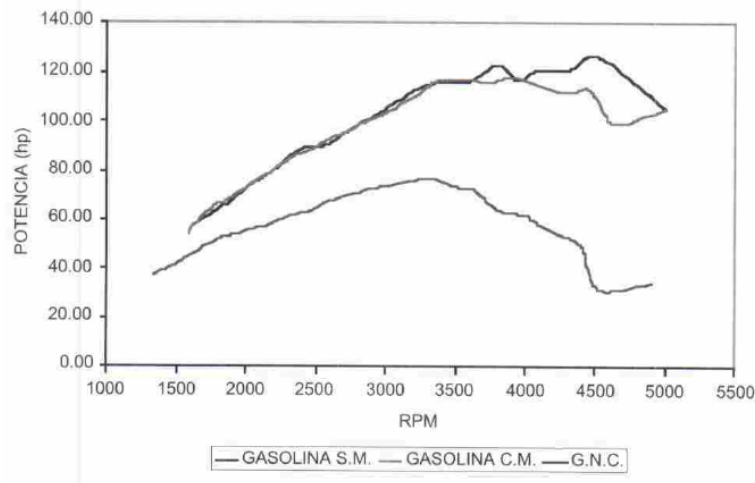
El objetivo principal de este proyecto fue conocer la cantidad de fuerza que se necesita para poder frenar un motor, utilizando un brazo de palanca y colocándole peso a un extremo para ir deteniendo la velocidad de un motor, y donde posteriormente se calcula por diferentes formulas fuerza (F), masa (m) y longitud de la palanca (l).

### ***2.5 Influencia de la tecnología de conversión sobre el comportamiento de motores de gasolina convertidos a gas natural***

En este artículo se puede observar el comportamiento mecánico y ambiental de un motor de gran capacidad de consumo, con características muy similares al de nuestra investigación, además de eso es un motor que trabaja con dos combustibles gasolina y gas natural comprimido con un sistema que hace que el motor acepte los diferentes tipos de combustible. Las pruebas se realizaron en el laboratorio de motores térmicos de la Universidad de Antioquia (Medellín, 1500 m.s.n.m). En este proyecto se hace la caracterización para escoger un buen kit para la conversión del motor, puesto que se justifica que la tecnología y mecanismos de cada conversión son diferentes, y una mala selección puede causar una mayor pérdida que las establecidas teóricamente, entonces en el proceso de selección debe estar considerado siempre para garantizar las mejores prestaciones.

Respecto a las emisiones contaminantes, se hace un análisis en el cual describen una posible disminución drástica al bajar las emisiones de monóxido de carbono (CO) entre un 60-90%, aunque se advierte el aumento de óxido de nitrógeno (NO), esto cuando el motor opera en condiciones normales con gas natural, en los diferentes ensayos se pretende determinar el tamaño del regulador ya que este es un componente de influencia para el desempeño y prestaciones del motor, debido a la operación del motor y a que la mezcla es poco rica.

Para las diferentes pruebas de potencia se tomaron tres posibles casos, estos son motor a gasolina sin sistema de conversión, motor de gasolina con sistema de conversión por último motor a gas con sistema de conversión. Esos resultados se muestran en una gráfica en la cual se evidencia claramente las pérdidas por potencia según el tipo de combustible, con ayuda de software llegan a la conclusión de que el máximo valor de pérdida de potencia por cambio de combustible es de 20%, siempre y cuando se halla hecho una buena selección de componentes, para trabajar bajo parámetros establecidos figura 3.



**Fig. 3 Comparación de potencia combustible liquido Vs combustible gaseoso**

### ***2.6 Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado (MEP) convertidos a gas natural***

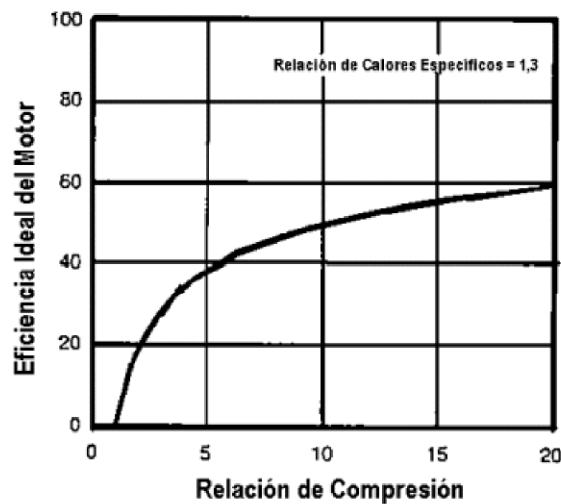
Para obtener mayor potencia un motor debe quemar mayor combustible, por tanto debe bombearse más aire dentro de los cilindros, la cantidad de aire disponible en el motor depende de la resistencia al flujo a través del sistema de admisión del sistema de escape. La capacidad de un motor para bombear aire es llamada eficiencia volumétrica la cual está determinada por la forma de conductos de admisión y escape, la carrera y duración de la válvula así como la forma y dimensiones de la recámara de combustión.

También componentes como el filtro de aire sucio o en buen estado hacen que se cree una resistencia en la eficiencia volumétrica afectando esto a cualquier motor de combustión interna, los combustibles líquidos se atomizan generalmente ocupando una cantidad de espacio muy pequeña en el sistema de admisión del motor con lo que se concluye que estos combustibles no afectan la eficiencia volumétrica. En cambio los combustibles gaseosos como en este caso pueden requerir de un 15% del volumen total del conducto de combustión limitado así el acceso de cantidad de aire que ingresa por tanto se justifica la pérdida de potencia final se reduce en un 9,5% por solamente el cambio de combustible liquido a gaseoso.

Otra pérdida de eficiencia volumétrica que causa pérdida de potencia, como ya se había dicho anteriormente en otro proyecto está asociada con los accesorios de conversión al combustible alternativo, la mayoría de estas conversiones a gas natural sufren una pérdida de potencia entre un 10 – 20% debido a la obstrucción del flujo de

aire en conclusión se asume una pérdida total del 30% sumando la densidad del combustible gaseoso.

En la figura 4 se muestra la eficiencia ideal de un motor en función de la relación de compresión. Motores típicos a gasolina con relaciones de compresión de 8:1 a 9:5:1. El gas natural tiene un grado de octano relativamente alto que permitirá relaciones de compresión en los motores hasta de 15:1, se noto el cambio de relación dependiendo el tipo de combustible, el combustible gaseoso incrementa la relación de compresión se compensara parcialmente la perdida en la eficiencia volumétrica y reflejada en la potencia final en este caso entregada a las llantas de un automóvil, consecuentemente y debido a esa relación se incrementa las emisiones de (NO) oxido de nitrógeno.



**Fig. 4 Eficiencia ideal de un motor respecto a la relación de compresión**

En este estudio se evidencia que un motor de encendido provocado y convertido a gas natural demanda mas consumo de combustible a medida que incrementa la altitud para alcanzar la misma potencia útil, debido a que mayor altitud menor densidad de oxígeno por metro cubico aspirando por el motor lo cual se traduce en que el motor debe aspirar mas aire y por efecto venturi arrastra mas combustible ocasionado mezclas muy ricas.

Una alternativa para no tener tantas pérdidas de potencia es modificar el boquerel o válvula de paso del gas natural de alta presión así se lograría dar paso al combustible mas optimo necesario para una mezcla más próxima a la estequiometrica. Otra opción es modificar el grado de avance de la chispa, y es necesario recordar que a mayor numero de octano, también sucede que la velocidad de quemado es menor es decir necesita más tiempo para quemarse la mezcla aire - gas natural

Otra variable que no se analizó fue la humedad relativa, dando origen a un nuevo proyecto de investigación sobre el efecto en el consumo de combustible y podría dar referencias y pautas en la puesta a punto en vehículos convertidos para diferentes ciudades colombianas.

### **3. Justificación**

Es importante para los estudiantes desarrollar un concepto más práctico de lo que son los motores de combustión interna para así complementar lo aprendido en materias como (Trasferencia de Calor y Termodinámica entre otras), además se intenta de una manera más fácil que los docentes puedan explicar los conceptos con algún medio didáctico a la mano el cual permitirá a los estudiantes interactuar solo con las partes de un motor e identificar su funcionamiento en dos sistemas de combustión utilizados actualmente en el mundo.

Actualmente el laboratorio de motores de la Universidad Francisco José de Caldas no cuenta algún banco de pruebas para análisis de potencia y la realización de este daría pie a ejecutar trabajos similares para así ampliar los conocimientos relacionados a los motores de combustión interna y su respectivo análisis.

Viendo que el GNV se ha incrustado en el mercado colombiano de una manera rápida y satisfactoria es importante identificar los factores que tiene a favor y los que tiene en contra; y uno de los aspectos que más afecta y se cuestiona en la actualidad es la pérdida sustancial de potencia, por lo que es importante que los futuros ingenieros de esta universidad solventen sus conocimientos en el campo automotriz con respecto a preguntas de orden cotidiano y tengan un criterio de análisis y respuesta a la altura de lo aprendido.

### **4. Objetivos**

#### **4.1 Objetivo general**

Elaborar un banco de pruebas didáctico para el análisis de potencia en un motor de combustión interna, convertido a Gas Natural Vehicular, para el laboratorio de motores de la Facultad Tecnológica Universidad Distrital Francisco José de Caldas.

#### **4.2 Objetivos específicos**

- Efectuar un análisis previo del funcionamiento del motor.
- Efectuar las pruebas de pre-conversión (compresión motor y funcionamiento)
- Realizar la conversión a gas del motor de combustión interna (instalar equipo).

- Fabricar y acoplar el dispositivo de frenado al motor.
- Realizar las pruebas de funcionamiento del motor con gas y gasolina.
- Elaborar las prácticas de laboratorio (análisis de potencia y de gases) para la asignatura de motores de combustión.

## 5. Marco Teórico

### 5.1 Fase o ciclo real del motor de 4t

Para conseguir un mayor rendimiento de los motores, se retrasan o adelantan las aperturas de válvulas. Incluso el salto de chispa o inyección se adelanta fig 1.

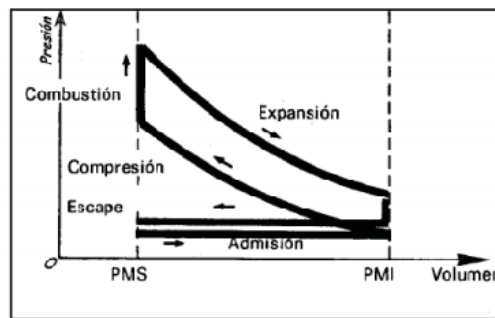


Fig. 5 Diagrama teórico del motor (explosión 4t)

#### 5.1.1 Primera fase real (admisión)

En la fase de admisión es necesario realizar un avance de apertura de admisión, de tal manera que se pueda conseguir el llenado de admisión. Se realiza abriendo la válvula de admisión antes de que el pistón llegue al punto muerto superior, y además se retrasa el cierre de ésta, para aprovechar la inercia de los gases a través de los conductos.

#### 5.1.2 Segunda fase real (compresión)

El comienzo de la segunda fase se lleva a cabo desde que se cierra la válvula de admisión, hasta que el pistón llega al punto muerto superior.

#### 5.1.3 Tercera fase real (explosión)

Para la fase de explosión se adelanta el salto de chispa o inyección, porque la combustión tarda un tiempo en realizarse y es necesario que la expansión se produzca en el momento ideal de bajada del pistón.



### **5.2 Relación de compresión**

Es la relación entre el volumen del cilindro y el de la cámara de combustión, que el volumen de la cámara de combustión es el volumen que se encuentra en el cilindro cuando el pistón asciende hasta el p.m.s., esta relación viene dada por la siguiente ecuación, donde  $\rho$  es la relación de compresión,  $V$  es la cilindrada y  $v$  es el volumen de la cámara de combustión:

$$\rho = \frac{V + v}{v}$$

Cuanta mayor sea la relación de compresión, se incrementa la potencia y el rendimiento mejora. Esto es debido a que al aumentar la presión en la cámara de combustión el combustible se mezcla mejor con el aire, y al aumentar la presión la expansión de los gases, aportan un impulso mayor al Pistón. Al expandirse más bruscamente hay más energía que se transforma en energía mecánica y menos se tiene que disipar, esto indica que se mejora el rendimiento porque hay menos energía que se transforma en calor.

La relación de compresión ha ido aumentando mediante han ido pasando los años, porque se han ido mejorando los materiales, diseños y procesos de fabricación de los componentes del motor. Un problema del aumento de la relación de compresión, es que la cámara de combustión es más pequeña. Con ello las carbonillas, que se pueden generar por malas combustiones se pueden acumular más, reduciendo la cámara de manera que la relación de compresión aumente de tal manera que se pueda llegar a la rotura de algún órgano del motor.

Los motores diesel tienen una elevada compresión entre 18:1 y 25:1 frente a los 7:1 y 10:1 de los motores de explosión, lo que supone una mayor eficiencia térmica.

### **5.3 Potencia del motor**

El trabajo que se consigue es la fuerza por la distancia recorrida por el pistón, y esta fuerza es el producto de la presión ejercida por los gases de la combustión por la superficie de éste. Siendo  $W$  el trabajo,  $F$  fuerza y  $d$  distancia recorrida la ecuación del trabajo es:

$$W = F * d$$

Y si este trabajo se realiza en un tiempo  $t$  determinado podemos determinar la potencia  $P$  con la siguiente ecuación:

$$P = \frac{W}{t}$$

La potencia es un factor que depende mucho del tipo de motor, porque depende de la cilindrada y de la relación de compresión, y también del número de cilindros, la carrera y el régimen de giro del motor. Hay tres potencias fundamentales en un motor: potencia indicada, potencia efectiva y potencia absorbida.

### **5.3.1 Potencia indicada**

Es la potencia que realmente se desarrolla en el interior del cilindro por la combustión. Esta se puede calcular con la presión media, que es la presión constante con la que es necesaria para impulsar el pistón durante su carrera. Esta presión varía con la velocidad y la relación de compresión del motor.

Entonces la ecuación de trabajo indicado  $W_i$ , siendo  $p_i$  la presión media y  $V$  la cilindrada unitaria, sería:

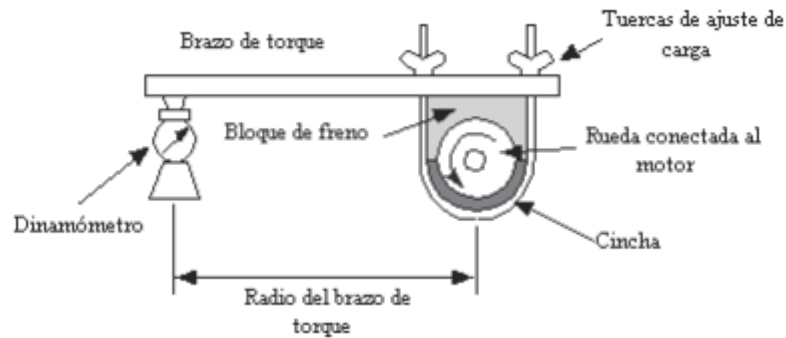
$$W_i = p_i * V$$

La potencia indicada  $P_i$  es el producto del trabajo desarrollado durante una carrera útil, por el número de ellas realizadas en la unidad de tiempo. Si  $n$  es el número de revoluciones motor y que un ciclo en un motor de cuatro tiempos se necesita dos vueltas del cigüeñal, la ecuación de la potencia indicada es:

$$P_i = \frac{W_i}{2} * \frac{n}{60}$$

### **5.3.2 Par motor o Potencia efectiva**

El par motor es un esfuerzo de rotación, por la fuerza que transmite la biela al codo del cigüeñal. El par motor se calcula multiplicando esta fuerza por la longitud del codo. El par máximo del motor no se produce en un régimen de revoluciones motor alto, si no que sucede cuando el llenado y las explosiones son más efectivas. Para el cálculo del par es necesario utilizar un dispositivo que frene el motor, esto se consigue haciendo palanca con una fuerza. Se utiliza un mecanismo llamado freno prony (actualmente se utiliza mecanismos más modernos), que a través de una cincha frena el eje del motor hasta pararlo y se toma la medida del dinamómetro. En la figura Se puede observar un freno prony.



**Fig. 6 Freno de Prony**

La ecuación de trabajo absorbido por el freno prony, siendo  $R$  el radio del brazo de torque y  $F$  la fuerza del dinamómetro, sería:

$$W = 2 * \pi * R * F * n$$

Este es el trabajo efectivo del motor con todas sus pérdidas. La potencia efectiva es el producto del trabajo absorbido por  $n$  que es el número de revoluciones del motor en la unidad de tiempo.

La ecuación de la potencia efectiva es la siguiente:

$$Pe = \frac{2 * \pi * R * F * n}{75 * 60}$$

### **5.3.3 Potencia absorbida**

La potencia absorbida es difícil de medir, por eso se mide la potencia indicada y la potencia efectiva y la diferencia de ambas es la potencia absorbida. Normalmente el 75% del total de la potencia absorbida es por el rozamiento de los segmentos con las paredes del cilindro.

### **5.4 Análisis de los productos de la combustión**

Mediante el aparato de Orsat se puede efectuar el análisis de determinados productos de la combustión, este proceso consiste en obtener una muestra de los productos de la combustión y determinar el porcentaje en volumen de cada gas componente. APARATO DE ORSAT Es un analizador de gases usado para determinar la composición de una muestra de gases. Durante un análisis una muestra es pasada a través de líquidos absorbentes que remueven componentes específicos. El volumen del gas es medido antes y después de la absorción. La disminución del volumen del gas representa la cantidad del componente que estuvo presente. Los volúmenes del gas son medidos a temperatura y a presión constantes.

#### **5.4.1 Valor del aire de combustión, exceso de aire**

El oxígeno necesario para un proceso de combustión se suministra como parte del aire de combustión que consta de (ver tabla 3) nitrógeno (N<sub>2</sub>), oxígeno (O<sub>2</sub>), una pequeña cantidad de dióxido de carbono y otros gases minoritarios (H<sub>2</sub>, Ne, Ar, He), junto con un contenido variable de vapor de agua. En algunos procesos se utiliza oxígeno puro o una mezcla de aire/oxígeno para la combustión.

Los componentes del aire de combustión, excepto el oxígeno, los contiene el gas de combustión crudo resultante.

**Tabla 1 Composición de aire limpio y seco**

Componente	Contenido [%]
Nitrógeno	78,07
Oxígeno	20,95
Dióxido de carbono	0,03
Hidrógeno	0,01
Argón	0,93
Neón	0,0018

#### **5.4.2 Poder calorífico; rendimiento de combustión; pérdida de gases de combustión**

Poder calorífico neto y superior el poder calorífico superiores un parámetro característico de un combustible que describe la cantidad de energía liberada de un combustible durante la combustión completa en relación con la cantidad de combustible involucrado. El poder calorífico neto es la energía liberada menos el calor de evaporación del vapor de agua a una temperatura de 25 oc generada durante la combustión, otra vez relacionado con la cantidad de combustible involucrado. El poder calorífico superior es superior al valor neto.

#### **5.4.3 Valor de calderas de condensación**

Las calderas de condensación son calderas que utilizan el calor de condensación de los gases de combustión junto al calor de combustión mediante el intercambio de calor, con referencia al poder calorífico neto estas calderas pueden alcanzar un rendimiento del 107%. No obstante se forman condensados; este proceso puede transmitir contaminantes de los gases al agua que puede necesitar escapes especiales.

#### **5.4.4 Rendimiento de combustión**

El rendimiento de combustión es un valor determinado por la entrada y salida de datos de un proceso de combustión en condiciones de funcionamiento constantes. El rendimiento total (siempre inferior al 100%) es la relación entre la energía total suministrada en la cámara de combustión y la cantidad de energía disponible para el

proceso actual (calefacción, fundir, de sinterización etc.). El valor de rendimiento total está compuesto de:

- El término rendimiento de combustión describe la parte de la energía total (alimentar la cámara de combustión) que está disponible en la cámara de combustión después de la combustión.
- El término rendimiento de horno depende del diseño del horno y el funcionamiento y describe la parte de la energía de combustión que finalmente puede aplicarse a los procesos de interés. El rendimiento total es la combinación de rendimiento de combustión y rendimiento de horno.

## **6. Metodología**

### **6.1 Fase de documentación**

En ella se hará hincapié en conocer el funcionamiento de los motores de combustión interna, saber cómo operan, de qué manera se le puede incorporar el equipo de gas vehicular (basándose en normas propuestas por ICONTEC), las condiciones a las que debe estar el motor (si las hay) para la posible conversión.

Es importante conocer los componentes de un sistema de gas vehicular (el tipo de equipo que se va a montar, los dispositivos electrónicos que tiene este, y la manera de conversión basándose en información entregada por GAS NATURAL<sup>5</sup>).

Por parte del dispositivo debe documentarse acerca de los tipos de freno de potencia que existen, los que están en el mercado y los utilizados en bancos de pruebas; cómo se diseñan y de qué manera se pueden acoplar a un motor. Además de identificar los diferentes cálculos que se tienen que realizar para su respectivo diseño.

Por último identificar los diferentes bancos de pruebas tanto didácticos, como en el mercado; para así tener una base de como fundamentar la construcción en este diseño y qué criterios se pueden tomar para simplificar algunas decisiones ya tenidas en cuenta por otros.

### **6.2 Fase de Diseño**

#### **6.2.1 Diseño teórico (equipo a GNV)**

Teniendo en cuenta el análisis ya realizado para la resolución del proyecto; implementaremos un diseño teórico de la posible adaptación del equipo de GNV al motor, teniendo en cuenta; lugares para la instalación de componentes, herramienta necesaria para realizarlo y hacer un pequeño chequeo del funcionamiento del motor en gasolina (toma de compresión, encendido de este).

---

<sup>5</sup> Empresa encargada de realizar conversión de automóviles a GNV

### **6.2.2 Diseño teórico (freno de potencia)**

Se estudiarán diversas alternativas del acople del sistema de potencia, donde se pondrá como principal criterio de selección (diseño más factible, economía, y el que mejor se identifique con el espacio que se obtiene por la disposición del motor).

## **6.3 Fase de Diseño detallado**

### **6.3.1 Diseño detallado (equipo GNV)**

Por parte del sistema de gas vehicular, ya viene predeterminado el tipo de equipo que será instalado en el motor; obtenido por las características del motor.

Se instalará un cilindro de media capacidad (65 m<sup>3</sup>) debido a que este solo será utilizado para fines educativos sabiendo que este no demanda un consumo en exceso de gas.

### **6.3.2 Diseño detallado (freno de potencia)**

En este punto se calculará la distancia necesaria que debe tener el dispositivo de frenado, (teniendo en cuenta el tipo a utilizar), se realizará la selección del material y la adaptación de la mordaza que sujetará la salida de potencia del motor.

En este punto también se planificará la adaptación de un posible piñón o un eje para permitir que la salida de potencia sea en la parte exterior del motor para facilitar así la instalación del dispositivo de freno.

## **6.4 Fase de fabricación**

### **6.4.1 Conversión motor a GNV**

Basándose en la información obtenida en la documentación, se llevará a cabo la respectiva conversión del motor a GNV, donde se dejará funcionando con los dos sistemas de combustible "bi-combustible", se realizará la calibración manual del equipo y se acondicionará el banco de pruebas para su utilización.

### **6.4.2 Fabricación y adaptación de dispositivo de freno**

Con el motor ya convertido a GNV se realizará la fabricación del dispositivo de frenado, además de realizarle el acople al motor para (poder tener la potencia generada en su exterior), luego de esto se podrán acondicionar los detalles finales para su perfecto uso y se iniciará con la prenda del motor.

## **6.5 Pruebas iniciales de funcionamiento**

Se harán pruebas de encendido y de análisis de gases para así determinar la mejor puesta a punto en gas; se mirará cómo funciona el dispositivo y cómo funciona el acople para así empezar con el respectivo análisis en gas y gasolina.

### 6.6 Implementación de laboratorios para el uso del banco

Se formularan las posibles prácticas que podrán realizar los estudiantes; en este caso serian de análisis de potencia y análisis de gases con el dispositivo obtenido por la universidad. (Analizador de gases).

### 7. Cronograma

Fase	Descripción Actividad	Duración (semanas)																	
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16	17	18
Alistamiento	Inspección de Motor	■																	
	Mantenimiento Mecanismos del motor	■	■																
	Cambio componentes dañados			■															
	Pruebas iniciales de funcionamiento			■	■														
	Alistamiento banco de pruebas				■	■													
	Organización tablero de operación						■												
	Alistamiento Pre conversión						■												
Conversión	Compra equipo conversión gas						■	■											
	Conversión motor a GNV							■											
	Acondicionamiento Control del GNV				■				■										
	Pruebas de conversión									■									
	Alistamiento zona para medición de potencia										■								
	Diseño detallado (freno de potencia)										■	■							
	Instalación Freno Prony												■						
	Revisión de todo el montaje													■					
Pruebas	Pruebas de encendido y cambio de combustible													■					
	Pintura general y acondicionamiento														■	■			
	Medición de potencia (Practicas)															■			
	Medición salida de gases (Practicas)																■		
	Informe de puesta a punto																	■	
	Creación cartilla Mantenimiento preventivo																	■	■
	Implementación de laboratorios para el uso del banco																		■
	Entrega al Taller de motores de banco de prueba																		

## 8. Presupuesto y fuentes de financiación

**Tabla 2** Presupuesto General

Presupuesto General Proyecto			
Duración estimada en meses		5	
Semanas		18	
Descripción		Costo asociado	Fuentes de financiación
<b>Recurso Humano Asociado</b>		\$ 12.418.704	
2	<b>Autores del proyecto</b>	\$ 12.418.704	Personal
0	<b>Director o tutor (interno)</b>	\$ -	Institucional
0	<b>Director o tutor (externo)</b>	\$ -	
0	<b>Profesor (responsable interno)</b>	\$ -	
0	<b>Apoyo técnico</b>	\$ -	
0	<b>Apoyo administrativo</b>	\$ -	
0	<b>Asesor</b>	\$ -	
<b>Software o equipo de apoyo</b>		\$ 2.000.000	
<b>Gastos Generales</b>		\$ 3.713.900	
<b>Diseño Prototipo</b>		\$ 4.030.000	
<b>Condiciones específicas</b>		\$ -	Empresarial
<b>Subtotal</b>		\$ 22.162.604	
0%	<b>Imprevistos</b>	\$ -	
<b>Total presupuestado</b>		\$ 22.162.604	

**Tabla 3** Recurso Humano

Descripción	Cantidad de personas	Dedicación semanal	Valor Hora	Costo personal
	Número	Horas	Pesos	Pesos
<b>Autores del proyecto</b>	2	12	\$ 19.000	\$ 8.208.000
<b>Director o tutor (interno)</b>		4	\$ 70.000	\$ 5.040.000
<b>Director o tutor (externo)</b>				\$ 0
<b>Profesor (responsable interno)</b>				\$ 0
<b>Apoyo técnico</b>				\$ 0
<b>Apoyo administrativo</b>				\$ 0
<b>Asesor</b>				\$ 0
				\$ 13.248.000
<b>Carga Prestacional</b>			51,30%	\$ 6.796.224
				\$ 20.044.224



**Tabla 4 Materiales**

Prototipo	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Material 1	Motor		1	\$ 3.500.000	\$ 3.500.000
Material 2	Equipo de GNV		1	\$ 300.000	\$ 300.000
Material 3	Dinamómetro potencia		1	\$ 100.000	\$ 100.000
Material 4	otros			\$ 50.000	\$ 50.000
Material 5	Acondicionamiento Banco		1	\$ 80.000	\$ 80.000
Material 6				\$ -	\$ -
Material 7				\$ -	\$ -
Material 8				\$ -	\$ -
<b>General Prototipo</b>					<b>\$ 4.030.000</b>
Generales	Detalle	Unidad de medida	Cantidad	Valor unitario	Total
Fotocopias		Hoja	150	\$ 50	\$ 7.500
Libros		Libro	2	\$ 50.000	\$ 100.000
Planos		Plano	20	\$ 10.000	\$ 200.000
Horas de taller		Horas	100	\$ 12.000	\$ 1.200.000
Horas de laboratorio		Horas	80	\$ 25.000	\$ 2.000.000
Impresión de planos		Plano	20	\$ 3.500	\$ 70.000
Impresión documentos		Hojas	4	\$ 8.000	\$ 32.000
Suministros de oficina				\$ -	\$ -
Transportes		Pasaje	72	\$ 1.450	\$ 104.400
<b>Gastos Generales asociados al proyecto</b>					<b>\$ 3.713.900</b>
Software	Detalle	Costo referencia	% Uso	Costo Uso	Total
Licencia 1	Inventor	\$ 4.000.000	10%	\$ 400.000	\$ 2.000.000
Licencia 2			1%	\$ -	\$ -
Licencia 3			1%	\$ -	\$ -
Licencia 4			1%	\$ -	\$ -
Licencia 5			1%	\$ -	\$ -
Digitación 1			100%	\$ -	\$ -
Digitación 2			100%	\$ -	\$ -
Computador			100%	\$ -	\$ -
Suministros de computador			100%	\$ -	\$ -
Internet			100%	\$ -	\$ -
<b>Costos de licencias, conexión y computador</b>					<b>\$ 2.000.000</b>

## 9. Bibliografía

- ROMERO, Néstor Aníbal; LARREA, Diego Martin. Construcción de un banco de pruebas para la comprobación de motores de combustión interna. Latacunga (Ecuador), 2005, 93 p. Trabajo de grado (Ingeniero Automotriz). Escuela Politécnica del Ejército.
- AGUDELO, John; MORENO, Ricardo; PEREZ, Juan Fernando, Desempeño dinámico y energético de un autobús operado con Gas Natural Vehicular. Antioquia, 2009, 80 p. Artículo (Grupo de manejo de eficiente de la energía GIMEL). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Departamento energías alternativas.
- CHAVEZ NILA, Francisco Javier; HERNANDEZ TOVAR, Héctor Armando; MANZANO HERNANDEZ, Carlos Armando; PRECIADO SANDOVAL, Hugo Enrique. Banco de pruebas de un motor de combustión diesel. Guadalajara, 2005, 11 p. Trabajo de grado (ingeniero Mecánico Eléctrico). Universidad de Guadalajara. Centro universitario de ciencias exactas e ingenierías. Departamento de Mecánica Eléctrica.
- ESPINOSA, H; LARA, Y. Estudio comparativo del desgaste de un motor de encendido por chispa usando gasolina y gas natural como combustible. Vol. 13, Núm. 1, (enero-marzo, 2009); p. 3-8.
- MONTILLA, Carlos A; ARROYAVE, Juan Felipe; CORREA, Andrés Julián; CARDONA, Juan Pablo. Medición de par en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativo. Vol. 13, Núm. 037, (2007); p. 243-248.
- AGUDELO SANTAMARIA, John R; GUTIERREZ IBARRA, Jaime N; GONZALES ROMERO, Julio Cesar; CORREDOR, Lesmes Antonio. Influencia de la tecnología de conversión sobre el comportamiento de motores de gasolina convertidos a gas natural. En: Ingeniería & desarrollo: Vol. 11, (2002); p. 28-41.
- AGUDELO SANTAMARIA, John R; GUTIERREZ IBARRA, Jaime N; GONZALES ROMERO, Julio Cesar; CORREDOR, Lesmes Antonio. Influencia de la tecnología de conversión sobre el comportamiento de motores de gasolina convertidos a gas natural. En: Ingeniería & desarrollo: Vol. 11, (2002); p. 28-41.
- CASTAÑO, Diego Alberto. Estudio de los factores que inciden en el desempeño de motores de encendido provocado (MEP) convertidos a gas natural. Medellín, 2003, 116p. Trabajo de grado (Especialista en Combustibles Gaseosos). Universidad de Antioquia. Facultad de Ingeniería. Departamento de Mecánica.
- BUENO, David Asencio. Evolución del rendimiento de un motor de combustión interna. En: Aplicación a pistones. [en línea]. [consultado 10 junio de 2012]. Disponible en >[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9682/4/03\\_Mem%C3%B2ria.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/9682/4/03_Mem%C3%B2ria.pdf)>.

- TESTO, Análisis de gases de combustión en la Industria. En: Guía práctica para Medir Emisiones y Procesos. [en línea]. Edición 2 (2007). [consultado 10 junio 2012]. Disponible en >[http://www.testo.com.ar/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia\\_emisiones.pdf](http://www.testo.com.ar/online/embedded/Sites/ARG/SharedDocuments/Downloads/Guia_emisiones.pdf)>.

[1] El documento deberá presentarse con caratula transparente.

[2] Los proyectos de grado de pasantías deberán acompañarse de una carta de la empresa en papel membrete, firmada por el superior inmediato del ingeniero asignado como tutor externo.