

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN  
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE RENAULT TWINGO

NICOLAS MEJIA LOTERO  
SEBASTIAN GARCIA CEBALLOS

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍAS  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA  
AREA DE DISEÑO  
MEDELLÍN  
2008

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA UN  
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE RENAULT TWINGO

NICOLAS MEJIA LOTERO  
SEBASTIAN GARCIA CEBALLOS

Trabajo de grado para optar por el  
título de Ingeniero Mecánico

Asesor  
Prof. Doc. Adalberto Gabriel Díaz  
Ingeniero Electrónico

UNIVERSIDAD EAFIT  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA  
AREA DE DISEÑO  
MEDELLÍN  
2008

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Dedicado especialmente a nuestros padres que fueron una fuente de inspiración y un apoyo incondicional no solo en este proyecto sino a lo largo de esta trayectoria.

## AGRADECIMIENTOS

A la Universidad EAFIT por su gran apoyo incondicional, no solo en lo económico sino en los servicios ofrecidos para poder lograr el éxito de este proyecto. Además por ser la gestora de los conocimientos adquiridos para lograr este título

A nuestro asesor el Doc. Ing. Adalberto Gabriel Díaz, profesor de la universidad EAFIT, por su colaboración incondicional y orientación prestada a lo largo de todo este proyecto.

A Seriauto S.A. por la donación realizada de algunas piezas y elementos faltantes del motor y a su personal por la colaboración prestada y buen servicio.

Al profesor Santiago Paris y demás personas que trabajan en el laboratorio de procesamiento de plásticos, por permitir la fabricación del banco de ensayos en su lugar de trabajo, utilizar sus herramientas y otros implementos de trabajo.

A todo el personal que labora en los laboratorios y talleres de la universidad por su gran colaboración otorgada a lo largo de la materialización de este proyecto.

A nuestras familias por su apoyo incondicional a lo largo de todo este proceso de formación.

A los profesores de la universidad, que de una manera directa o indirecta nos aportaron y entregaron sus conocimientos para que fueran aplicados en este proyecto.

## TABLA DE CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	
1. OBJETIVOS	13
1.1 OBJETIVO GENERAL	13
1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS	13
2. PLANTEAMIENTO Y DEFINICION DEL PROBLEMA	15
3. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA EN EL MEDIO	16
4. JUSTIFICACIÓN	18
5. BENEFICIARIO DIRECTO	19
6. ALCANCES Y LIMITES	20
7. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE	21
7.1 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA - MCI (CICLO OTTO)	21
7.1.1 Motor convencional del tipo Otto.	21
7.1.2 Cámara de combustión, Pistón y Cigüeñal	23
7.1.3 Sistema de bombeo	23
7.1.4 Sistema de alimentación	24
7.1.5 Encendido	24
7.1.6 Refrigeración	24
7.1.7 Sistema de arranque	27
7.1.8 Sistema de lubricación	28
7.2 TÉCNICAS DE INSPECCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICABLES AL MOTOR	34
7.2.1 Análisis de las prestaciones del motor	34
7.2.2 Análisis de la presión en el cilindro	36
7.2.3 Análisis de las oscilaciones del bloque	37
7.2.4 Termografía infrarroja	37
7.2.5 Endoscopia	38
7.2.6 Análisis rápidos de aceites	38

7.2.7 Antipolucion	39
8. METODOLOGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	40
8.1 FASE I: INVESTIGACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	40
8.1.1 Descripción del banco de pruebas.	40
8.1.2 Descripción del motor de combustión interna	41
8.2 FASE II: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS	41
8.2.1 Etapa de diseño	41
8.2.2 Etapa de construcción	41
8.3 FASE III: REPARACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR	41
8.3.1 Consecución de repuestos	41
8.3.2 Reparación del motor	42
8.4 FASE IV: MONTAJE Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA	42
8.4.1 Evaluación del desempeño del motor	42
8.4.2 Evaluación del desempeño del banco de prueba	43
8.4.3 Evaluación del análisis comparativo	43
8.5 FASE V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	43
8.5.1 Identificar inconformidades	43
8.5.2 Identificar las oportunidades de mejora	44
8.6 FASE VI: ELABORACIÓN DEL PROYECTO	44
8.6.1 Elaboración final del proyecto	44
8.6.2 Entrega del proyecto final	44
9. REQUERIMIENTOS PARA APLICAR LA METODOLOGIA PROPUESTA	45
10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES	46
11. FASE CONCEPTUAL	47
11.1 CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO	47
11.2 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO	48
11.3 CLARIFICACION DE LA TAREA	48
11.4 LISTA DE REQUERIMIENTOS PDS	49
11.5 EVALUACION ECONOMICA	54

11.5.1 Presupuesto solicitado a la universidad	55
11.5.2 Repuestos solicitados como patrocinio	57
11.6 DISEÑO CONCEPTUAL	57
11.6.1 Análisis de diseños conocidos	57
11.6.2 Función Principal	59
11.6.3 Flujos complementarios	60
11.6.4 Estructura funcional	61
11.6.5 Selección de los materiales	61
11.6.6 Selección de la alternativa de solución	62
12. CALCULOS Y DIMENSIONAMIENTO	64
12.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA	64
12.2. METODOLOGÍA	64
12.2.1 Modelación Geométrica	64
12.2.2 Interpretación de los valores del factor de seguridad.	744
13. FICHA TECNICA	75
13.1 BANCO DE ENSAYOS DE MOTOR 4 TIEMPOS D7F 700 Y CAJA DE CAMBIOS JB1	75;Error! Marcador no definido.
13.2 CARACTERISTICAS DESTACADAS	75
13.3 DECRIPCION DEL EQUIPO	76
13.4 CARACTERISTICAS TECNICAS MOTOR	77
13.5 CARACTERISTICAS TECNICAS CAJA DE CAMBIOS	79;Error! Marcador no definido.
13.6 INSTRUMENTACIÓN Y SENSORES	80
13.7 ELEMENTOS ADICIONALES	80
13.8 ACCESORIOS OPCIONALES QUE PUEDEN SER INSTALADOS POSTERIORMENTE	81
13.9 INSTALACIONES REQUERIDAS	81
13.10 PESO Y DIMENSIONES	82
14. MANTENIMIENTO	83
14.1. IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR	83
14.2. IDENTIFICACION DE LA CAJA DE CAMBIOS	84
14.3. PARTICULARIDADES DE FUNCIONAMIENTO	85
14.4. FILTRO Y ACEITE DEL MOTOR	86



14.4.1	Medición del nivel y cambio del aceite de motor	86
14.4.2	Filtro de aceite	88
14.5.	SISTEMA DE REFRIGERACION	88
14.5.1	Nivel del líquido refrigerante	88
14.5.2	Qué hacer cuando se recalienta el motor	89
14.6.	ACEITE CAJA MECANICA	89
14.6.1	Nivel de aceite caja mecánica	89
14.7.	BATERIA	90
14.7.1	Nivel agua de la batería	90
14.7.2	Iniciación del motor con otra batería	91
14.8.	FILTRO DE AIRE	92
14.8.1	Cambio del filtro de aire	92
14.9.	FUSIBLES	93
14.10.	RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO	93
14.11.	DIAGNOSTICO DE FALLAS	95
15.	PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO	99
15.1.	PRUEBAS DEL MOTOR	99
15.1.1	Pruebas al sistema hidráulico	100
15.1.2	Pruebas al sistema de refrigeración	100
15.1.3	Pruebas al sistema eléctrico	100
15.1.4	Pruebas al sistema de combustible	101
15.1.5	Pruebas sensitivas	101
15.2.	PRUEBAS AL BANCO DE PRUEBAS	102
15.2.1.	Pruebas al sistema de rodamiento	102
15.2.2.	Pruebas de vibración	103
15.2.3.	Pruebas de los instrumentos de medición	103
16.	RECOMENDACIONES	106
17.	DESARROLLOS A FUTURO	108
17.1.	INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE GAS VEHICULAR NATURAL	108
17.2.	MONTAJE DE UN DINAMÓMETRO	109
17.3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FRENO	110

17.4. IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS	110
17.5. IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA GRAFICAR VARIABLES MEDIDAS	111
18. CONCLUSIONES	112
BIBLIOGRAFIA	114
ANEXOS	118

## LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Causas, consecuencias y acciones de la baja presión de aceite	32
Cuadro 2. Causas, consecuencias y acciones de la alta presión de aceite	33
Cuadro 3. Cronograma de actividades	46
Cuadro 4. Lista de requerimientos PDS	50
Cuadro 5. Presupuesto de materiales solicitado a la universidad.	55
Cuadro 6. Repuestos solicitados como patrocinio	57
Cuadro 7. Comparativo de los bancos de ensayos disponibles en el mercado	58
Cuadro 8. Propiedades del material	66
Cuadro 9. Resultados máximos y mínimos de las tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias	70
Cuadro 10. Características técnicas del motor D7F	77
Cuadro 11. Características y relaciones de la caja JB1	79
Cuadro 12. Contenido de la placa de identificación del motor	83
Cuadro 13. Contenido de la placa de identificación de caja de cambios	84
Cuadro 14. Rutinas de mantenimiento para el motor de Twingo	94
Cuadro 15. Troubleshooting	96
Cuadro 16. Ficha técnica de los resultados obtenidos.	121
Cuadro 17. Resultados de las pruebas y especificaciones del motor utilizado	121
Cuadro 18. Especificaciones dimensionales del perfil utilizado	1244

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
Figura 1. Componentes internos del motor	22
Figura 2. Sistema básico de lubricación.	30
Figura 3. Función principal del sistema	59
Figura 4. Flujos complementarios	60
Figura 5. Estructura Funcional	61
Figura 6. Modelo Preliminar	62
Figura 7. Ensamble general definitivo del banco de pruebas	63
Figura 8. Detalle del chasis para el análisis	65
Figura 9. Condiciones de frontera para el caso estático	67
Figura 10. Detalle del enmallado del chasis	688
Figura 11. Resultados mediante mapas de color de los desplazamientos	7169
Figura 12. Resultado mediante los mapas de color de las deformaciones unitarias	69
Figura 13. Resultado tensiones de Von Mises por colores sobre el chasis	691
Figura 14. Factor de seguridad aplicado en los esfuerzos de Von Mises	733
Figura 15. Placa de identificación del motor	83
Figura 16. Ubicación de la placa de identificación de la caja	84
Figura 17. Placa de identificación de la caja	84
Figura 18. Llenado del motor con aceite	86
Figura 19. Lectura nivel con la varilla	87
Figura 20. Nivel de líquido refrigerante	88
Figura 21. Tapones de la batería	90
Figura 22. Arranque con otra batería	91
Figura 23. Sustitución del elemento filtrante	92
Figura 24. Banco de ensayos para motores Diesel	118
Figura 25. Banco de ensayos con dinamometro	118
Figura 26. Banco de ensayos	11819

Figura 27. Banco de pruebas para motores de gasolina en V	11819
Figura 28. Curvas de torque y potencia de funcionamiento del motor	1200
Figura 29. Estructura con motor	126
Figura 30. Motor Twingo	126
Figura 31. Puesta a punto	127
Figura 32. Banco de pruebas	127

## LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Modelos de Bancos de Pruebas	118
Anexo B. Dinamómetro de chasis Rototest	11820
Anexo C. Especificaciones del material de fabricación	11823
Anexo D. Planos de diseño	11825
Anexo E. Fotografías del banco	126

## GLOSARIO

**BANCO DE PRUEBAS:** estructura donde se instala una maquina, con el fin de realizar ciertas pruebas y ensayos, mediante la medición de diversas variables.

**COSMOS WORKS:** software computacional donde se define una geometría específica se un solidó y se analizan los esfuerzos y deformaciones en función de las cargas aplicadas.

**DINAMOMETRO:** instrumento empleado para medir la potencia del motor o del automóvil.

**GNV:** gas Natural Vehicular. Tipo de combustible instalado en vehículos automotores bajo ciertas características específicas.

**LAB VIEW:** software computacional especializado para instrumentación y control.

**MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA (MCI):** maquina térmica que mediante una serie de componentes y elementos interrelacionados entre si, transforma energía química en energía rotacional.

**POTENCIA:** es el producto de un determinado torque, generado por los elementos internos del motor, por la cantidad de giros o revoluciones producidos para esa mismo torque.

**RPM:** revoluciones por minuto. Es la cantidad de giros o revoluciones que da el cigüeñal o la volante en un determinado tiempo.

**SENSOR:** dispositivo que detecta una determina acción externa o interna relacionada con el funcionamiento de un sistema y la transmite adecuadamente

a un elemento que ejecuta una acción. Ejemplo a estos son la presión, temperatura, voltaje, caudal, entre otras.

**SOLID WORK:** software computacional especializado en modelación de piezas.

**TORQUE:** es una fuerza que produce una torsión o una fuerza aplicada en algún punto de un brazo de un cuerpo, para producir una aceleración angular sobre un eje o pivote.



## RESUMEN

La propuesta del diseño y construcción del banco de pruebas para un motor de Renault Twingo, es un proyecto que nace de la necesidad de algunos profesores de la universidad EAFIT por crear semilleros o grupos de investigación en el área de mecánica automotriz; siendo este el primer paso para que posteriormente sea implementado un nuevo laboratorio de mecánica experimental automotriz en este mismo plantel. Por lo tanto se realiza una propuesta de diseño para este sistema, definiendo los términos y condiciones de la construcción.

Se utiliza un motor D7F B700 de Renault Twingo, el cual estaba inoperante e incompleto. Se realiza la búsqueda y consecución de las piezas y elementos faltantes para su funcionamiento, bajo un esquema de patrocinio con una empresa aseguradora de automóviles. Posteriormente se realiza el respectivo ensamble del motor y las piezas faltantes y se pone en óptimas condiciones.

Después de diseñar el banco de pruebas y definir los parámetros de construcción, éste es materializado con el apoyo económico de la universidad. El banco de ensayos esta conformado por una estructura metálica, cuya función principal es soportar el motor. Tiene un panel de control, donde se pueden observar todas las variables medidas por los instrumentos conectados al motor, tales como la presión del aceite, la temperatura del motor, temperatura del aceite, r.p.m, voltaje, amperaje, las horas totales de funcionamiento; además de esto un switch de encendido y una palanca de aceleración. La unión de todos los elementos mencionados anteriormente, es decir, la instrumentación, el motor y la estructura, es el producto de un trabajo extenso, tanto teórico como practico, dando así como resultado el banco de pruebas.

## INTRODUCCIÓN

Todos los motores de nueva construcción son sometidos a una larga serie de mediciones alternadas con severas pruebas de durabilidad y de carga, que se repiten hasta que tras una precisa puesta a punto, se alcanzan unos resultados previstos. Por lo tanto estas pruebas se hacen necesarias no solo en motores nuevos sino también en motores usados, con el fin de corroborar y verificar que las variables medidas estén dentro del rango y límites de un motor nuevo.

El banco de pruebas es un sistema de ensayos autoportante que se realizara para un M.C.<sup>1</sup> a gasolina de Renault Twingo, full inyección de cuatro tiempos. Este permitirá a los estudiantes de diferentes carreras de la universidad, investigar los parámetros típicos de operación de estas máquinas y realizar algunas de las mediciones más significativas e importantes para el óptimo funcionamiento de éste. Entre estas medidas se encuentran la medición de la temperatura del motor, medición de la presión de aceite, el voltaje de la batería, medición de la corriente, consumos de combustible, entre otros.

Las pruebas secundarias, ajenas a este proyecto, son las que sirven para obtener los valores relativos al par motor, la presión media efectiva, la potencia desarrollada, el consumo específico de combustible, los diferentes rendimientos así como la composición de los gases de escape y la eficiencia del motor.

Este proyecto se centrara en el diseño y construcción del banco de pruebas, la puesta en marcha del motor mediante el ensamble del motor con las piezas faltantes para que luego sea montado en el banco de pruebas y así poner en marcha todo el sistema.

---

<sup>1</sup> M.C.I. Siglas utilizadas para motor de combustión interna.

Como el banco de pruebas para este motor quedara a disposición de la universidad, uno de los aspectos principales de este proyecto será que en un futuro estudiantes ajenos a este proyecto de la universidad EAFIT podrán disponer de éste para realizar experimentos, estudios y modificaciones a dicho motor, afianzando así sus conocimientos adquiridos en diversas áreas de la carrera. Ejemplo a esto podría ser el realizar entre otros proyectos, conectar esta unidad a una computadora que cuente con un adquisidor de datos, programa de medición, control y software de diagnóstico del motor para evaluar el estado de la Unidad de Control del Motor, así como también pruebas con GNV.

## 1. OBJETIVOS

### 1.1 OBJETIVO GENERAL

Poner en funcionamiento un motor de Renault-Twingo de combustión interna y realizar el diseño y la construcción de un banco de pruebas para éste, que permita desarrollar ensayos de rendimiento, obteniendo diferentes variables relativas al funcionamiento del motor.

### 1.2 OBJETIVOS ESPECIFICOS

- Conocer las técnicas de ensayo de los motores de combustión interna utilizadas en los bancos de pruebas, la instrumentación necesaria para la medición de variables y la teoría referente a estas mediciones.
- Presentar a través de planos el diseño desarrollado para la construcción del modelo funcional.
- Realizar un análisis mediante el método de elementos finitos para evaluar los esfuerzos y deformaciones en la estructura, al someterlo a la fuerza ejercida por el motor.
- Diseñar y construir la estructura del banco de pruebas con los elementos necesarios para su funcionamiento.
- Poner en funcionamiento el motor realizando el ensamble de los elementos faltantes en éste.
- Ejecutar el respectivo montaje acondicionando el motor en el banco de pruebas y evaluar su funcionamiento.

- Realizar una ficha técnica y de mantenimiento, donde este contenido el resumen técnico del sistema banco-motor.
- Hacer recomendaciones, desarrollos a futuro y conclusiones con el fin de contribuir al mejoramiento y optimización de este banco de ensayos.

## 2. PLANTEAMIENTO Y DEFINICION DEL PROBLEMA

Actualmente en los laboratorios de la Universidad EAFIT no existe un banco de pruebas para M.C.I. que permita realizar ensayos y afianzar conocimientos relativos a las materias de termodinámica, cero emisiones, diseño de máquinas, control numérico, entre otras. Además de esto este sistema puede ser sometido a un estudio de índole investigativo, profundizando aun más los conocimientos en estas materias.

Existe un interés por parte de algunos profesores de la Universidad EAFIT por crear un semillero de investigación y posiblemente llegar a un grupo de investigación en el área de mecánica y control automotriz. En tal sentido SOFASA ha donado un motor de Renault Twingo, de serie D7F B700, del año 2004. Por lo tanto se hace necesario realizar la construcción del denominado sistema con la instrumentación necesaria, con el fin de que los estudiantes en conjunto con los profesores, puedan realizar pruebas relativas a diferentes áreas de conocimiento, confrontando así lo teórico con lo práctico.

Por tal motivo el banco de pruebas debe permitir la realización de algunas de las diversas pruebas que se realizan a los motores, en este caso el motor mencionado anteriormente fabricado ya en serie. En un futuro se podrán realizar gran cantidad de pruebas, diseños, construcciones, investigaciones, entre otras, relacionadas con el funcionamiento de los motores

### 3. IMPORTANCIA DEL PROBLEMA EN EL MEDIO

La razón por la que se escoge el diseño y construcción de un banco de pruebas para esta fuente de generación de energía, esta dada por múltiples factores, como el gran crecimiento porcentual de esta clase de maquinas, acogida y sus impactos negativos en el medio ambiente.

Esto es que con el banco de pruebas se puede llegar a estudios más profundos en el tema de generación de energía, disminución de gases contaminantes, optimización de potencia entre otros.

La gran importancia en el medio aparte de la contaminación que generan esta clase de motores, es que con este banco de pruebas se puede llegar a una solución optima en el rediseño de sus componentes, es decir que en un futuro por estar este banco de pruebas instalado en la Universidad EAFIT, los mismos estudiantes son los que podrán disponer de este para realizar toda clase de pruebas que mejoren el rendimiento y funcionamiento de este motor.

Actualmente la universidad no posee un laboratorio ni un taller de mecánica automotriz, en el cual los estudiantes realicen pruebas pertinentes a esta área. Es necesario que la universidad inicie nuevas propuestas para la implementación de todo un sistema académico acerca del área automotriz. Esto porque generaría una gran expectativa para las personas que ingresen a la universidad interesados en estos temas. Y seria un campo de aplicación de conocimientos para las personas pertenecientes a este plantel educativo.

Una de las pruebas que se piensa realizar a futuro es el montaje de gas natural vehicular a este motor por lo que al realizar este banco de pruebas, el trabajo se adelanta en la primera fase y etapa quedando una segunda etapa a la expectativa y por realizar. Por lo tanto, este proyecto tendría un gran aporte y un gran avance al medio de las pruebas y ensayos del gas natural vehicular

GNV, pruebas de mediciones de gases contaminantes relacionado con el tema de cero emisiones, optimizaciones de potencias, etc.

Entre otros aspectos importantes se encuentran temas como la contaminación, el calentamiento global, los altos costos de los combustibles fósiles y su bajo rendimiento respecto al gas natural y obviamente su creciente demanda. Esto conduce a que se presente un gran auge en la implementación del GNV, por lo que se hace necesario contrarrestar con pruebas y nuevas propuestas, los mitos que existen alrededor de este tema.



#### 4. JUSTIFICACIÓN

El diseño y construcción del banco de ensayos es un problema que se plantea con el fin de tener una iniciativa de nuevos equipos para realizar el montaje de un laboratorio de mecánica experimental. Por lo tanto se hace necesario el empezar a comprar equipos o en su defecto a construirlos por los mismos estudiantes y profesores de la universidad y así enriquecer el equipamiento de este nuevo laboratorio.

Se aprovecha entonces la existencia de un motor inoperante, ubicado en las instalaciones de la universidad y así darle un provecho, dando así una primera solución e inicialización a todo el proyecto del nuevo laboratorio.

Considerando los beneficios que este proyecto generará en todos los aspectos posibles, el proyecto es adecuado y muy pertinente, ya que en la universidad no se realizan prácticas de mecánica experimental en donde se pueden aplicar gran diversidad de conocimientos adquiridos por los estudiantes de ingeniería.

## 5. BENEFICIARIO DIRECTO

Un banco de pruebas se relaciona directamente con factores ambientales, de diseño, rendimiento, pruebas y ensayos, donde el principal beneficiado con esta construcción de este sistema será la Universidad EAFIT y con ella sus laboratorios de transferencia de calor, termodinámica y control ambiental, entre otros.

Los alumnos serán otros que gozarían de este beneficio, en proyectos de investigación y estudios en conjunto con los profesores los cuales podrían realizar todo tipo de pruebas en lo relacionado con este tema. Además de éstos, personas que tengan conocimientos con los motores y quieran experimentar y realizar modelos de optimización.

En caso de llegar a una segunda etapa ajena al proyecto, es decir la implementación del GNV, las compañías instaladoras de este sistema también se beneficiarían con los resultados obtenidos, mediante alguna forma de obtención de las pruebas de rendimiento y modificaciones o rediseños de dicho sistema.

## 6. ALCANCES Y LIMITES

Las expectativas y alcances que se tiene con este proyecto se dividen en dos facetas. La primera es proveer un documento escrito que defina los parámetros generales para el diseño y la construcción del banco de pruebas, teniendo en cuenta toda la información necesaria para ser llevado a cabo.

La segunda faceta esta relacionada y es inherente al funcionamiento del motor ya que se espera que éste opere de manera óptima en el momento que sea montado en el banco de pruebas y sea encendido, ya que el motor actualmente se encuentra incompleto y se desconoce el estado operativo de éste. Igualmente hay que tener presente, que todos los componentes del banco funcionen perfectamente y los instrumentos de medición operen correctamente, indicando valores que estén dentro de los parámetros de fabrica del motor.

Basados en estos alcances, es decir poner en marcha el motor con instrumentos de medición de variables del motor mediante el banco de pruebas, se establecen limites, los cuales se deberían llevar a cabo posteriormente de la construcción de ese banco y que son ajenos al proyecto, como son limites en cuanto al gas natural vehicular, el sistema de frenado y el sistema de mediciones de variables como la potencia mediante software computacionales.

Además de esto se establecen límites en cuanto a los costos, es decir que un banco de pruebas se puede construir con tantos elementos adicionales y aditamentos como se desee. El problema esta en que a un mayor número de elementos instalados, mayor será el costo y el tiempo a invertir en el proyecto; lo cual representa uno de las mayores limitantes a lo largo del proyecto.

## 7. MARCO TEORICO Y ESTADO DEL ARTE

### 7.1 MOTOR DE COMBUSTION INTERNA – M.C.I. (CICLO OTTO)

Un M.C.I. es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química producida por un combustible que arde dentro de una cámara de combustión. (Motor@<sup>2</sup>, 2008)

7.1.1 Motor convencional del tipo Otto. El motor convencional del tipo Otto es de cuatro tiempos. La eficiencia de los motores Otto modernos se ve limitada por varios factores, entre otros la pérdida de energía por la fricción y la refrigeración.

En general, la eficiencia de un motor de este tipo depende del grado de compresión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 o 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor, pero este diseño requiere la utilización de combustibles de alto índice de octano. La eficiencia media de un buen motor Otto es de un 20 a un 25%: sólo la cuarta parte de la energía calorífica se transforma en energía mecánica. (Motor@, 2008)

A continuación se realiza una breve descripción acerca de cómo se produce la energía motriz en el interior del motor. En el interior de los cilindros, están ubicados los pistones, los cuales realizan una labor fundamental en su funcionamiento. Los pistones realizan carreras (subida y bajada), donde cada una de estas realiza un proceso diferente. Solo en un tiempo de estas carreras, se produce la energía motriz, esta es la de expansión.

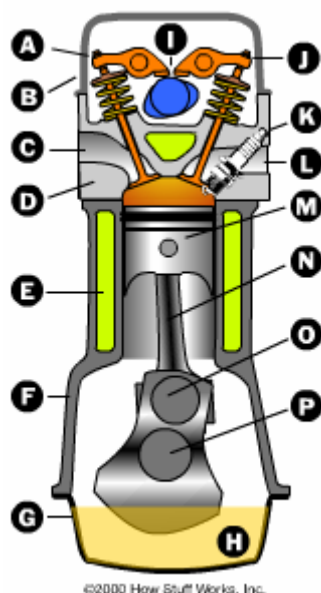
---

<sup>2</sup> El símbolo @ indica que el texto es tomado de Internet.

- Admisión (1er tiempo). Se abre la válvula de admisión, el pistón baja y el cilindro se llena de aire mezclado con combustible.
- Compresión (2do tiempo). Se cierra la válvula de admisión, el pistón sube y comprime la mezcla de aire/gasolina.
- Expansión (3er tiempo). Se enciende la mezcla comprimida y el calor generado por la combustión expande los gases que ejercen presión sobre el pistón.
- Escape (4to tiempo). Se abre la válvula de escape, el pistón se desplaza hacia el punto muerto superior, expulsando los gases quemados. (Tiempos@, 2008)

En la siguiente figura se puede apreciar algunos de los principales componentes internos de un motor de gasolina.

Figura 1. Componentes internos del motor



- A. Balancín de válvula.
- B. Tapa de válvulas.
- C. Pasaje de admisión.
- D. Culata de cilindros.
- E. Cámara refrigeración.
- F. Bloque de motor.
- G. Carter de motor.
- H. Lubricante.
- I. Eje de levas.
- J. Regulador de válvula.
- K. Bujía de encendido.
- L. Pasaje de Escape.
- M. Pistón.
- N. Biela.
- O. Puño de biela.
- P. Cigüeñal.

(Tiempos@, 2008)

7.1.2 Cámara de combustión, Pistón y Cigüeñal. En el caso de motores de gasolina, la cámara de combustión es el lugar donde se realiza el proceso de combustión, generado por la compresión de la mezcla de aire y combustible, que se inflama al generarse una chispa eléctrica generada por un elemento integrado a la cámara de combustión, llamada bujía. Las cámaras de combustión tienen diversas geometrías, que es donde finaliza el cilindro dentro del cual se desliza un pistón muy ajustado al interior. El movimiento lineal del pistón modifica el volumen que existe entre la cabeza del pistón y de la cámara.

Cuando el pistón está en el tiempo de compresión en el punto muerto superior, es decir donde la mezcla está comprimida, es en el siguiente tiempo donde se realiza la combustión en la cámara.

Una biela en el interior del pistón lo conecta con el cigüeñal, convirtiendo en movimiento rotatorio el movimiento lineal del pistón. En los motores de varios cilindros el cigüeñal tiene una posición de partida, llamada espiga de cigüeñal y conectada a cada eje, con lo que la energía producida por cada cilindro se aplica al cigüeñal en un punto determinado de la rotación. Los cigüeñales cuentan con pesados volantes y contrapesos cuya inercia reduce la irregularidad del movimiento del eje. Un motor puede tener de 1 a 28 cilindros. (Motor@, 2008).

7.1.3 Sistema de bombeo. El sistema de bombeo de combustible de un motor de combustión interna consta de un depósito, una bomba de combustible y un dispositivo que vaporiza o atomiza el combustible líquido. Puede ser un carburador o varios inyectores los dispositivos utilizados con este fin en los motores Otto. En los motores de varios cilindros el combustible vaporizado se conduce a los cilindros a través de un tubo ramificado llamado colector de admisión. Muchos motores cuentan con un colector de escape o de expulsión, que transporta los gases producidos en la combustión. (Motor@, 2008)

7.1.4 Sistema de alimentación. Cada cilindro toma el combustible y expulsa los gases a través de válvulas de cabezal o válvulas deslizantes. Un muelle mantiene cerradas las válvulas hasta que se abren en el momento adecuado, al actuar las levas de un árbol de levas rotatorio movido por el cigüeñal, estando el conjunto coordinado mediante la correa de distribución. En la década de 1980, este sistema de alimentación de una mezcla de aire y combustible se ha visto desplazado por otros sistemas más elaborados ya utilizados en los motores diésel. Estos sistemas, controlados por computadora, aumentan el ahorro de combustible y reducen la emisión de gases tóxicos. (Motor@, 2008)

7.1.5 Encendido. Todos los motores tienen que disponer de una forma de iniciar la ignición del combustible dentro del cilindro. Por ejemplo, el sistema de ignición de los motores Otto, existe un componente llamado bobina de encendido, el cual es un auto-transformador de alto voltaje al cual se le conecta un conmutador que interrumpe la corriente del primario para que se induzca la chispa de alto voltaje en el secundario. Dichas chispas están sincronizadas con la etapa de compresión de cada uno de los cilindros; la chispa es dirigida al cilindro específico de la secuencia utilizando un distribuidor rotativo y unos cables de grafito que dirigen la descarga de alto voltaje a la bujía que es el dispositivo de que produce la ignición.

Si la bobina está en mal estado se sobrecalienta; esto produce pérdida de energía, aminora la chispa de las bujías y causa fallos en el sistema de encendido del automóvil. La bujía contiene en uno de sus extremos dos electrodos separados entre los que la corriente de alto voltaje produce un arco eléctrico que enciende el combustible dentro del cilindro. (Motor@, 2008)

7.1.6 Refrigeración. Dado que la combustión produce calor, todos los motores deben disponer de algún tipo de sistema de refrigeración. Hay motores que utilizan la refrigeración por agua, lo que implica que los cilindros se encuentran dentro de una carcasa llena de agua que en los automóviles se hace circular

mediante una bomba. El agua se refrigera al pasar por las láminas de un radiador.

Es importante que el líquido que se usa para enfriar el motor no sea agua común y corriente porque los motores de combustión trabajan regularmente a temperaturas más altas que la temperatura de ebullición del agua, esto provoca una alta presión en el sistema de enfriamiento dando lugar a fallas en los empaques y sellos de agua así como en el radiador; se usa un anticongelante pues no hierve a la misma temperatura que el agua, si no a mucho más alta temperatura, tampoco se congelará a temperaturas muy bajas. Además que este líquido no produce sarro ni sedimentos que se adhieren en las paredes del motor y del radiador formando una capa aislante que disminuirá la capacidad de enfriamiento del sistema. (Motor@, 2008)

Si la temperatura es baja, el funcionamiento del motor será poco eficiente, desaprovechará el combustible al no permitir una óptima combustión y no facilitará la circulación del aceite por el sistema de lubricación. Por el contrario si es alta, degradará el aceite y puede producir daños en el motor. El funcionamiento de un motor puede alcanzar hasta 2.000 grados centígrados, que deben ser manejados para evitar que se funda. Un propulsor sin refrigeración recorrería unos pocos metros antes de fundir sus piezas unas contra otras. (Refrigeración@, 2006)

- Componentes del sistema de refrigeración líquida. Se mencionan a continuación algunos de los componentes principales y básicos en un sistema de refrigeración vehicular.

- Radiador: Contiene el líquido para el correcto funcionamiento del motor y del sistema de refrigeración, además de realizar la transferencia de calor.
- Tapa: mantiene la presión constante del sistema evitando que el líquido sea expulsado al exterior cuando aumenta su volumen al aumentar la temperatura.



- Mangueras: Fabricadas en caucho, unen el motor con el radiador de manera flexible.
- Correa: Fabricada en caucho, es la encargada de transmitir el movimiento entre el motor y la bomba de agua.
- Bomba de agua: Mediante una turbina, hace circular el agua dentro del sistema.
- Camisas: Cavidades dentro del motor, que contienen el líquido refrigerante.
- Termostato: Elemento sensible a la temperatura y ubicado en la parte superior del motor, que restringe la circulación del líquido refrigerante desde el motor hacia el radiador, hasta el momento en que el motor alcanza su temperatura óptima de funcionamiento.
- Termocontacto: Conector colocado en la culata o en el radiador y encargado de dar la orden de encendido o apagado al ventilador eléctrico.
- Vaso de expansión: Depósito encargado de recibir el líquido que se dilata por acción de la temperatura y que permite el regreso de este al radiador una vez baja la temperatura.
- Ventilador: Es el encargado de succionar aire fresco del ambiente para pasarlo a través del radiador. Puede ser accionado por el motor del vehículo o por electricidad luego de recibir la orden del termocontacto, al percibir que debe encenderlo o apagarlo de acuerdo con la temperatura del motor.  
(Refrigeración@, 2006)

- Medición de la temperatura. Para detectar los aumentos exagerados de temperatura, los motores tienen sensores ubicados en la culata, que es la parte del motor más sensible a deformaciones porque en muchos casos está hecha de aleaciones de aluminio. Desde allí se envían señales eléctricas al tablero de instrumentos, bien sea a un indicador de aguja o a un testigo luminoso.  
(Refrigeración@, 2006)

- Efectos del aumento de temperatura. Se describen algunos de los efectos que puede causar el recalentamiento en el motor.

- El empaque de la culata se puede quemar. Esto provocará que el agua de refrigeración se mezcle con el aceite en el cárter (depósito), lo que hace que se forme una "emulsión lechosa" de cualidades lubricadoras deficientes.
- Puede haber recalentamiento severo. La culata puede perder su forma plana en la cara que se enfrenta al motor, lo cual produce pérdidas en el rendimiento.
- Puede haber deformación de las piezas móviles del motor, como las bielas, los pistones e incluso el cigüeñal. (Refrigeración@, 2006)

- Interpretación de la lectura del medidor para un aumento en la temperatura. Algunos de los siguientes consejos se deben de tener en cuenta, cuando el indicador de temperatura registre un alza en la misma.

- Falta de agua como consecuencia de la existencia de fugas en el sistema, mangueras rotas o perforadas y daño en la bomba, entre otras razones.
- Ruptura o aflojamiento de la correa, que transmite el movimiento del cigüeñal a la bomba de agua, para que se haga circular el líquido.
- Mal funcionamiento de la bomba de agua o de su empaque.
- Uso de gasolina corriente a alturas inferiores a los 1.000 metros, donde esta arde con mayor facilidad, haciendo que el fenómeno de precombustión se presente en las cámaras de combustión. En este caso, la consecuencia inicial de la detonación a destiempo de la mezcla es el 'cascabeleo' y posteriormente el recalentamiento.
- Uso del carro a marchas forzadas a muy baja velocidad en quinta velocidad, por ejemplo. O sin pasar a un cambio más alto cuando se requiere.
- No enciende en el momento oportuno el ventilador eléctrico.
- Termostato pegado. (Refrigeración@, 2006)

7.1.7 Sistema de arranque. Al contrario que los motores eléctricos y las turbinas de vapor, los motores de combustión interna no producen un par de fuerzas cuando arrancan, lo que implica que debe provocarse el movimiento del cigüeñal para que se pueda iniciar el ciclo. Los motores de automoción

utilizan un motor eléctrico (el motor de arranque) conectado al cigüeñal por un embrague automático que se desacopla en cuanto arranca el motor. Otros sistemas de encendido de motores son los iniciadores de inercia, que aceleran el volante manualmente o con un motor eléctrico hasta que tiene la velocidad suficiente como para mover el cigüeñal. (Motor@, 2008)

- Amperímetro. En algunos automóviles, el testigo de carga del dinamo de halla complementado por un amperímetro, que revela la intensidad de carga o descarga de la batería.

Si la correa del ventilador se afloja o se rompe, el amperímetro indicara descarga, ya que la correa no hace girar el generador a la velocidad adecuada; en este caso, la batería, en vez de cargarse, hará frente a las necesidades eléctricas del automóvil. Del mismo modo, los defectos de la dinamo o del circuito de carga también se traducirán en una descarga.

Cuando el sistema eléctrico funciona perfectamente y la batería esta razonablemente bien cargada, el amperímetro deberá proporcionar una lectura relativamente alta durante los primeros minutos, mientras se repone la batería de la corriente utilizada por el motor de arranque. Después, la aguja ira descendiendo hasta indicar una carga lenta. (Digest, 1975)

7.1.8 Sistema de lubricación. El sistema de lubricación es uno de los principales aspectos que se debe tener en cuenta en los M.C.I. desde la selección del aceite apropiado hasta las pruebas de análisis de aceites. La vida del motor depende en un alto porcentaje de todo este sistema. Se mencionan a continuación los principales aspectos a tener en cuenta en este sistema.

- Viscosidad y temperatura del aceite. El término más utilizado para expresar la viscosidad es el propuesto por SAE, que consta de dos números separados por una "W" que indica que el aceite es apto para operar en vehículos que circulan por zonas con climas muy fríos. El primer número informa de lo rápido que un

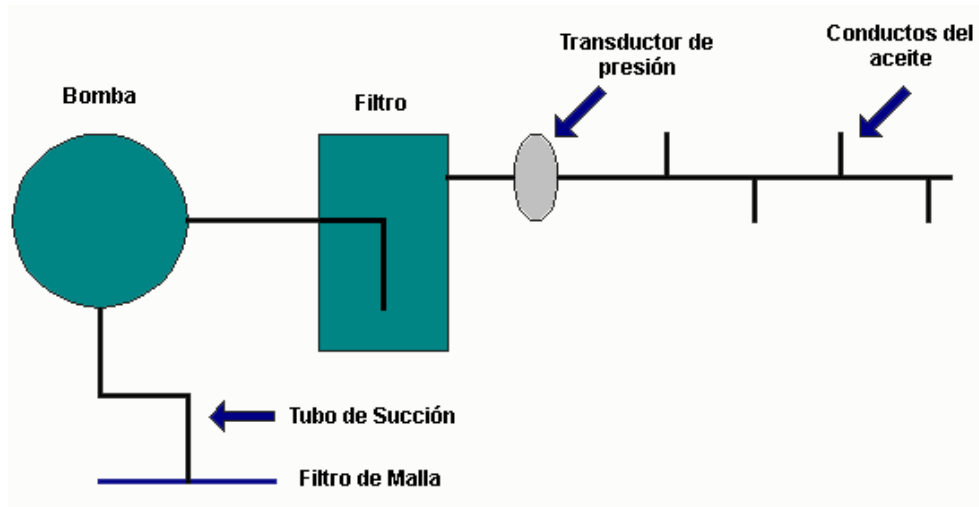
motor arranca en clima frío (números más bajos significan un mejor desempeño). El segundo número, en cambio, señala la capacidad de un aceite cuando las temperaturas son altas (cuanto mayor sea el número, mejor funcionará a altas temperaturas). Cobra especial relevancia la temperatura que alcanza el interior del automóvil: coches más potentes (y, por tanto, que se revolucionen y calienten más) necesitaran de aceites que soporten mejor la temperatura.

Las ventajas de un mayor índice de viscosidad son, por un lado, una mayor viscosidad a mayor temperatura, lo que significa menor consumo de aceite y menor desgaste; y, por otro lado, una menor viscosidad a baja temperatura, por lo que el motor arrancará mejor y consumirá menos combustible durante el calentamiento.

El punto de derrame es la temperatura más baja a la cual se observa movimiento en el aceite. Así, cuanto menor sea este valor de temperatura, mejor realizará su función el aceite en condiciones invernales. (Aceite@, 2007)

- Circulación del aceite. En el esquema simplificado de distribución de aceite que se muestra debajo, el aceite se toma a través de un filtro de malla y un tubo de succión por una bomba. Esta bomba empuja al aceite a través del filtro y luego hacia el motor a través de los conductos apropiados. Un medidor de presión se coloca normalmente después del filtro. (Lubricación@, 2008)

Figura 2. Sistema básico de lubricación.



(Lubricación@, 2008)

La circulación del aceite se produce por una bomba, y no por un compresor. El criterio más importante para una buena lubricación es el flujo de aceite y no la presión de aceite. La presión de aceite puede variar considerablemente a través del motor, disminuyendo a medida que se aleja de la bomba. La presión de aceite es negativa en el lado de succión de la bomba. (Lubricación@, 2008)

- ¿Qué causa la presión de aceite?. La presión de aceite es causada por la resistencia del aceite a fluir, debido a su viscosidad, bajo la acción de bombeo. Con conductos grandes para el aceite, y baja viscosidad, el flujo será rápido y la presión de aceite baja, una condición deseable para minimizar el desgaste. Al contrario, bajo las mismas condiciones de bombeo, con conductos estrechos o taponados, y alta viscosidad del aceite, el flujo será bajo, la presión del aceite será alta, resultando en una lubricación deficiente.

Un aceite "bueno" será aquel que tenga una viscosidad suficiente para dar una buena lubricación hidrodinámica de las superficies en rozamiento, y que además permita el flujo del aceite por toda la máquina, asegurando así un flujo permanente de lubricante.

En un caso extremo, un aceite muy viscoso nunca llegará a las partes críticas para cumplir su función. Note que en estos casos, los motores cuentan con válvulas de by-pass para prevenir altas presiones de aceite en caso de taponamientos del filtro. (Lubricación@, 2008)

- Interpretación de la lectura de la presión para el arranque en frío. Cuando el motor arranca, todo el aceite está en el carter y la presión de aceite es cero. La bomba no puede comenzar a bombear el aceite hasta que el circuito de aspiración no se llene. Por lo tanto, la lubricación en frío se ve favorecida por tubos de succión cortos y de diámetro grande, con aceites que tengan buenas propiedades de flujo en frío.

Cuando el aceite llega a la bomba es entonces forzado a través del filtro y luego hacia el motor. Sin embargo, como el aceite está aún frío y los canales de aceite del motor son pequeños, el flujo es lento y se desarrolla una presión alta, que es registrada por el manómetro del tablero de instrumentos.

A medida que el aceite circula y se calienta, fluye más rápido porque la viscosidad disminuye, hasta alcanzar un estado de equilibrio. Solamente en este punto se puede decir que el motor está lubricado apropiadamente. Hasta que se establezca una presión estable del aceite, la velocidad de desgaste es alta debido a un flujo inadecuado del aceite a las superficies en rozamiento. Bajo condiciones de arranque en frío, un "buen" aceite es aquél que da presiones de aceite estables lo más rápido posible. (Lubricación@, 2008)

- Interpretación de la lectura de la presión para una operación Normal. Bajo circunstancias ideales, la presión del aceite debería ser estable, y cualquier incremento o decrecimiento deberá ser investigado por posibles daños mecánicos. (Lubricación@, 2008)

Cuadro 1. Causas, consecuencias y acciones de la baja presión de aceite

CAUSAS DE LECTURAS DE BAJA PRESIÓN DE	CONSECUENCIAS	ACCIÓN
Bajo nivel de aceite	Posible falla catastrófica del motor	Agregue aceite hasta el nivel apropiado e investigue las posibles causas de pérdidas
Aceite que no fluye hacia la bomba durante el arranque	Posible falla catastrófica del motor	Apague el motor. Cambie el aceite por otro con mejores características de arranque en frío
La bomba funciona muy lento como para establecer un buen flujo de aceite	Reduce la vida del motor	Ponga un cambio más bajo para incrementar las rpm. Haga revisar la bomba de aceite
Aceite demasiado caliente. Viscosidad muy baja	Deterioro del aceite/problemas con el motor; desgaste, depósitos	Revise los medidores de temperatura y los controladores de temperatura del motor. Verifique que la viscosidad del aceite sea la correcta
Bomba de aceite desgastada	Problemas con el motor	Reemplace la bomba de aceite
Cojinetes desgastados	Problemas con el motor	El aceite fluye más fácilmente cuando los cojinetes están desgastados. Reemplace los cojinetes
Combustible en el aceite que reduce la viscosidad	Alto consumo de aceite. Desgaste del motor	Evite la marcha lenta. Revise inyectores. Cambie el aceite

Cambio del aceite	El aceite viejo tenía una viscosidad más alta debido al hollín y a la oxidación. El aceite nuevo fluye mejor	Ninguna
-------------------	--	---------

(Lubricación@, 2008)

Además de existir posibles problemas relacionadas con las presiones bajas en el aceite del motor, también existen relaciones de causas y consecuencias respecto a la alta presión en el sistema. A continuación se observa un cuadro donde se realiza dicha relación.

Cuadro 2. Causas, consecuencias y acciones de la alta presión de aceite

CAUSAS DE LAS LECTURAS DE PRESIÓN	CONSECUENCIA	ACCIÓN
La presión permanece alta después del arranque en frío. El aceite fluye adecuadamente hasta la bomba, pero no hacia el motor	Posible falla catastrófica	Apague el motor. Use aceite con mejores propiedades de temperatura (5W-30 ó 0W-30)
El aceite tiene una viscosidad alta debido a que está sucio por el hollín	Posible falla del motor	Cambie el aceite y el filtro. Revise los inyectores. Evite la marcha lenta
El aceite tiene una viscosidad alta debido a la oxidación	Posible falla del motor	Cambie aceite y filtro
La viscosidad del aceite es muy alta. El flujo de aceite es bajo	Posible falla del motor	Consulte el manual del vehículo y cambie el aceite por uno de grado correcto de viscosidad



Filtro tapado. La válvula by-pass permite el flujo de aceite sin filtrar	Reduce la vida del motor	Cambie aceite y filtro. Investigue la causa del taponamiento
Depósitos en los conductos de aceite en el motor, lo que incrementa la presión del aceite	Reduce la vida del motor	Cambie aceite y filtro. Use un aceite de mejor calidad
Aceite demasiado frío	Posible falla del motor	Verifique el termostato del motor. Verifique que esté usando un aceite con un grado correcto de viscosidad

(Lubricación@, 2008)

## 7.2 TÉCNICAS DE INSPECCIÓN DEL MANTENIMIENTO PREDICTIVO APLICABLES AL MOTOR

La potenciación de un plan de mantenimiento predictivo consiste en la utilización de técnicas de monitorizado que permiten evaluar el estado del motor a través de la inspección de síntomas. Se han agrupado estas técnicas en seis grandes áreas: análisis de prestaciones del motor, análisis de la presión en el cilindro, análisis de las oscilaciones del bloque, termografía infrarroja, endoscopía y análisis rápidos del aceite. Todas estas técnicas pueden ser aplicadas al motor montado en el banco de pruebas para realizar estudios más profundos acerca del comportamiento del motor y de su estado. (Macian. *et al*, 2003, 6)

7.2.1 Análisis de las prestaciones del motor. Dentro de este apartado, se han incluido las propias prestaciones del motor (síntomas globales que permiten estudiar el estado y funcionamiento del mismo en su conjunto) como síntomas internos del propio motor. Estos parámetros serán divididos en cuatro grupos.

- Medida de la potencia del motor. Existen actualmente varias técnicas utilizadas para medir la potencia efectiva y las pérdidas mecánicas. Entre las técnicas de medida de la potencia que tienen interés desde el punto de vista del diagnóstico de motores se pueden destacar las siguientes:

- Medida de la potencia mediante banco de ensayos
- Medida de la potencia mediante la medida de la torsión en el eje
- Medida de la potencia mediante la aceleración libre. (Macian. *et al*, 2003, 7)

- Compresión absoluta y relativa de cilindros. La compresión en el cilindro se entiende como la presión máxima que se alcanza en el interior del cilindro durante el proceso de compresión medida cuando el motor gira sin combustión. La medición de la compresión en el cilindro puede hacerse por cuatro métodos: (Macian. *et al*, 2003, 9)

- Medición con compresímetro
- Medición mediante el uso de transductores de presión en culata
- Medición mediante el consumo de corriente del motor de arranque
- Medición mediante el régimen instantáneo de rotación en arrastre

- Análisis de la inyección. De todos los parámetros que intervienen en el proceso de inyección, parece ser que la presión de inyección es el más apropiado, con fines de monitorizado, por la información que aporta sobre el estado y funcionamiento del sistema.

El análisis de la presión de inyección consiste en evaluar la respuesta dinámica de la presión instalando un sensor en la línea de inyección. La señal de presión permite diagnosticar el estado de los elementos que forman el sistema de inyección que son la bomba de inyección, conductos e inyector. Para esto se utiliza un método sencillo recomendado por el fabricante en el cual se mide la presión de entrada de combustible entregada por la bomba y el caudal de retorno. (Macian. *et al*, 2003, 11)

- Análisis de presiones y temperaturas. Como se describió anteriormente, el análisis de presiones y temperaturas es uno de los principales aspectos a tener en cuenta en el cuidado del motor. Por lo tanto se debe verificar constantemente estas variables.

- Sistema de lubricación. La presión media del lubricante es el síntoma que se suele utilizar para evaluar el sistema de lubricación. Depende del régimen del motor y de la presencia de anomalías en el sistema.
- Sistema de refrigeración. La temperatura del refrigerante es la temperatura medida en un punto crítico del circuito, que normalmente es la salida de la culata. El monitorizado de este síntoma permite determinar los funcionamientos anormales del sistema de refrigeración, caracterizado por un aumento de la temperatura superior al rango normal o por una disminución de la temperatura de refrigerante por debajo del rango normal. Para un mejor diagnóstico del sistema de refrigeración sería deseable hacer pruebas muy controladas de transitorios de temperaturas en varios puntos para verificar la disipación de calor en el radiador. (Macian. *et al*, 2003, 12)

7.2.2 Análisis de la presión en el cilindro. La presión instantánea en el cilindro es el resultado de los diferentes procesos que sufren los gases dentro del cilindro, influenciada principalmente por el movimiento del pistón y la liberación de calor durante la combustión. Con la medición de la presión en el cilindro se pueden obtener los diagramas de presión- ángulo de cigüeñal, presión-volumen y presión-volumen del cilindro.

El proceso de combustión puede ser alterado por varios factores como el combustible y la condición del sistema de inyección. Del diagrama de presión instantánea se pueden calcular y monitorizar varios parámetros importantes para el diagnóstico:

- La máxima presión en el cilindro relacionada con el periodo de retraso de la combustión y la velocidad inicial de liberación de calor.

- La presión del cilindro a un ángulo de giro del cigüeñal fijo en la línea de expansión, lo que proporciona información acerca de la combustión retardada.
- El momento de la inyección, esto permite saber el punto de la inyección y por lo tanto el retraso en la combustión.
- La presión de compresión.
- La presión media indicada.
- El incremento máximo de presión por ángulo.

El análisis comparativo de los diagramas p-  $\alpha$  o p-v de cilindros individuales, con diagramas de referencia conocidos del mismo motor en buen estado, permite detectar la presencia de fallos en el motor.

Para obtener los diagramas de presión instantánea de un cilindro se requiere medir simultáneamente la presión en la cámara de combustión y la posición angular respectiva del cigüeñal. (Macian. *et al*, 2003, 12-13)

7.2.3 Análisis de las oscilaciones del bloque. Las vibraciones que se producen en un punto cualquiera del motor son la combinación de movimientos oscilatorios originados por dos fenómenos diferentes, por una parte hay vibraciones que se manifiestan a través de deformaciones de la estructura del motor (impactos, combustión con gradiente de presión elevada, etc.) y por otra parte, oscilaciones del bloque como sólido rígido vinculado elásticamente a través de soportes elásticos.

Utilizando esta técnica, pueden detectarse, diferentes tipos de fallo tales como: Menor cantidad de combustible inyectado, menor compresión de algún cilindro, flojedad en los soporte, etc. Todo ello utilizando tanto el dominio temporal como el dominio en frecuencia. (Macian. *et al*, 2003, 13-14)

7.2.4 Termografía infrarroja. La medida superficial de la temperatura puede determinarse empleando técnicas “sin contacto” como la termografía o el

empleo de pirometros. La termografía es una técnica de “no contacto” que genera imágenes infrarrojas del “calor” que emiten los objetos, en los cuales se puede medir su temperatura. Los sistemas infrarrojos portátiles pueden convertir la radiación térmica en mapas térmicos visibles. Las imágenes pueden grabarse en video convencional, para realizar un análisis cuantitativo de la temperatura.

Particularizando para el sistema de refrigeración, la medida de temperaturas superficiales puede servir para detectar fugas de refrigerante, obstrucciones en el radiador, puntos calientes, agarrotamiento en la bomba de agua, etc.

Para el resto de los sistemas mecánicos cabe señalar que se calentaran si existen una lubricación inadecuada o algún desalineamiento. Típicamente, cuando los componentes mecánicos se gastan, se vuelven menos eficientes, y por lo tanto el calor que emiten se incrementa. Consecuentemente, la temperatura de los equipos o sistemas que están fallando, se vera incrementada con mucha rapidez antes de un fallo. (Macian. *et al*, 2003, 14-15).

7.2.5 Endoscopia. Con esta herramienta es posible el reconocimiento de averías incipientes del motor tales como rayado de cilindro, asientos de válvula, segmentos rotos, inyectores en mal estado, etc. Así como el control de desgaste en la parte baja del motor y de los engranajes de accionamiento de auxiliares. (Macian. *et al*, 2003, 15)

7.2.6 Análisis rápidos de aceites. Se mencionan algunos tipos de mediciones que se le realizan comúnmente a los motores diesel, las cuales en algunos casos pueden ser copiadas para ser realizadas a motores de gasolina. Con un mini laboratorio, se pueden realizar múltiples ensayos como (Macian. *et al*, 2003, 15):

- Medida de viscosidad
- Medida de presencia de agua
- Medida de insolubles en el aceite
- Análisis de la mancha de aceite.

### 7.2.7 Antipolución

- Control de las normas antipolución. Calentar el motor hasta constatar dos puestas en marcha del ventilador de refrigeración. Conecte un analizador de cuatro gases, correctamente calibrado, en las salidas de escape. Mantener el régimen motor a 2500 r.p.m. durante 30 segundos aproximadamente y obtener los valores de los contaminantes (Manual1@, 2007).

Si después de esta prueba, se cumplen los valores reglamentarios, el sistema antipolución es correcto. Si los valores obtenidos no son correctos, es necesario efectuar los controles suplementarios siguientes:

- Verificar el estado del motor (estado de aceite, juegos de válvulas, distribución, etc.)
- Controlar correctamente el funcionamiento de la sonda de oxígeno.
- Efectuar el test de la presencia de plomo.
- El correcto funcionamiento del encendido (bujías correctamente regladas y conformes, cableado de alta tensión en buen estado y correctamente conectado)
- El correcto funcionamiento de la inyección (alimentación correcta)
- La conformidad y estanquidad de la línea de escape

En el caso de que el test salga positivo, hay que esperar a que el motor haya consumido dos o tres depósitos de gasolina sin plomo antes de cambiar la sonda de oxígeno. Por último, después de efectuar todos estos controles, si los valores obtenidos siguen no estando conformes, será necesario cambiar el catalizador (Manual1@, 2007).

## 8. METODOLOGIA PARA LA IMPLEMENTACIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

### 8.1 FASE I: INVESTIGACIÓN Y DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

El objetivo de esta primera fase es describir de manera sucinta el sistema objeto de la implementación, es decir el banco de prueba en conjunto con el motor. A continuación se describen algunos aspectos.

8.1.1 Descripción del banco de pruebas. Para ensayar el motor es necesario instalarlo en un banco de pruebas o de ensayos. El que se llevara a cabo en este proyecto consta básicamente de los siguientes elementos:

- Un sistema que absorba las vibraciones que se producen debido a la existencia en el motor de fuerzas de inercia no equilibradas y de los correspondientes momentos resultantes.
- Chasis: Su misión es soportar el motor.
- Soportes: Para montar y fijar el motor en la bancada.
- Sistema de alimentación de combustible al motor: Consta de un tanque de combustible con una bomba instalada en el interior, que envía el combustible a los inyectores a un caudal y presión determinada.
- Sistema de refrigeración del motor: Enfriado por agua mezclada con líquido refrigerante, impulsado por una bomba interna. Se realizara el proceso de transferencia de calor mediante un radiador y un ventilador incorporado a este.
- Sistema de evacuación de los gases de escape: Los gases de escape son enviados a la atmósfera tras pasar por un silenciador y posterior un catalizador.
- Panel de control: Consta de instrumentos de medición de variables de presión de aceite, temperatura de agua, voltaje, amperaje, horometro, temperatura del aceite, r.p.m. Además del switch y la perilla de aceleración.

- Sistema de traslación y anclaje: Consta básicamente de cuatro ruedas que soportan todo el peso del sistema y lo trasladan con facilidad. Además de estos unos anclajes al suelo para que el banco sea empotrado a la hora de realizar las pruebas.

8.1.2 Descripción del motor de combustión interna. El montaje que se realizara con el banco de pruebas, será para un motor de cuatro tiempos que posee la Universidad EAFIT.

Se debe tener en cuenta todos los parámetros funcionales y variables relacionadas al rendimiento óptimo del motor. Como anexo a estas variables que se podrían llevar a cabo posteriormente, se debe tener en cuenta la potencia máxima a revoluciones específicas, al igual que el torque y mediciones de gases entre otras.

## 8.2 FASE II: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL BANCO DE PRUEBAS

8.2.1 Etapa de diseño. En esta parte se debe tener presente cálculos de diseño, para poder determinar la forma, geometría y los materiales del banco. Se realizan varias propuestas, con el fin de seleccionar un diseño seguro, efectivo, estético y económico.

8.2.2 Etapa de construcción. Posterior a la etapa del diseño se debe proceder basado en los cálculos, a la materialización del banco. Esto es que después de seleccionar los materiales adecuados, geometrías y dimensiones, se empieza la etapa de construcción. En este se incluyen todos los elementos necesarios para realizar un banco de pruebas.

## 8.3 FASE III: REPARACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL MOTOR

8.3.1 Consecución de repuestos. Se debe realizar un listado de todos los repuestos faltantes del motor, con el fin de realizar un presupuesto detallado.



Posterior a la realización de este listado se definirán algunos métodos para la búsqueda de estos repuestos, es decir si esta será bajo un patrocinio proporcionado por la universidad, por otra empresa o si será bajo un esquema de adquisición con capital propio.

8.3.2 Reparación del motor. Como etapa posterior a la adquisición de los repuestos y bajo el supuesto que estos son los óptimos para el funcionamiento, se procede a realizar reparaciones menores en el motor. Además de esto se instalaran todos los componentes faltantes y se verificara que este opere correctamente. En caso de ser necesario se solicitara la ayuda de un técnico especializado para las instalaciones eléctricas y el encendido del mismo.

#### 8.4 FASE IV: MONTAJE Y EVALUACIÓN DEL DESEMPEÑO DEL SISTEMA

El objetivo de esta cuarta fase es evaluar la efectividad del banco de pruebas y el motor, posterior al montaje realizado. Esta comprende la evaluación de los siguientes aspectos:

8.4.1 Evaluación del desempeño del motor. Se debe realizar el conjunto de pruebas que permitan evaluar el estado operativo de la maquinaria. Las pruebas que se realicen pueden ser desde las más simples a las más complejas. Esto es que se pueda realizar un proceso donde se verifique el estado del motor y su funcionamiento bajo parámetros basados en los sentidos y en las medidas otorgadas por el banco, hasta las mas complejas como son las realizadas por las empresas constructoras de estas maquinas. Para el caso puntual se realizaran pruebas basadas en la capacidad del conocimiento y del capital.

Por ejemplo en los equipos de medición se debe verificar su calibración mediante los procedimientos especificados por la norma estándar que lo regula. En el motor se verifica el estado, sistema eléctrico, sistema de lubricación, corrientes, presiones, etc. Las pruebas deben evaluar los

parámetros que permitan comparar el desempeño del equipo contra los valores:

- Recomendados por el fabricante
- Recomendados en normas estándar
- Estándar para la operación de equipos que realicen la misma operación

8.4.2 Evaluación del desempeño del banco de prueba. Se debe verificar el correcto funcionamiento del banco de pruebas mediante el comportamiento de las vibraciones, sus apoyos y empotramientos, soportes, señales transmitidas por el motor, entre otras.

Este banco debe estar en capacidad de soportar de una manera segura el motor además de absorber en gran parte las vibraciones de éste. Éste tiene que trasladarse en caso de realizar las pruebas en otro lugar así como también tener un sistema de anclaje al piso. Estos parámetros se tendrán en cuenta, como también la parte estética.

8.4.3 Evaluación del análisis comparativo. Con el fin de evaluar la efectividad del banco y el motor se procede a realizar una comparación con los modelos existentes y las respectivas comparaciones con las medidas entregadas por este, con el fin de verificar su funcionamiento óptimo.

## 8.5 FASE V: CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

En esta tercera y última etapa y con base en las anteriores fases, se deben resumir y resaltar:

8.5.1 Identificar inconformidades. Mediante la comparación entre los resultados de las pruebas de desempeño del sistema, los esperados indicados en las normas, los manuales y la experiencia.

Se debe identificar los aspectos más relevantes donde el banco de pruebas tiene deficiencias y debilidades o simplemente no se ajusta a lo recomendado. Se deberán establecer las consecuencias de las no conformidades dentro del desempeño de la maquinaria.

8.5.2 Identificar las oportunidades de mejora. Se deben identificar y especificar en forma prioritaria las acciones cuya implementación tendrían el mayor impacto positivo en el desempeño del banco de pruebas del motor.

Para cada oportunidad de mejora identificada se debe evaluar tanto la factibilidad técnica como económica de su implementación ya que se debe contar no solo con un determinado presupuesto, sino también los aspectos técnicos.

## 8.6 FASE VI: ELABORACIÓN DEL PROYECTO

8.6.1 Elaboración final del proyecto. Se concluye en esta fase todo lo propuesto en el trabajo, y posterior a la identificación de los defectos y las mejoras se procede a plasmarlo en el proyecto con el fin de dejar abierta la posibilidad de mejoras y optimizaciones. Aquí se recopilara toda la información puntual y verídica relacionada con el tema para el banco de pruebas para el motor.

8.6.2 Entrega del proyecto final. Para la fecha indicada por el departamento de proyectos de la universidad, la cual se presenta en el cronograma de actividades, se realizara la entrega final del proyecto.

## 9. REQUERIMIENTOS PARA APLICAR LA METODOLOGIA PROPUESTA

Para aplicar la metodología propuesta para el banco de pruebas, en cuanto a lo material, es necesario contar con los instrumentos especializados que permitan realizar las pruebas de desempeño de los equipos que son objeto. Para cada prueba se requieren instrumentos de diferente naturaleza como son sensores, medidores, sistemas eléctricos, entre otros.

Se debe terminar de ensamblar el motor y ponerlo en funcionamiento, para lo cual se hace necesario contar con el apoyo de empresas que patrocinen la consecución de las piezas y elementos faltantes. Sin el apoyo de dichas empresas o de la universidad, los costos por adquisición de dichos elementos serían muy elevados y por lo tanto se incrementaría la dificultad de llevar a cabo el proyecto y el éxito del mismo.

Algunos costos que no son tan significativos en proporción a los costos de los materiales e implementos principales en el sistema, serán incurridos por los realizadores de este proyecto.

Es necesario contar con el apoyo constante de nuestro asesor y así poder llegar a un fin común. Adicionalmente el apoyo incondicional de las personas encargadas del manejo de maquinas, equipos y herramientas, pues ellos serán un gran aporte para llevar a cabo el proyecto; además de su colaboración en cuanto a las inquietudes y problemas que se puedan presentar a lo largo del proyecto.

Para asegurar el éxito de la propuesta, es indispensable contar con la iniciativa y entusiasmo tanto de los realizadores del proyecto en conjunto con el asesor, así como también de la Universidad que es donde y para quien se realiza este proyecto.

## 10. CRONOGRAMA DE ACTIVIDADES

Cuadro 3. Cronograma de actividades

ACTIVIDADES		SEMANAS											
		Feb-08	Feb-15	Feb-22	Feb-29	Mar-07	Mar-14	Mar-21	Mar-28	Abr-04	Abr-11	Abr-18	Abr-25
FASE I: Investigación y Descripción del Sistema	Descripción del banco de pruebas												
	Descripción del MCI												
FASE II: Diseño y construcción del banco de pruebas	Etapas de diseño												
	Etapas de construcción												
FASE III: Reparación y puesta a punto del motor	Consecución de repuestos												
	Reparación del motor												
FASE IV: Montaje y Evaluación del desempeño del sistema	Evaluación del desempeño del motor												
	Evaluación del desempeño del banco de prueba												
	Evaluación del análisis comparativo												
FASE V: Conclusiones y Recomendaciones	Identificar inconformidades												
	Identificar las oportunidades de mejora												
FASE VI: Elaboración y entrega del proyecto final	Elaboración final del proyecto												
	Entrega proyecto final												

## 11. FASE CONCEPTUAL

Lo nuevo e innovador de este proyecto será la estructura y sus componentes, ya que es un nuevo diseño, donde se tiene en cuenta diferentes aspectos de los bancos de pruebas y su funcionamiento. Este cubrirá algunas de las funciones que estos realizan a la vez que se agregaran elementos necesarios para su funcionamiento.

El motor no será un inconveniente ya que solo se tendrá que ensamblar las partes restantes, las cuales se encuentran en el mercado automotriz con gran facilidad. Por ende, éste se pondrá en funcionamiento con unos resultados esperados positivos.

### 11.1 CLASIFICACIÓN DEL PRODUCTO

Básicamente este producto sustituye una importación. El banco de pruebas no es un sistema que puede ser patentable en el mundo ya que es un producto existente en los mercados y se puede conseguir totalmente ensamblado en conjunto con el motor.

Lo que si es algo nuevo es el diseño del chasis o el banco en si, que tomando de referencia productos existentes se llega a una conclusión final de diseño que se espera funcione de una manera optima.

Este producto será totalmente nuevo y novedoso en las instalaciones de la Universidad EAFIT y como lo pretendido por esta misma institución es crear un laboratorio de mecánica automotriz, este sistema será de gran ayuda para el comienzo.

El precio aproximado de este producto en el mercado con unas características similares al banco de pruebas propuesto aquí y con semejanza en cuanto al

motor, esta entre 10 y 15 millones de pesos. Por tener el elemento mas costoso a nuestra disposición, es decir el motor, solamente se diseñara y construirá el banco de pruebas, se termina de ensamblar el motor y ponerlo en marcha y luego realizar el respectivo ensamble de todo el conjunto quedando así un diseño modular.

## 11.2 DEFINICIÓN DEL PRODUCTO

El banco de pruebas autoportante es un sistema en el cual se podrán realizar algunas medidas relacionadas a los motores de combustión interna de cuatro tiempos de gasolina. Para este caso se selecciona un motor de Renault Twingo D7F B700, por la disponibilidad de éste, es decir por la existencia del mismo en las instalaciones de la universidad.

La estructura del banco de pruebas se diseñara y se ensamblara posteriormente con el motor, donde se espera que todas las medidas ajusten con gran precisión. Así se obtendrá un sistema donde por medio de unas entradas determinadas por las condiciones del mismo, se obtendrán unas salidas definidas en este proyecto. Esto dará un soporte para que los futuros investigadores, tanto docentes de la educación como estudiantes del plantel, puedan realizar una diversidad de tareas relacionadas con otras variables que se pueden medir como en los bancos de pruebas mas sofisticados.

## 11.3 CLARIFICACION DE LA TAREA

Para realizar el diseño del chasis del banco de prueba se utilizara un software computacional llamado Solid Works para modelar toda la estructura y así definir las dimensiones y posteriormente realizar el ensamble materializado. Además de esto a ésta estructura se le realiza un análisis mediante el método de elementos finitos con un software llamado Cosmos Works, el cual nos indicara mediante las fuerzas aplicadas y material seleccionado, todos los esfuerzos y

deformaciones de la estructura. Con todo esto se verifica de una forma teórica, en función de diferentes variables, si la estructura soporta el motor.

Después de realizar el respectivo ensamble del motor, con las piezas faltantes y las reparaciones correspondientes, se procede a montarlo en la estructura o chasis. Posteriormente se realizarán todas las conexiones eléctricas y las instrumentales y así poder verificar el óptimo funcionamiento del motor.

Los instrumentos que se instalarán en el banco de ensayos que serán los responsables de medir todas las variables tales como la temperatura, RPM, horas de trabajo, presión de aceite, voltaje, amperímetro y temperatura del motor, estarán instalados en una caja de control la cual hace parte del diseño integrado al chasis. Estas serán en un principio las variables a medir y las postuladas en este proyecto y deberán entregar una lectura muy precisa.

#### 11.4 LISTA DE REQUERIMIENTOS PDS

El formato que a continuación<sup>3</sup> se presenta es una adaptación del propuesto por Pugh<sup>4</sup> en “Total Design”. Posee en la parte superior una zona de identificación, en la cual se relaciona el producto, la fecha en la cual se elabora el documento y el número de la hoja de trabajo. Aparece además un campo para anotar el nombre de los integrantes del grupo y otro para designar al responsable directo de la información concerniente al elemento del PDS en cuestión.

La zona de trabajo del formato se encuentra conformada por los siguientes campos:

---


<sup>3</sup> ARISTIZABAL, Sergio (2008) “*Formato para la elaboración del PDS*”.


<sup>4</sup> PUGH, Stuart (1991) “*Total Design*”. Addison-Wesley Publishing Company, Harlow(UK).





- Elemento del PDS en consideración. Hace referencia a la identificación del elemento del PDS que se está desarrollando
- Competencia. En esta columna se ubica toda la información recolectada de los productos competidores con relación al parámetro del PDS bajo consideración.
- Requerimiento. En este campo se coloca el enunciado del requerimiento que el producto a diseñar debe satisfacer.
- D – d. Se identifica si el requerimiento constituye una Demanda o un deseo.


Cuadro 4. Lista de requerimientos PDS

Fecha: 14/03/08	Integrantes: Sebastián García Ceballos			
Producto: Banco de Pruebas	Nicolás Mejía Lotera			
Hoja Nro.1/5	Responsable: Adalberto Gabriel Díaz			
SERVICIO	PARÁMETROS			
	COMPETENCIA	REQUERIMIENTO	D	d
	Correcta operación	El sistema opera de acuerdo a lo establecido en el manual.	D	
	Entrega de información	Debe realizar la medición de siete variables.	D	
USUARIO	El sistema es amigable con el usuario	Una sola persona lo debe de operar		d
	No deja residuos	El sistema no debe dejar residuos de aceite, combustible y agua.	D	
CONFIABLE	No es Frágil	Debe soportar una fuerza de 270kg	D	
	Duradero	Debe estar en capacidad de operar mínimo 10 años.	D	

Fecha: 14/03/08		Integrantes: Sebastián García Ceballos		
Producto: Banco de Pruebas		Nicolás Mejía Lotera		
Hoja Nro.2/5		Responsable: Adalberto Gabriel Díaz		
ALMACENAMIENTO	Diseño compacto	El sistema completo no debe sobrepasar los 1.4 metros cúbicos.		d
	Facilidad de manipulación del sistema	Una persona debe estar en capacidad de movilizarlo		d
SEGURIDAD	Medidas de precaución en los alrededores	Ubicación de un extintor en los alrededores y elementos de protección personal.		d
	Controles visuales	Existencia de una tarjeta de precauciones para el usuario		d
	Sistema de guardas	No posee elementos peligrosos para el operario en movimiento	D	
	Control de emisiones contaminantes	Instalación de silenciador y catalizador.	D	
ERGONOMIA	Ambiente cómodo para el operario	Fácil acceso para las personas que intervengan en el motor		d
	Fácil de maniobrar	La manipulación de los elementos está al alcance del operario.		d
APARIENCIA	Colores agradables.	Color negro y plateado.		d
	Diseño compacto	Debe tener un tamaño proporcional al tamaño del motor		d
	Buenos acabados	Debe conservar la estética los elementos de fijación, tornillos, soldaduras y laminas.		d
	Facilidad de la limpieza	La persona tiene acceso a todos los lugares del sistema.		d

Fecha: 14/03/08		Integrantes: Sebastián García Ceballos Nicolás Mejía Lotera			
Producto: Banco de Pruebas Hoja Nro.3/5		Responsable: Adalberto Gabriel Díaz			
MANTENIMIENTO	Fácil mantenimiento	Las actividades de mantenimiento las realizan personas capacitadas pero no especializadas		d	
	Utiliza repuestos homologados por el fabricante del motor	Utilización de repuestos genuinos.	D		
	Preservación del sistema	Debe tener una rutina de mantenimiento básica		d	
GEOMETRIA	Sistema muy compacto	El banco debe ocupar un espacio en el laboratorio de máximo 1m x 0.8m x 1.75m		d	
	Correctas dimensiones de la estructura	El perfil de la tubería cuadrada es de 1.5x1.5". Calibre 14.	D		
	Amplitud entre chasis y motor para la interacción	Espacios mínimo de 20 cms		d	
	Único diseño para un motor	Montaje de un motor de Renault Twingo	D		
FABRICACIÓN	Facilidad de ensamble	Se realiza con herramientas fáciles de utilizar y disponibles en la universidad		d	
	Construcción en el lugar de las piezas	Fabricación en las instalaciones de la universidad EAFIT		d	
	Disponibilidad de elementos de construcción en el medio	Usar componentes comerciales y estandarizados en el mercado de Colombia.	D		

Fecha: 14/03/08		Integrantes: Sebastián García Ceballos Nicolás Mejía Lotera			
Producto: Banco de Pruebas Hoja Nro.4/5		Responsable: Adalberto Gabriel Díaz			
MONTAJE Y TRANSPORTE	Sistema doble: estático y móvil	El sistema debe movilizarse sobre cuatro ruedas y anclarse en un sitio por medio de cuatro soportes.	D		
	Facilidad de transporte	Una sola persona debe de estar en la capacidad de movilizarlo.	D		
	Sistema autoportante	No se apoya en paredes ni otros estructuras diferentes	D		
	Simplicidad de la instalación	La instalación en el lugar deseado se realiza con una llave boca fija para los soportes de caucho.		d	
ENERGIA	Utiliza gasolina extra	Debe utilizar gasolina sin plomo con octanaje mínimo de 92	D		
	Suministro de energía para el arranque	Batería de carro de 12 VDC 60 A/H	D		
SEÑAL	Encendido	El sistema posee un Switch ON/OFF	D		
MATERIAL	Correcto diseño de la estructura	Debe soportar esfuerzos debido a cargas estáticas y dinámicas.	D		
	Selección apropiada de un material resistente	Material con limite de Fluencia de 3.522 Kg/cm <sup>2</sup> y Tensión 4.368 Kg/cm <sup>2</sup>	D		
CINEMATICA	Máximo aprovechamiento energético	El motor debe de estar en capacidad de girar a sus máximas revoluciones.	D		

Fecha: 14/03/08		Integrantes: Sebastián García Ceballos		
Producto: Banco de Pruebas		Nicolás Mejía Lotera		
Hoja Nro.5/5		Responsable: Adalberto Gabriel Díaz		
OPERACIÓN	Evita al máximo las vibraciones	Construir un sistema de anclaje que absorba las vibraciones		d
	Sistema de evacuación de gases de escape	Diseñar sistema para tratamiento y expulsión de gases contaminantes.	D	
	Evita al máximo altos niveles de ruido	Ubicación de silenciador en el sistema de escape		d
	Panel de instrumentos visible	Toda la instrumentación debe estar en un panel a una altura de 1,75m.		d
	Equipos de medición calibrados	Expresar los valores de las variables a medir con exactitud	D	
AMBIENTE	Su ubicación no afecta a otros estudiantes	Ubicar en laboratorio de procesamiento de plásticos.		d
	Correcta ventilación del taller	El motor debe trabajar en condiciones ambientales normales y con extractores de aire.	D	
PRECIO	Sistema económico	El sistema no debe costar mas de \$1.500.000		d

### 11.5 EVALUACIÓN ECONOMICA

Después de hacer todo un estudio técnico mecánico del proyecto, se puede realizar un completo listado de los elementos necesarios tanto para el óptimo

funcionamiento del motor como del banco de pruebas. Algunos elementos del motor son solicitados como un patrocinio o donación a una compañía aseguradora de vehículos ---Ver Cuadro 5---. Otros elementos partes y materiales, son presupuestados a la universidad, con el fin de contar con su apoyo económico y llevar a cabo el proyecto.

Otros costos de construcción involucrados en el proyecto como son los indirectos son cargados directamente a la universidad, ya que el banco se construirá en estas instalaciones, utilizando los equipos y el personal disponibles para la fabricación. Otros costos como son el transporte y los relacionados con los imprevistos, son asumidos por los estudiantes.

11.5.1 Presupuesto solicitado a la universidad. En el siguiente cuadro se muestran todos los elementos necesarios para la construcción de la estructura y todos sus aditamentos, además de algunos elementos necesarios para el funcionamiento del motor.

Cuadro 5. Presupuesto de materiales solicitado a la universidad.

ÍTEM	DESCRIPCIÓN	CANT	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
<b>MATERIALES</b>				
1	Tubería cuadrada mecánica 1.5x1.5 pulg. Calibre 14. C/tubo por 6 metros	4	46.500	186.000
2	Ruedas de 4"	4	46.000	184.000
3	Abrazaderas varias	10	1.000	10.000
4	Lamina en frió CR Calibre 18 (1.20mm) 2x1m	1	50.080	50.080
5	Kit medidores de presión aceite, temperatura agua, amperaje.	1	25.000	25.000
6	Medidor de revoluciones (Tacómetro)	1	55.000	55.000

7	Medidor temperatura de aceite digital	1	34.000	34.000
8	Medidor de voltaje	1	30.000	30.000
9	Reloj Horometro	1	40.000	40.000
10	Mangueras combustible	2	6.000	12.000
11	Manguera tanque auxiliar agua 0.5m	1	3.000	3.000
12	Manguera Flexible entrada purificador	1	13.500	13.500
13	Mangueras resortada de refrigeración 33mm x 0.87m	2	15.000	30.000
14	Filtro de combustible	1	17.000	17.000
15	Switch ON/OFF	1	13.500	13.500
16	Guaya acelerador Twingo	1	11.000	11.000
17	Guaya aceleración motocicleta	1	1.000	1.000
18	Chuspa guaya	1	1.000	1.000
19	Gasolina extra	1	20.000	20.000
20	Palanca de aceleración	1	15.000	15.000
21	¼ Galón pintura termina	1	40.000	40.000
22	Batería de 12V automóvil	1	190.000	190.000
23	Bornes batería	2	2.500	5.000
24	Cinta aislante	1	600	600
25	Tapón tanque combustible	1	1.400	1.400
26	Soportes de caucho empotramiento	4	3.500	14.000
27	Tornilleria		50.000	50.000
28	Protector de plástico resortado cables eléctricos	5	3.000	15.000
29	Pintura electroestática	1	80.000	80.000
30	Empaques Múltiple escape- mofle	2	2.000	4.000
<b>TOTAL</b>				<b>\$1.151.080</b>

11.5.2 Repuestos solicitados como patrocinio. En el cuadro 6 se puede observar los elementos y repuestos que se solicitan a una empresa aseguradora de vehículos bajo un esquema de patrocinio o donación, con el fin de poner en funcionamiento el motor. Estos elementos se muestran a continuación.

Cuadro 6. Repuestos solicitados como patrocinio

ITEM	REPUESTOS	VEHICULO
1	Alternador	Renault Twingo
2	Soportes motor tras. Der.	Renault Twingo
3	Soportes motor tras. Izq.	Renault Twingo
4	Soportes motor Del. Izq.	Renault Twingo
5	Adaptador manguera unida al termostato	Renault Twingo
6	Deposito auxiliar agua radiador	Renault Twingo
7	Motor de arranque	Renault Twingo
8	Radiador	Hyundai Accent GLS
9	Motoventilador de radiador	Hyundai Accent GLS
10	Llave codificada	Renault Twingo
11	Unidad ECU	Renault Twingo
12	Switch de encendido con sensor	Renault Twingo
13	Cajetin	Renault Twingo
14	Sensor de presión entrada de aire- MAP	Renault Twingo

## 11.6 DISEÑO CONCEPTUAL

11.6.1 Análisis de diseños conocidos. Se realiza un análisis en cuanto a la estética, funcionalidad y prestaciones de gran cantidad de bancos de ensayos que se encuentran en el medio. Los bancos de pruebas pueden ser adquiridos en el medio a un costo relativamente alto. Existen empresas y persona naturales dedicadas a la construcción de los mismos. A continuación se analizan dos equipos disponibles en el mercado internacional. La mayoría de éstos se entregan con paquetes como:



Cuadro 7. Comparativo de los bancos de ensayos disponibles en el mercado.

EQUIPO 1	EQUIPO 2
<ul style="list-style-type: none"> <li>- Motor de combustión interna</li> <li>- Dinamómetro de corriente turbulenta para variar la carga del motor</li> <li>- Ploteado de curvas características de par y potencia contra velocidad del motor</li> <li>- Control total del sistema mediante software, incluyendo ajustes de carga y de acelerador</li> <li>- Control de la carga de frenado por software en bucle cerrado, con el fin de mantener una velocidad constante del motor durante las mediciones</li> <li>- Refrigeración secundaria del agua mediante intercambiador de calor, con medición de cambios de temperatura y caudal</li> <li>- Software diagnóstico del fabricante del motor, que también muestra la sincronización del encendido y las características de la inyección</li> <li>- Medición del contenido en oxígeno de los gases de escape mediante sensor Lambda</li> <li>- Parada de emergencia remota, y posibilidad de enclavamientos de seguridad</li> <li>- Operación opcional con LPG (gas licuado de petróleo) además de</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Unidad de mando y de aplicación de carga para motores de cuatro tiempos preparados con una potencia máxima de 11kW</li> <li>- Panel de instrumentos: Panel de visualización y control</li> <li>- Bancada de prueba: alojamiento del motor y motor asíncrono como dispositivo de frenado para la aplicación de carga al motor térmico</li> <li>- Arranque del motor mediante el motor asíncrono</li> <li>- Transmisión de fuerza del motor de prueba al dispositivo de frenada a través de junta elástica</li> <li>- 2 Sistemas de medición de combustible separados</li> <li>- Depósitos de tranquilización aire de aspiración 80L</li> <li>- Potenciómetro para el ajuste sin escalas de la velocidad de giro</li> <li>- Medición y visualización de temperaturas (aceite, combustible, aire), par motor, velocidad de giro, consumo de combustible, cantidad de aire aspirado y presión de aceite</li> <li>- Visualización de las medidas del motor de prueba: temperatura de gas de escape y temperaturas del agua de refrigeración</li> </ul>

<p>nafta (gasolina)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Medición opcional de la presión del cilindro, y su ploteado en un diagrama pV</li> <li>- Opción de permitir la modificación de las características de encendido e inyección. (Equipo1@, 2004)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Software LabVIEW para la adquisición de datos a través de una conexión USB bajo Windows XP. (Equipo2@, 2007)</li> </ul>
---	--

Como se puede observar, existe una gran diversidad de elementos que pueden ser instalados en estos quipos, desde los más sencillos hasta los más complejos. Obviamente las prestaciones y la cantidad de elementos instalados en estos equipos esta en función de los costos, que se van incrementando al aumentar el numero de elementos instalados y complejidad de los mismos.

Por tal motivo el banco de pruebas que se construye en este proyecto, posee instrumentos de medición de variables relativamente sencillos y de un costo muy económico en comparación con los anteriormente mencionados.

11.6.2 Función Principal. La función principal del sistema es el permitir medir. Permitir porque se diseña toda una estructura que soporta el motor y facilita las mediciones de las variables. El medir esta relacionado con la indicación mediante instrumentos, de la información de las variables desconocidas del motor. Esto en el mismo lugar de trabajo en diferentes tiempos.

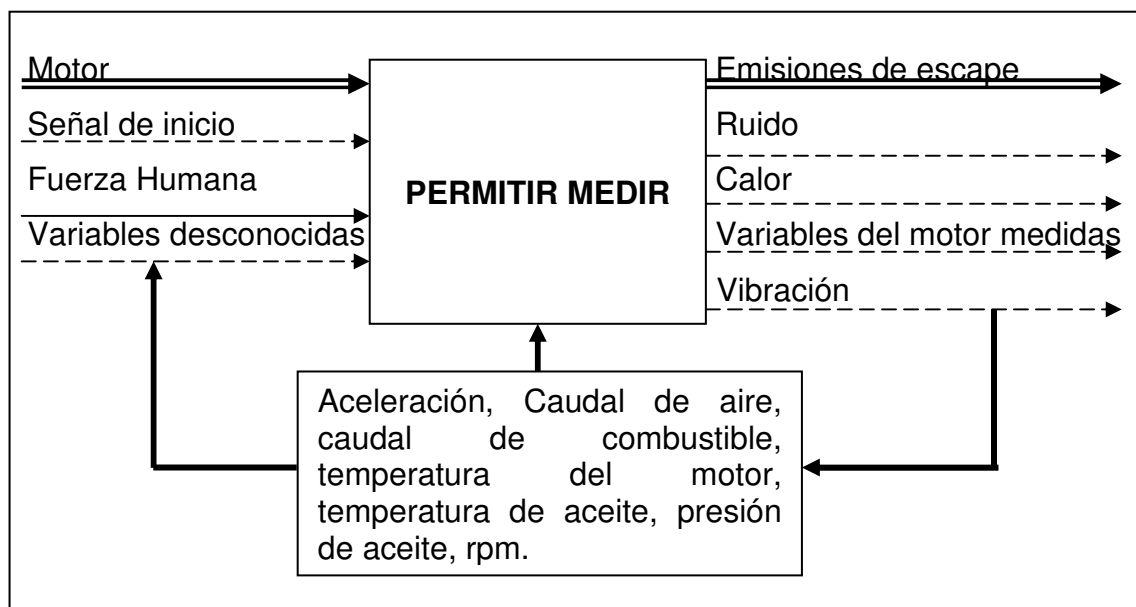
Figura 3. Función principal del sistema



Para lograr esta función es necesario la existencia de un materia, es decir el motor. Una señal de inicio que es proporcionada por el operario y una información desconocida, que en este caso son las variables a medir del motor.

11.6.3 Flujos complementarios. Se describe a continuación el sistema mediante las entradas, las salidas, las variables de retroalimentación y su función principal.

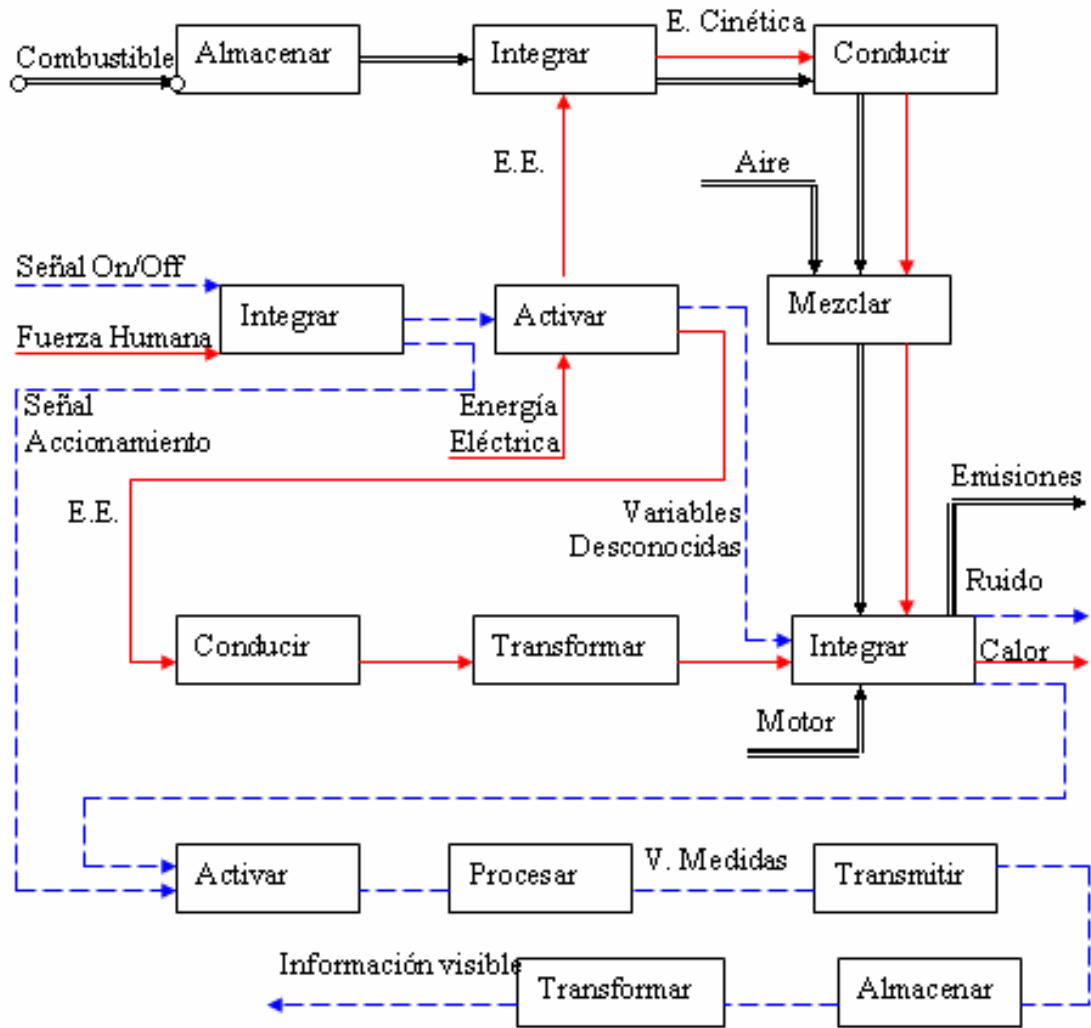
Figura 4. Flujos complementarios



- Flujo Principal: información de variables
- Salidas: ruido, emisiones de escape, calor, información, vibración.
- Entradas: señal de inicio, fuerza humana, Motor, variables desconocidas.
- Variables de retroalimentación: aceleración, temperatura del motor, voltaje, cantidad de combustible, presión de aceite, r.p.m.
- Sistema de control asociado: observaciones del usuario
- Función Principal: permitir Medir
- Tipo de sistema tecnológico: equipo

11.6.4 Estructura funcional. Se desglosan las subfunciones para las cuales hay que encontrar los principios físicos o portadores de función, que son los elementos que servirán para dar solución a cada una de estas.

Figura 5. Estructura Funcional

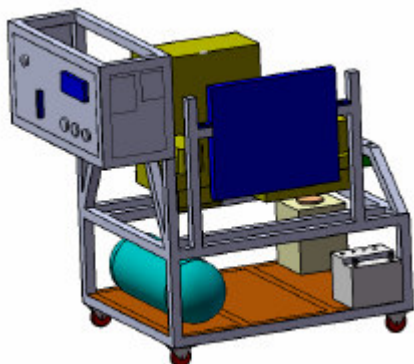


11.6.5 Selección de los materiales. La selección del material se realiza basada en los cálculos realizados mediante el software Cosmos Works, modulo del software Solid Works encargado de realizar análisis de los esfuerzos y las deformaciones en la estructura. --- Ver sección 12.2.2 ---.

Inicialmente se realiza el cálculo con el material de acero AISI-SAE 1020, por la disponibilidad en el medio y sus costos relativamente bajos. Posteriormente se realiza el análisis con este material, en función de sus propiedades físicas y mecánicas. Se verifica su resistencia a los esfuerzos que será sometido y se concluye acerca de sus valores de esfuerzos, módulos de elongación, deformaciones, entre otros. En el Anexo C se puede apreciar las propiedades y geometría del material seleccionado.

11.6.6 Selección de la alternativa de solución. Después de adquirir el suficiente conocimiento para plantear el problema y analizar alternativas de solución en el proceso de diseño, se realizan algunas modificaciones al primer modelo. Esto bajo ciertos parámetros definidos tanto en el diseño como en su operación, con el fin de obtener un excelente diseño bajo ciertas alternativas planteadas. Inicialmente se modelo un diseño preliminar, realizado en Solid Works, el cual tenía una configuración como la que se aprecia en la siguiente figura.

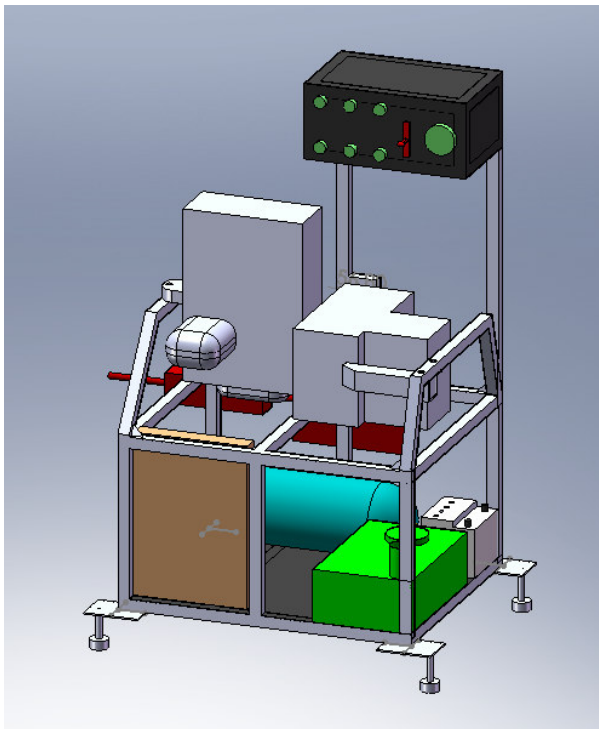
Figura 6. Modelo Preliminar



Se toma la decisión de realizar algunas modificaciones que mejoran el funcionamiento del sistema y su visibilidad. En cuanto al funcionamiento se decide ubicar el radiador con su motoventilador, en la parte inferior del marco. Esto con el fin que en un futuro, cuando sea instalado el sistema de GNV, el aire caliente proveniente de la transferencia de calor realizada entre el aire del ambiente y el agua del radiador, sea transmitido a la pipeta de gas, aumentando así su temperatura y por ende su rendimiento.

Además de esto, el panel de instrumentos es ubicado en un nuevo sitio, donde pueda ser leído con mayor facilidad a una altura de 1,75m, estatura promedio de las personas. Este panel también se ubico en la parte trasera del banco y superior a la caja de cambios. Esto con el fin de realizar las lecturas, a la vez que se observa el funcionamiento del motor.

Figura 7. Ensamble general definitivo del banco de pruebas



## 12. CALCULOS Y DIMENSIONAMIENTO

### 12.1. DEFINICIÓN DEL PROBLEMA

Para una mayor seguridad en el proceso de construcción del chasis, se desea calcular la rigidez de toda la estructura y su factor de seguridad.

### 12.2. METODOLOGÍA

12.2.1 Modelación Geométrica. Para el proceso de la modelación geométrica del chasis, se utilizó el software Solid Works 2007. Para el desarrollo del cálculo estructural se importo el modelo del chasis a una función que trae Solid Works llamada Cosmos Works que es un paquete que realiza las soluciones con elementos finitos.

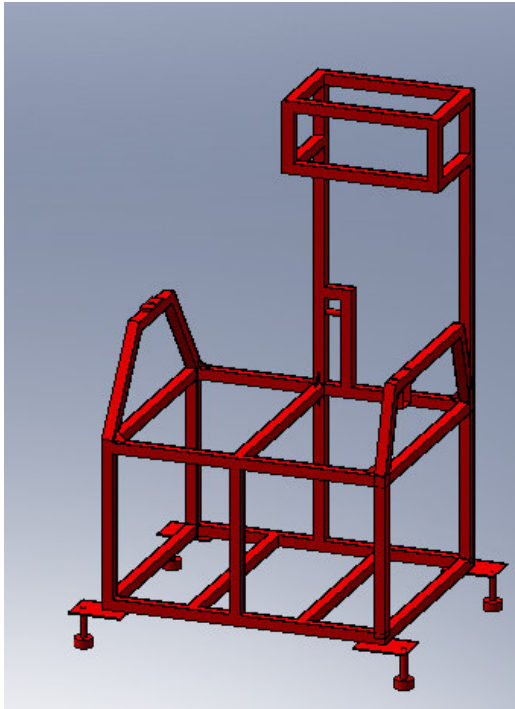
La solución de la estructura no fue tan valorada debido a las implicaciones que trae desarrollar un análisis bajo este tipo de modelación, algunas de estas implicaciones fueron:

- El paquete de elementos finitos genera el auto-mallado, el cual es graduado y definido por el usuario. Mientras más fino es el mallado de la estructura, el proceso es más complejo, lo que implica altos costos computacionales.
- Para este modelo el paquete generó 140829 nodos y 71342 elementos, lo que genera una dificultad a la hora de determinar las condiciones de frontera ya que es difícil visualizar que partes del solidó son las que están afectadas bajo las cargas.

Para la modelación geométrica con Cosmos Works se realizaron los siguientes pasos:

1. Exportar la modelación de la estructura al modulo de Cosmos Works. Para la exportación se tuvo que realizar un ensamble de piezas para poder ubicar las cargas y las restricciones

Figura 8. Detalle del chasis para el análisis



2. Selección del tipo de material a emplear en toda la estructura. El tipo de material que se le asigna al chasis es tubería cuadrada de 1.5 por 1.5 pulgadas calibre 14 AISI 1020. Se selecciona este material por su gran resistencia tanto a la tracción como a la compresión. Además es un material que tiene buenas propiedades en cuanto a ductilidad, lo cual es conveniente para este tipo de aplicación. Es decir que el material con la geometría seleccionada estará sometido a esfuerzos por fatiga. Además las vibraciones ocasionadas por el motor deben ser “absorbidas” por el material. Si se tiene un material frágil, se corre el riesgo que la estructura falle debido a los esfuerzos cíclicos a los que estará sometida.

Además de esto, factores como la disponibilidad del material en el medio y los costos favorables respecto a otros materiales, lo hacen una excelente



alternativa de selección para realizar los cálculos estructurales. A continuación se muestra en el Cuadro 8 los valores cuantitativos de las propiedades mecánicas de este material.

Cuadro 8. Propiedades del material

PROPIEDADES	VALOR	UNIDADES	TIPO DE VALOR
Módulo elástico	2,00E+11	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de Poisson	0.29	NA	Constante
Módulo cortante	7.7e+010	N/m <sup>2</sup>	Constante
Densidad	7900	kg/m <sup>3</sup>	Constante
Límite de tracción	4,21E+12	N/m <sup>2</sup>	Constante
Límite elástico	3,52E+12	N/m <sup>2</sup>	Constante
Coefficiente de dilatación térmica	1.5e-005	/Kelvin	Constante
Conductividad térmica	47	W/(m.K)	Constante
Calor específico	420	J/(kg.K)	Constante

3. Aplicación de cargas y restricciones. A continuación se realiza el proceso de definición de las cargas aplicadas al chasis, en este caso, el peso del motor. Además se define el tipo de apoyo de la estructura respecto al suelo.

- Definición de fuerzas. El peso del motor y de la caja se divide en tres soportes, que están empotrados en el chasis. El peso total del motor y la caja es de 250kg. A continuación se calcula la fuerza ejercida en cada uno de los soportes.

$$Fuerza = m * g$$

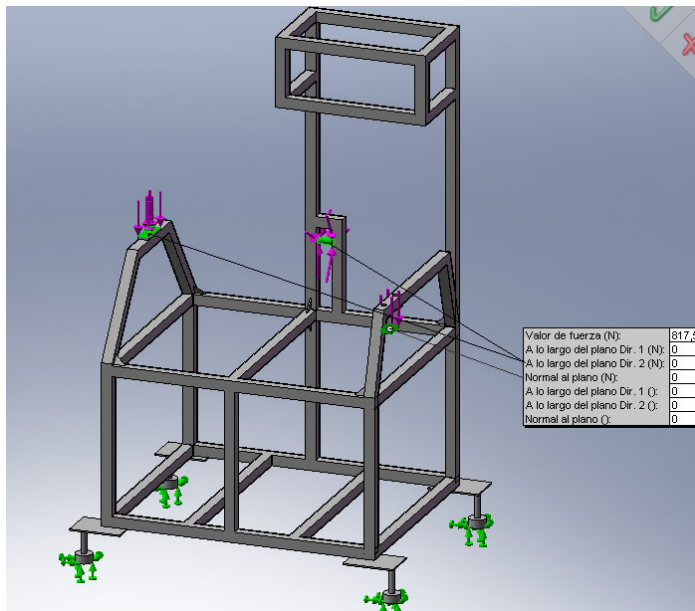
$$Fuerza = 250\text{kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = 2452.5\text{N}$$

5

$$Fuerza\_soporte = \frac{Fuerza}{3} = 817.5\text{N}$$

- Condiciones de fronteras. Los elementos restringidos en este análisis son los apoyos de los tornillos, estos apoyos se restringen en todos sus grados de libertad.

Figura 9. Condiciones de frontera para el caso estático



La imagen muestra las condiciones de contorno y de cargas aplicadas al chasis.

Se realiza el análisis simulando que en los cuatro soportes inferiores, se encuentra el sistema totalmente empotrado. Esto debido a que el sistema no se debe operar con las ruedas, sino con los soportes de caucho.

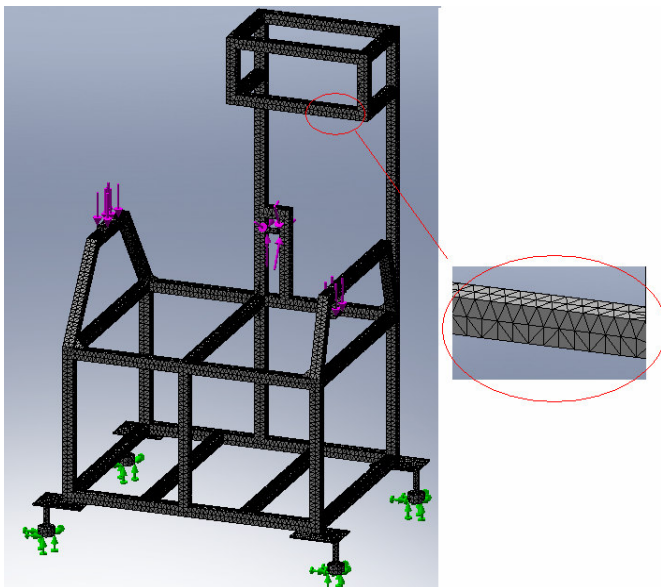
---

<sup>5</sup> Ecuación para hallar la fuerza ejercida por cada soporte en la estructura

Se asume que las cargas aplicadas están equilibradas igualmente en los tres soportes, lo cual no es totalmente cierto, ya que el torque del motor varia en función de las r.p.m. y cuando llega al máximo, las fuerzas ejercidas sobre los soportes, son de diferente magnitud. Para efectos de cálculo se asume igualdad en las tres fuerzas en función del peso del motor.

4. Mallado. El mallado es un paso crucial en el análisis de diseño. Cosmos Works permite crear una malla combinada de elementos y es generada por el programa automáticamente. La precisión de la solución depende de la calidad de la malla, cuanto más fina la precisión es mayor. Esto es la densidad de triangulación en el mallado y se hace necesaria una mayor densidad para cálculos que requieran un alto grado de precisión. En la siguiente figura se puede apreciar el aspecto y el tipo de mallado que fue utilizado en el análisis.

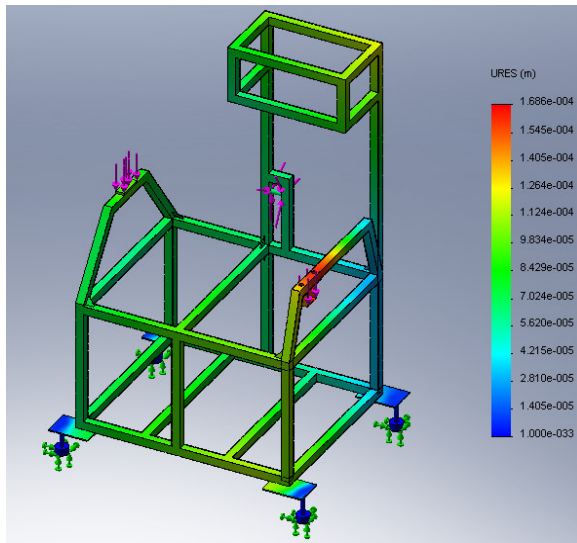
Figura 10. Detalle del enmallado del chasis.



5. Análisis estático lineal. El análisis estático lineal calcula los desplazamientos, las deformaciones unitarias, las tensiones, mostrando los valores máximos en cada nodo.

- Desplazamientos. En la Figura 11 se presenta la gráfica de la estructura deformada. La gráfica de desplazamientos se obtiene con un factor de escala cualquiera con la idea de que se puedan amplificar pequeños valores de desplazamientos. Se observa en el cuadro 9 que los valores de los desplazamientos varían entre  $(1.6860 \cdot 10^{-4}$  y  $1.00 \cdot 10^{-33}$ ).m

Figura 11. Resultados mediante mapas de color de los desplazamientos.

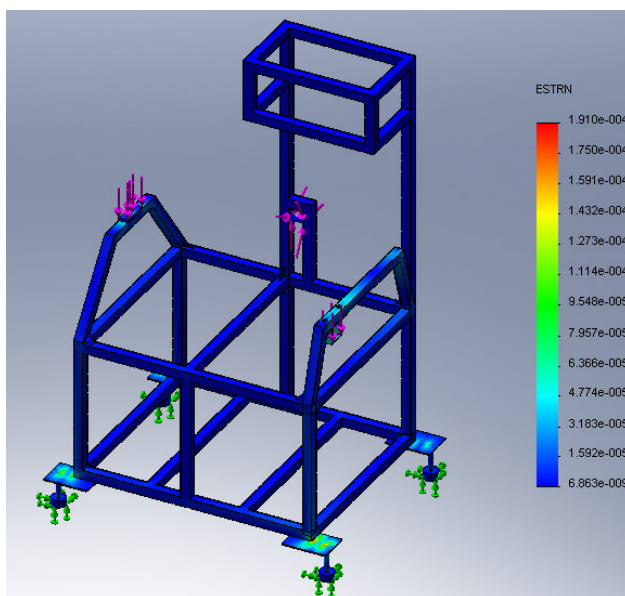


Se puede apreciar mediante la anterior figura, que los máximos desplazamientos se generan en el soporte lateral de la caja de cambios. El principal motivo de esto, es porque la longitud del elemento que soporta esta fuerza, es decir el lateral de la caja, es de mayor longitud que los demás elementos de soporte. Es decir, en éste se genera un mayor momento flector o un mayor torque debido a la longitud del elemento, generando así un mayor desplazamiento en este tramo.

A pesar de estos desplazamientos, la estructura no se vera afectada por los mismos, ya que se utilizo un material resistente y dúctil que soporta esta clase de desplazamientos. Además de esto las dimensiones y geometría seleccionada esta sobre los niveles de resistencia otorgando así un factor de seguridad que indica el grado de resistencia de la estructura.

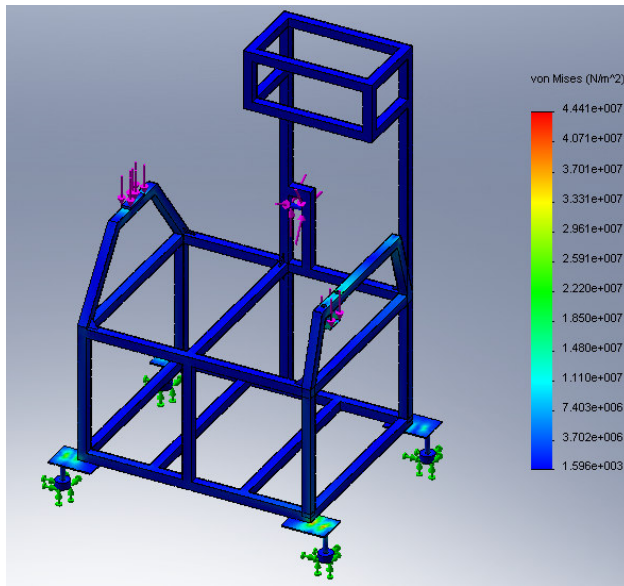
- Deformaciones unitarias. Las deformaciones unitarias en cualquier punto del modelo se pueden ver en forma gráfica. En la Figura 12 se presenta gráficamente el resultado de las deformaciones normales al interior de cada elemento. Una tabla de colores correspondiente a diferentes valores de intensidad acompaña la gráfica. Se observa en el cuadro 9 que los valores de la deformación unitaria varían entre ( $1.9100 \times 10^{-4}$  y  $6.863 \times 10^{-9}$ ).

Figura 12. Resultado mediante los mapas de color de las deformaciones unitarias.



- Resistencia de la estructura. Se aplica al sistema una carga de 250 Kg., peso del motor y demás componentes. Este análisis se realiza con las dimensiones de la estructura y el material que se utiliza, es decir un acero al carbono SAE 1020 y una tubería mecánica de perfil cuadrado de dimensiones 1.5 x 1.5" calibre 14. Los resultados de los esfuerzos de Von Mises se ilustran a continuación:

Figura 13. Resultado tensiones de Von Mises por colores sobre el chasis



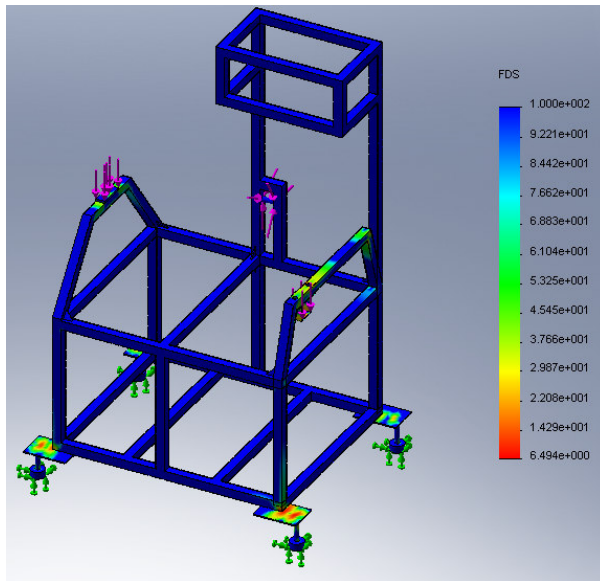
El resultado de las tensiones de Von Mises representa cuando la estructura empieza a ser flexible en un punto; cuando la tensión alcanza el límite elástico del material ver Figura 13. Se observa en el Cuadro 9 que los valores de los desplazamientos varían entre  $(4.441 \times 10^7$  y  $1.596 \times 10^3)$   $\text{Nm}^2$

Cuadro 9. Resultados máximos y mínimos de las tensiones, desplazamientos y deformaciones unitarias

Nombre	Tipo	Mín.	Ubicación	Máx.	Ubicación
Tensiones	VON: Tensión de Von Mises	1596.01 N/m <sup>2</sup>	(-89.2606 mm,	4.44084e+007 N/m <sup>2</sup>	(421.904 mm,
		Nodo: 50164	824.903 mm,	Nodo: 120188	-810.097 mm,
			-258.305 mm)		404.05 mm)
Desplazamientos	URES: Desplazamie ntos resultantes	0 m	(513.835 mm,	0.000168587 m	(423.804 mm,
		Nodo: 126481	-946.047 mm,	Nodo: 107	-52.2467 mm,
			394.502 mm)		204.105 mm)
Deformaciones unitarias	ESTRN: Deformación unitaria equivalente	6,67E-04	(-89.7356 mm,	0.000155264	(418.154 mm,
		Elemento: 27482	824.428 mm,	Elemento: 12327	-807.953 mm,
			-254.349 mm)		404.05 mm)

6. Factor de seguridad. La siguiente imagen muestra a través de un mapa de colores, directamente sobre el modelo, cómo se reparte del Factor de Seguridad frente a las tensiones de Von Mises en el Diseño.

Figura 14. Factor de seguridad aplicado en los esfuerzos de Von Mises



Cosmos Works utiliza la tensión máxima de Von Mises para calcular la distribución del Factor de seguridad. Este criterio manifiesta que un material dúctil empieza a ser flexible cuando la tensión equivalente (Tensión de Von Mises) alcanza el límite elástico del material.

$$\frac{\sigma_{vonMises}}{\sigma_{Limit}} \triangleq 1 \quad 6$$

$$\frac{5.414 + 007 \frac{N}{m^2}}{3.51571e + 008 \frac{N}{m^2}} = 6.5$$

De acuerdo con el criterio de fallo Von Mises, el factor de seguridad mínimo del modelo es 6.5, lo que significa que podemos multiplicar las cargas aplicadas por dicho factor para alcanzar el límite elástico del material elegido Acero 1020.

---

<sup>6</sup> Ecuación para hallar el factor de seguridad



12.2.2 Interpretación de los valores del factor de seguridad. Como su nombre lo indica, el factor de seguridad es un número que al multiplicarse por un valor altera esta variable en forma creciente o decreciente. Esto se explica a continuación.

- Un factor de seguridad inferior a 1,0 en una ubicación significa que el material de esa ubicación ha cedido y que el diseño no es seguro.
- Un factor de seguridad de 1,0 en una ubicación significa que el material de esa ubicación ha empezado a ceder.
- Un factor de seguridad superior a 1,0 en una ubicación significa que el material de esa ubicación no ha cedido.
- El material de esa ubicación empezará a ceder si aplica nuevas cargas iguales a las actuales multiplicadas por factor de seguridad resultante.

## 13. FICHA TÉCNICA

### 13.1 BANCO DE ENSAYOS DE MOTOR 4 TIEMPOS D7F 700 Y CAJA DE CAMBIOS JB1

El equipo autónomo de pruebas, consta de un motor a gasolina de Renault Twingo D7F 700 que permite a los estudiantes de diversas áreas de la ingeniería, investigar una serie de características de rendimiento y operación del motor. Además posee una caja de cambios JB1 de cinco velocidades original de este motor.

La unidad esta diseñada para realizar mediciones de diferentes variables relacionadas con el funcionamiento y el desempeño del motor. Este sistema se suministra con un panel de instrumentos los cuales permiten la medición de dichas variables.

### 13.2 CARACTERISTICAS DESTACADAS

- Motor tipo automóvil de cuatro cilindros
- Caja de 5 velocidades.
- Refrigeración del agua del motor mediante intercambiador de calor
- Medición de la temperatura del aceite del motor con reloj digital
- Medición del voltaje de la batería con reloj análogo
- Medición del amperaje entregado por la batería con reloj análogo
- Medición de la presión del aceite del motor con reloj análogo
- Medición de las revoluciones por minuto del motor con reloj análogo
- Medición de la temperatura del motor con reloj análogo
- Reloj horometro análogo que indica el tiempo de operación del motor
- Enclavamientos de seguridad
- Sistema de ruedas para su transporte
- Espacio para montar una pipeta de gas natural vehicular y otros elementos

- Palanca de aceleración manual.
- Sistema de escape de gases con silenciador y catalizador.
- Switch de encendido ON / OFF con llave computarizada.
- Opción de implantar un dinamómetro y su sistema de software para medición de curvas de rendimiento.
- Opción de instalación de un freno en la caja de cambios.

### 13.3 DESCRIPCION DEL EQUIPO

El banco de pruebas D7F B700 es un sistema autónomo integrado de un motor multicilíndrico con su instrumentación. Está basado en un motor de automóvil de cuatro cilindros, de 1.2 litros, como el utilizado en el automóvil Renault Twingo. Este motor es de diseño moderno, con administración electrónica de los ajustes de encendido e inyección de combustible del motor.

El sistema completo es suministrado con una amplia gama de instrumentos, que incluye tanto relojes análogos como digitales de gran precisión. Entre otros se incluye el reloj de medición de r.p.m., el cual sería de gran utilidad a la hora de implementar un dinamómetro, para la medición del torque y la potencia en función de la variable mencionada. Además de esto un panel de instrumentación para la medición de diversas temperaturas, presiones, corrientes y otras (Ver Especificación Técnica).

El sistema completo está diseñado para que sea conectado a una computadora e implementar un software como LabView, lo cual permitiría la monitorización en tiempo real de los diferentes sensores instalados en el motor, con una amplia serie de opciones de registro de datos y visualización gráfica. El acelerador se controla manualmente, mediante una palanca de aceleración, la cual aumenta o disminuye el paso de aire y por ende de combustible. Para aquellos usuarios y estudiantes que deseen implementar un software de control y monitorización, lo pueden ejecutar con paquetes tales como LabView y Matlab.

Posee un circuito cerrado de refrigeración del motor, el cual incorpora en su sistema de intercambio de calor, un radiador con un motoventilador que gira constantemente al ser encendido el motor.

Se incorpora en el sistema una caja de cambios mecánica de cinco velocidades. Cuando sea diseñado e instalado el freno, se debe tener en cuenta el eje de salida para contrarrestar el torque. También para que se realicen los estudios de rendimiento del motor mediante software computacionales en función de las diversas velocidades del vehículo.

La salida de los gases de combustión es por medio del múltiple de escape que va al silenciador. Este disminuye los niveles de ruido del motor ocasionados por la combustión. Posteriormente, éste se conecta por medio de un tubo al catalizador, elemento encargado de disminuir en un alto porcentaje, las emisiones contaminantes de los gases combustionados.

#### 13.4 CARACTERISTICAS TECNICAS MOTOR

En el siguiente cuadro se indican todas las características relacionadas con la operación, rendimiento y especificaciones técnicas del motor.

Cuadro 10. Características técnicas del motor D7F

CARACTERÍSTICAS, PRESTACIONES Y CONSUMOS	
	
Motor	D7F B700

Combustible	Gasolina extra
Numero de Cilindros	4 en línea
Material del bloque / culata	Hierro fundido / aluminio
Cilindrada	1149 c.c.
Válvulas	8
Relación de compresión	9.65/1
Diámetro x Carrera (mm)	69 x 76.8
Distribución	2 válvulas por cilindro. Un árbol de levas en la culata.
Situación	Delantero transversal
Aceleración 0-60mph - 0-100km/h	13.4 sec (Easy:14,4 Matic:16,4)
1/4 Mile – 400m	18.8 sec (Easy:19,8 Matic:20,5)
Velocidad Máxima	94mph – 150km/h
Potencia máxima CV – kW / rpm	58 - 43 @ 5250 rpm
Torque máximo	93Nm-2500 rpm
Bujías Separación	Utilizar solo bujías especificadas para este motor.
Régimen de ralenti (r.p.m.)	No regulable
Orden de encendido (o de inyección)	1 – 3 – 4 – 2
Alimentación	Inyección Indirecta Secuencial Multipunto
Tipo de combustible	Extra sin plomo
Índice de octano	95 o 98 <sup>7</sup>
Transmisión	Front WD – 5 sp. Manual
Consumo extraurbano 55mph - 90km/h	49 mpg - 4,8 l/100km
Consumo urbano	36 mpg - 6,5 l/100km
Consumo medio	6 l/100km

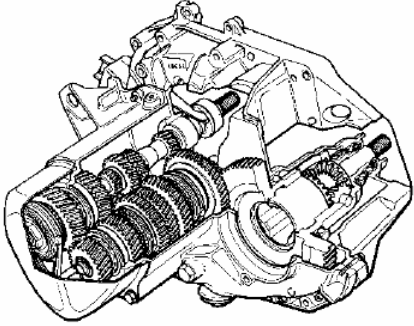
---

<sup>7</sup> Posibilidad de utilizar, en su defecto, combustible sin plomo con índice de octano 92.

### 13.5 CARACTERISTICAS TECNICAS CAJA DE CAMBIOS

En el siguiente cuadro, se puede apreciar las características técnicas relacionadas con la caja de cambios que se instalo en el motor y se monto en el banco de pruebas.

Cuadro 11. Características y relaciones de la caja JB1

RELACIONES Y CARACTERISTICAS	
	
Identificación de la caja	
Tipo de la caja	JB1
Índice de la caja	851
Numero de fabricación	3743
Fabrica de origen	B
Relaciones	
1	$\frac{11}{3}$
2	$\frac{22}{41}$
3	$\frac{28}{37}$
4	$\frac{30}{29}$
5	$\frac{41}{31}$

Marcha AR	$\frac{11}{39}$ 26
Modificación realizada al alargamiento del dentado de la 5ta velocidad	
Piñón Fijo	27
Piñón Loco	34
Capacidades de aceite y pares	
Capacidad en litros	3,40
Par taquímetro	$\frac{21}{20}$
Par cilíndrico	$\frac{15}{56}$

### 13.6 INSTRUMENTACIÓN

Tacómetro – Medidor de revoluciones por minuto

Reloj Horometro

Reloj temperatura del aceite

Reloj de temperatura del motor

Voltaje de la batería

Amperaje de la batería

Indicador de presión de aceite del motor

### 13.7 ELEMENTOS ADICIONALES

Silenciador

Catalizador

Tanque de combustible con bomba sumergida

Batería de 12 voltios

Radiador con motoventilador

### 13.8 ACCESORIOS OPCIONALES QUE PUEDEN SER INSTALADOS POSTERIORMENTE

El banco de pruebas D7F B700 viene acondicionado con los elementos mencionados previamente, aunque se pueden realizar modificaciones y agregar nuevos elementos que contribuyan a otros estudios del funcionamiento del motor y la caja. Los estudiantes pueden producir sus propios mapas característicos y comparar el rendimiento del motor con los datos del fabricante. Se mencionan a continuación algunos sistemas y accesorios que pueden ser implementados.

- Freno mecánico o hidráulico
- Dinamómetro
- Sistema de control mediante un software computacional
- Indicadores de la operación del motor
- Sistema de combustible GNV (Gas Natural Vehicular)
- Control de ignición e inyección
- Medición de gases de escape
- Implementación de técnicas predictivas de mantenimiento

### 13.9 INSTALACIONES REQUERIDAS

El banco de ensayos D7F B700 debe instalarse en una zona bien ventilada con sistema de extracción de gases de escape. Se debe ubicar en un lugar amplio para la facilidad de operación, manipulación y visualización tanto de los docentes como de los estudiantes.

La unidad se suministra con ruedas para facilitar su desplazamiento y éstas pueden quedar inhabilitadas al ser el sistema empotrado en el suelo mediante cuatro soportes de goma unidos a la platina de las ruedas mediante un tornillo autoajustable, el cual se gradúa dependiendo del grado de inclinación que se



deseo. Por lo tanto se aconseja operar el equipo en piso liso y sin ángulo de inclinación.

Todo el sistema es controlado manualmente, es decir no interviene ningún software para la manipulación del sistema en lugares externos y alejados del sistema. El motor opera con un computador original de fabrica, donde se regulan gran cantidad de variables automáticamente y relacionadas directamente con el funcionamiento del motor. El operario debe de inspeccionar constantemente las variables marcadas en el panel de instrumentos y decidir en que momento apagar el motor mediante el interruptor principal de encendido/apagado. Esta labor no es controlada por el computador del motor. Además de esto debe verificar cuando apague el motor que el switch de encendido este en la posición inicial de apagado, de lo contrario se corre el riesgo de descargar la batería.

#### 13.10 PESO Y DIMENSIONES

Altura Total:	170 cm.
Anchura:	97.8 cm.
Profundidad:	80 cm.
Volumen:	1.33 m <sup>3</sup> .
Peso Bruto:	275 Kg.

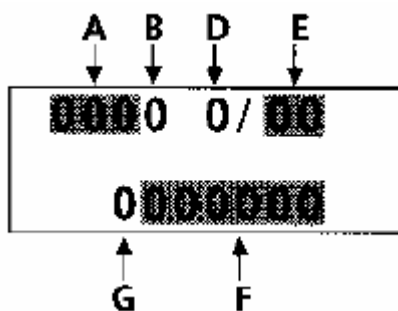
## 14. MANTENIMIENTO

En este apartado se hace referencia a algunos consejos prácticos, especificaciones, actividades básicas y rutinas de mantenimiento tanto del motor como de la caja, que se debe de realizar al motor, con el fin de mantenerlo en optimas condiciones prolongando así su vida útil.

### 14.1 IDENTIFICACIÓN DEL MOTOR

Inicialmente se debe identificar el tipo de motor que se esta tratando, con el fin de identificar los repuestos y realizar mantenimientos adecuados. Se hace mediante grabado sobre el bloque del motor o por una placa remachada como se muestra a continuación:

Figura 15. Placa de identificación del motor



(Manual1@, 2007)

La placa de identificación contiene unas letras para realizar la respectiva identificación del motor, las cuales se explican a continuación.

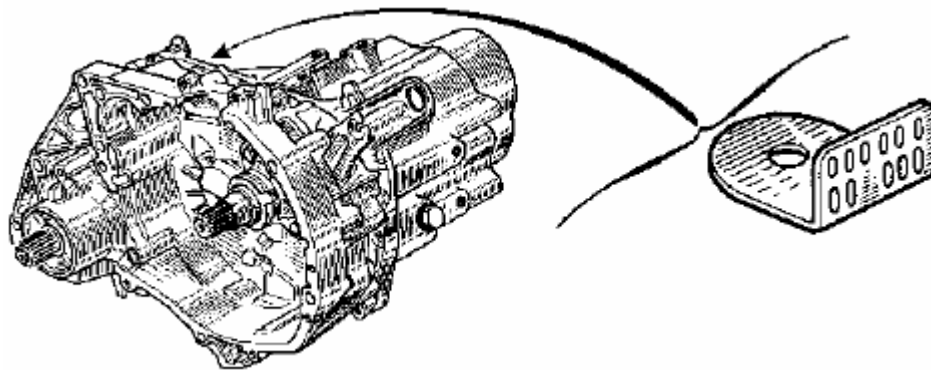
Cuadro 12. Contenido de la placa de identificación del motor

A	B	D	E	F	G
Tipo de motor	Letra de homologación del motor	Identificación de Renault S.A.	El índice del motor	Numero de fabricación del motor	Fabrica de montaje del motor

## 14.2 IDENTIFICACION DE LA CAJA DE CAMBIOS

Antes de iniciar con cualquier mantenimiento o reparación, se debe identificar plenamente la caja de cambios mediante la ubicación de una placa ubicada en el lugar que se ilustra en la siguiente figura.

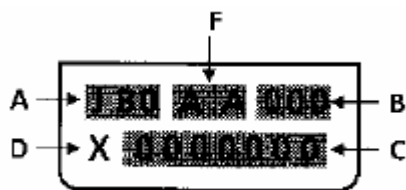
Figura 16. Ubicación de la placa de identificación de la caja



(Manual2@, 2007)

La placa de identificación contiene las siguientes especificaciones que se explican a continuación.

Figura 17. Placa de identificación de la caja



(Manula2@, 2007)

Cuadro 13. Contenido de la placa de identificación de caja de cambios

A	B	C	D	F
El tipo de la caja	El índice de la caja	El numero de fabricación	La fabrica de origen	La letra de homologación

La caja de cambios instalada actualmente en el motor es tipo JB1 con el número de índice 951, letra de la fábrica de origen B y el número de fabricación 3743.

### 14.3 PARTICULARIDADES DE FUNCIONAMIENTO

Se debe seguir entre otras las siguientes recomendaciones para la utilización del sistema:

- No se debe utilizar el motor con un nivel mínimo de gasolina. Estaría en riesgo de succionar las impurezas y sedimentos en el fondo del tanque de combustible.
- No se debe utilizar gasolina con plomo
- Verificar el estado del anclaje de la estructura al suelo. Debe quedar totalmente estática.
- Verifique antes de iniciar el motor todos los niveles especificados en la tabla de mantenimiento.
- El sistema debe ser operado por personal autorizado y capacitado.

Las anomalías de funcionamiento tales como el encendido defectuoso, agotado de gasolina o bujía desconectada, se traducen por fallos del encendido y tirones en el curso del funcionamiento. Además de la pérdida de potencia, estas provocan un calentamiento excesivo del catalizador y debido a ello, una disminución de su eficiencia, llegando incluso a ocasionar su destrucción. Si constata las anomalías de funcionamiento anteriores, reporte inmediatamente al personal encargado del sistema para efectuar las respectivas correcciones.

Precaución: Al lavar el motor, proteger la correa de distribución y el alternador, con fin de evitar la proyección de agua y de productos de limpieza sobre ellos.

Siguiendo las instrucciones y periodicidades de mantenimiento en esta sección, evitara estos incidentes.

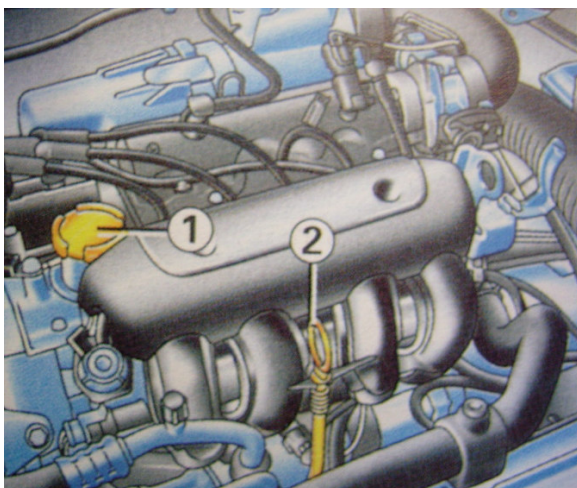
Precaución: No haga funcionar el motor en un lugar sin ventilación: los gases de escape son tóxicos.

#### 14.4 FILTRO Y ACEITE DEL MOTOR

14.4.1 Medición del nivel y cambio del aceite de motor. Un motor consume normalmente aceite para el engrase y la refrigeración de las piezas en movimiento y llega a ser necesario añadir aceite entre los cambios. No obstante si tras el periodo de funcionamiento las aportaciones fueran superiores a 1 litro cada 300 horas, indíquelo a la persona encargada del laboratorio. Verificar que no haya fuga exterior de aceite motor

Para hacer valida la lectura de la medición del nivel de aceite, ésta se debe hacer sobre un suelo horizontal y después de una parada prolongada del motor.

Figura 18. Llenado del motor con aceite



(Renault, 2007)

Revise el nivel de aceite en el motor mediante la varilla 2. Posterior a esta revisión, determine la cantidad necesaria de aceite a introducir en el motor.

Desenrosque el tapón 1, restablezca el nivel con aceite para motor SAE 15W40 o 20W50.

Cuando realice el cambio de aceite del motor debe tener en cuenta que la capacidad media del cambio de aceite del motor es de 4.5 lt o 4.7 cuartos de galón US.

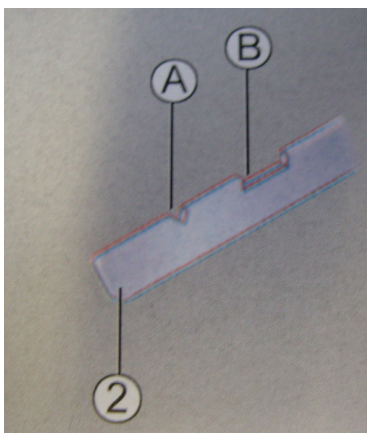
Para un control eficaz, es necesario respetar ciertas condiciones para cambiar el aceite motor:

- El motor debe estar caliente
- Retirar la varilla de aceite y el tapón de llenado

Vaciar a continuación el motor y dejar escurrir durante 15 minutos como mínimo. No olvide colocar el tapón de llenado y el de vaciado.

Nuevamente, verifique el nivel mediante la varilla 2: No sobrepasar la marca en "maxi" B. El motor no debe ser encendido cuando el aceite esta por debajo de la marca "min" A.

Figura 19. Lectura nivel con la varilla



(Renault, 2007)

14.4.2 Filtro de aceite. El filtro de aceite debe ser sustituido simultáneamente con el cambio de aceite. --- Ver Cuadro 14---

Cuando el filtro de aceite sea desmontado, verifique mediante una inspección visual y al tacto los sedimentos y contaminantes en el interior del filtro y diagnosticar inmediatamente en función del tamaño de los contaminantes, el estado interno del motor.

## 14.5 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

14.5.1 Nivel del líquido refrigerante. Cuando el motor no ha sido encendido es decir, cuando está frío, el nivel de líquido refrigerante debe situarse entre las marcas mini y maxi indicadas en el vaso de expansión 1 ilustrado en la figura 20.

Figura 20. Nivel de líquido refrigerante



(Renault, 2007)

Precaución: No debe realizarse ninguna intervención sobre el circuito de refrigeración cuando el motor esté caliente o en funcionamiento. Existe el riesgo de quemaduras.

Complete este nivel en frío, antes que llegue a la marca mini. Capacidades medias de cambio: 5 litros

Precaución: En las intervenciones realizadas al motor, el motoventilador puede ponerse en marcha en cualquier momento.

El motor esta equipado con un motoventilador eléctrico. El ventilador esta mandando eléctricamente y gira cuando es necesario para mantener estable la temperatura del liquido de refrigeración.

Precaución. Tras cualquier intervención en el vehiculo que haya precisado el vaciado, incluso parcial, del circuito de refrigeración, deberá rellenarse este ultimo con una nueva mezcla, convenientemente dosificada. Adicione liquido refrigerante cuando el motor esta frío, riesgo de quemaduras.

14.5.2 Qué hacer cuando se recalienta el motor. Si el medidor de temperatura supera los niveles de funcionamiento estándar mientras se opera el motor, deténgase y deje girar el motor sin acelerarlo uno o dos minutos. La aguja debe descender. Si no lo hace, apague el motor y verifique el nivel del líquido refrigerante. Llame a su taller inmediatamente. (Refigeracion@,2006)

- Deje enfriar el motor al menos 15 minutos.
- No destape el radiador, ni el vaso de expansión hasta que el motor se enfríe, puede quemarse. Además en sistemas sellados, tipo Renault, el sistema se llena de aire y esto ocasiona problemas de funcionamiento. (Refigeracion@,2006)

## 14.6 ACEITE CAJA MECANICA

14.6.1 Nivel de aceite caja mecánica. Debe ser sustituido periódicamente con aceite para caja de velocidades mecánica SAE 75W80. Revisar el Cuadro 14 de frecuencias de mantenimiento.



14.7 BATERIA. La batería es marca ESBIC, con garantía de un año que se cuenta a partir de la fecha. Para prolongar la vida de la batería, tenga en cuenta las siguientes recomendaciones.

14.7.1 Nivel agua de la batería. Quite los tapones 1 y agregue agua destilada o desmineralizada hasta 1,5 cms por encima de las placas. No añada nunca electrolito y otros productos similares, diferentes a agua desmineralizada.

Figura 21. Tapones de la batería



(Renault, 2007)

Precaución: Maneje la batería con precaución, ya que contiene ácido sulfúrico que no debe entrar en contacto con los ojos o con la piel. Si esto ocurriese, lave con agua abundante.

En caso de incidente: Aislé la batería aflojando uno de los bornes.

- Asegúrese de que los “consumidores” estén cortados antes de desconectar o conectar una batería
- Durante la carga, apague el cargador antes de conectar o desconectar la batería.
- No deposite objetos metálicos sobre la batería para no crear corto circuito entre los bornes.

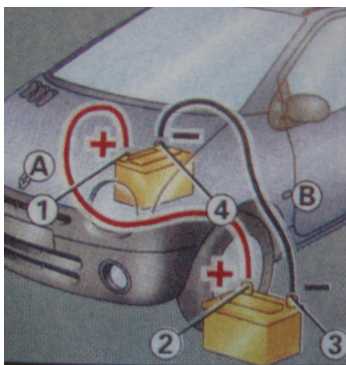
La batería debe mantenerse siempre limpia y seca los bornes y abrazaderas de empalme deben limpiarse y untarse con grasa antiácido. Haga controlar a menudo la capacidad de carga de la batería:

- Cuando la temperatura exterior disminuye es normal que la capacidad de carga descienda.
- En caso de consumo anormal de electrolito, debe revisarse el estado de la batería.

14.7.2 Iniciación del motor con otra batería. Para arrancar, si tiene la necesidad de tomar la energía de otra batería, proceda como se indica:

- Obtenga unos cables eléctricos apropiados (de buena sección) y asegúrese que estén en buen estado.
- Las dos baterías deben tener una tensión nominal idéntica: 12 voltios. La capacidad de la batería que vaya a suministrar la energía deber (en amperios/hora, A/h), al menos idéntica a la batería descargada.

Figura 22. Arranque con otra batería



(Renault, 2007)

Fije el cable positivo (+) A sobre el borne (+) 1 de la batería descargada, después sobre el borne (+) 2 de la batería que suministra la corriente.

Fije el cable negativo (-) 3 de la batería que suministra la corriente, después sobre el borne (-) 4 de la batería descargada.

Verifique que no exista ningún contacto entre los cables A y B y que el cable A (+) no toque ningún elemento metálico de la batería que suministra la corriente.

Arranque el motor de la forma habitual. Una vez en marcha, desconecte los cables A y B en orden inverso (4-3-2-1)

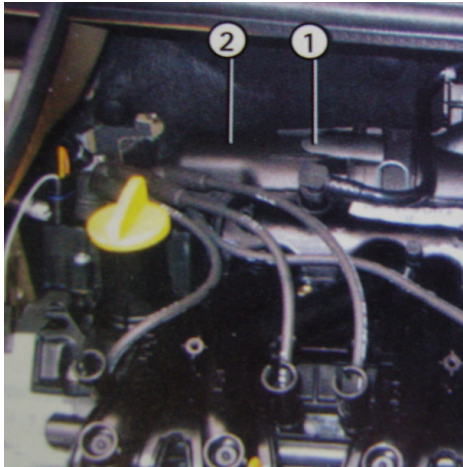
## 14.8 FILTRO DE AIRE

El filtro de aire es un elemento ubicado en el conducto de entrada de aire del motor. Su función principal es filtrar el aire que entra al motor y así evitar fallas internas debido a los sólidos del medio y sus alrededores.

14.8.1 Cambio del filtro de aire. Para sacar el elemento filtrante realice los siguientes pasos

- Suelte la lengüeta 1 y después gire ligeramente la tapa 2 en el sentido inverso a las manecillas del reloj.
- Coloque la tapa encima del motor sin tratar de sacarla del compartimiento del motor.
- Sustituya el elemento filtrante y después monte la tapa.

Figura 23. Sustitución del elemento filtrante



(Renault, 2007)

#### 14.9 FUSIBLES

Si algunos de los aparatos eléctricos no funcionara, empiece por comprobar los fusibles. Asegúrese de que las fichas de empalme del aparato afectado están correctamente conectadas. En caso de corto circuito afloje un borne de la batería para aislarla.

Verifique el fusible averiado y cámbielo si es necesario, imperativamente por otro del mismo amperaje que el del origen (es decir un fusible del mismo color y amperaje que le corresponde según el plano).

Nota: Mantenga fusibles de repuesto.

#### 14.10 RUTINAS DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO

A continuación en Cuadro 14 se muestran las rutinas de mantenimiento preventivo. En estas se puede observar el instructivo de actividades a realizar al motor en función del tiempo. Además se incluye en función de estas mismas actividades una lista de chequeo que debe ser verificada por el mismo personal que realiza el mantenimiento. Se incluye además de esto la fecha de

realización, el encargado de su mantenimiento y anotaciones extras que tenga que realizar al respecto.

Cuadro 14. Rutinas de mantenimiento para el motor de Twingo

RUTINAS MANTENIMIENTO MOTOR RENAULT TWINGO D7F 700	BUENO	REGULAR	MALO	FUGAS	DRENAR	CAMBIAR	INSPECCIONAR	LIMPIAR	TENSIONAR	CALIBRAR	COMPLETAR	Fecha:
												Realizo:
NOTAS												
<b>RUTINA 0: Preventivo Diario</b>												
Aceite del motor							X					
Nivel de combustible							X					
Líquido refrigerante radiador y vaso expansión							X					
Revisión general							X					
<b>RUTINA 1: Preventivo cada 150 Horas</b>												
Aceite de motor						X						
Filtro de aceite						X						
Líquido refrigerante											X	
Agua de batería											X	
Tuberías y mangueras aceite							X					
Fugas de aire y aceite							X					
Velocidad de marcha mínima							X					
Tuberías y mangueras refrigeración							X					
Filtro de aire							X	X				
Sistema admisión y escape							X					
<b>RUTINA 2: Preventivo cada 300 Horas</b>												
<b>REALIZAR RUTINA 1</b>												
Filtro de combustible						X						
Aceites de caja y diferencial											X	

RUTINA 3: Preventivo cada 600 Horas											
REALIZAR RUTINA 2											
Filtro de aire						X					
Bujías y cables de alta							X				
RUTINA 4: Preventivo cada 1200 Horas											
REALIZAR RUTINA 3											
Aceite de caja						X					
Correas alternador						X					
Líquido refrigerante						X					
Sistema de refrigeración					X						
Panal del radiador								X			
Bujías y cables de alta						X					
RUTINA 5: Preventivo cada 3000 Horas											
REALIZAR RUTINA 4											
Asientos de válvulas										X	
Correa de distribución						X					
Arranque y alternador							X				

#### 14.11 DIAGNOSTICO DE FALLAS

En el siguiente cuadro se muestra una lista de consejos prácticos de lo que se debe hacer cuando se enfrenta con algunos problemas en el motor y las causas que los ocasionan.

Cuadro 15. Troubleshooting

ANOMALIAS DE FUNCIONAMIENTO		
Si al accionar el motor de arranque	Causas	Que hacer
No hay reacción alguna: el motor de arranque no gira	Cable eléctrico de la batería, desconectado u oxidación de los terminales y de los bornes. Batería descargada Batería fuera de uso	Compruebe el contacto de los terminales: ráspelos y límpielos si están oxidados y reapriételes Conecte la batería descargada con otra batería Sustituya la batería
El motor de arranque gira muy lentamente	Terminales de batería mal apretados Bornes de batería oxidados Batería descargada	Controle el contacto de los terminales: ráspelos y límpielos si están oxidados y reapriételes
El motor arranca difícilmente en tiempo húmedo o después de lavarlo	Encendido defectuoso: húmeda en el sistema de encendido	Conecte la batería descargada con otra batería
El motor arranca difícilmente en caliente	Carburación defectuosa (burbujas de gas en el circuito) Falta de compresión	Seque los cables de bujía y de la bobina. Deje enfriar el motor. Consulte con la red Renault

<p>El motor “da explosiones”, pero no arranca, o arranca con dificultad en frío</p>	<p>Proceso de arranque inadecuado</p> <p>Alimentación incorrecta de combustible o encendido defectuoso</p>	<p>Abrir el switch por 5 segundos y después poner en marcha el motor</p> <p>En caso de no arrancar, no insista.</p>
<p>Burbujas en el recipiente de agua</p>	<p>Avería mecánica: Junta de culata quemada, bomba de agua defectuosa</p> <p>Motoventilador averiado</p>	<p>Detenga el motor.</p> <p>Acuda a la red Renault</p> <p>Compruebe el fusible correspondiente</p>
<p>En carretera</p>	<p>Causas</p>	<p>Que hacer</p>
<p>Humo blanco anormal en el escape.</p> <p>Humo en el motor</p>	<p>Avería mecánica: Junta de culata quemada</p> <p>Cortocircuito</p> <p>Conducto del circuito de refrigeración defectuosos</p>	<p>Pare el motor.</p> <p>Acuda a la red Renault</p> <p>Pare el motor, corte el contacto y desconecte la batería.</p> <p>Acuda a la red Renault</p>
<p>Medidor de presión bajo:</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Al ralentí</li> <li>- Permanece en un bajo nivel al acelerar</li> </ul>	<p>El nivel esta demasiado bajo</p> <p>Baja presión de aceite</p> <p>Falta de presión de aceite</p>	<p>Añada aceite</p> <p>Acuda con su red Renault mas próxima</p> <p>Apague el motor y llame a su red Renault</p>



<p>El motor parece faltarle potencia</p>	<p>Filtro de aire sucio</p> <p>Alimentación incorrecta de combustible</p> <p>Bujías defectuosas, mal acceso</p>	<p>Cambie el cartucho</p> <p>Verifique el nivel de combustible</p> <p>Acuda a la red Renault</p>
<p>Al ralentí es inestable o el motor se cala.</p>	<p>Falta de compresión (bujías, encendido, toma de aire)</p>	<p>Acuda a la red Renault</p>
<p>El motor se calienta. La aguja del indicador de temperatura se sitúa en la zona roja</p>	<p>Bomba de agua: correa destensada o rota.</p> <p>Avería del motoventilador</p> <p>Fugas de agua</p>	<p>Detenga el motor, y acuda a la red Renault</p> <p>Verifique el estado de los racores de agua u el apriete de las abrazaderas - Verifique el vaso de expansión: Debe contener líquido. Si no es así, complete el nivel del radiador (tras haberlo dejado enfriar).</p>

## 15. PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

### 15.1 PRUEBAS DEL MOTOR

Antes de iniciar el motor por primera vez, se realiza una inspección visual con el fin de verificar que todos los elementos estén montados adecuadamente y que todo este en su debido lugar. Posteriormente cuando el motor es encendido se verifico de una manera visual, todos los indicadores del panel de instrumentos, los cuales marcaron valores en sus rangos adecuados, los cuales se explican a continuación.

15.1.1 Pruebas al sistema hidráulico. Previamente al encendido del motor, se realizo una inspección visual de las posibles fugas en el motor. Se verifico minuciosamente cada punto donde el aceite del motor podría llegar y no se encontró ninguna fuga de aceite. Se verifico mediante la varilla de medición del nivel de aceite que estuviera en los rangos óptimos de operación, lo cual fue de esta manera.

Cuando se encendió el motor se verifico el correcto funcionamiento del medidor de la presión de aceite. Este funciona de acuerdo a lo especificado por el manual de operación y mantenimiento para este motor. Los valores que se marcaron fueron de aproximadamente 62 y 64 PSI<sup>8</sup> estando así en el rango correcto de operación. Cabe destacar que la presión marcada es para este tipo de aceite que se esta utilizando; cualquier variación de la presión posterior a un cambio de aceite, será debida a la variación de la viscosidad del aceite que aconseja el fabricante.

---

<sup>8</sup> PSI: Pound Square Inch que indica la presión de un libra en una pulgada cuadrada

15.1.2 Pruebas al sistema de refrigeración. Antes de ser encendido el motor se inspecciono el sistema de refrigeración, mediante la inexistencia de fugas de líquido refrigerante y agua en el bloque, radiador, mangueras, acoples, bomba de agua, culata, entre otros.

Cuando se encendió el motor se verifico visualmente que el indicador de temperatura del motor funcionara perfectamente y que la temperatura estuviera dentro de los rangos establecidos. El comportamiento del sistema de refrigeración del motor estuvo entre los debidos rangos de operación marcando así cuando se inicio 40°C y a sus máximas revoluciones marco entre 85°C y 94°C.

15.1.3 Pruebas al sistema eléctrico. Se realiza una previa inspección visual de todo el cableado eléctrico, evitando la presencia de cables sin su recubrimiento plástico o con conexiones indebidas. Se verifico además que ningún cable este en contacto con piezas sometidas a altas temperaturas.

Posterior al encendido del motor, se verifico mediante los medidores de amperaje y voltaje que estos estuvieran en los rangos de operación óptimos, siendo estos: para la primera variable 3.4 A. Para la segunda variable cuando el motor se inicia y el motor de arranque consume corriente, el voltímetro muestra una lectura de 10.5 voltios. Cuando el motor se enciende y opera a ralentí se observa una lectura entre 12.2 y 12.6 voltios.

Además de los instrumentos de medición instalados en el banco de ensayos, se verifico manualmente mediante un multímetro, que la medición de estas variables en el banco, coincidieran con los valores arrojados por este instrumento.

Los instrumentos de medición instalados en el banco son de aguja o análogos (a excepción del medidor de temperatura de aceite del motor) y el multímetro es digital, por lo que se identificaron pequeñas variaciones en los decimales,

debido a la precisión que otorga este último instrumento. Independiente de esto, se verifico y se comprobó que los valores medidos por los instrumentos, tanto del banco como del multímetro, eran equivalentes.

15.1.4 Pruebas al sistema de combustible. El motor opera con la bomba de combustible original del motor, pero no con el mismo tanque de combustible. Este ultimo de construyo con las dimensiones adecuadas para la adaptación tanto en el marco inferior del chasis como para la adaptación de la bomba sumergida en él. Posee dimensiones como: ancho 280 mm, alto 175mm, y largo 500mm. No se detecto ninguna fuga por los cordones de soldaduras aplicadas en su perímetro.

Se verifico el correcto funcionamiento de la bomba de combustible, mediante la llegada de combustible a todos los inyectores y el llenado del filtro de gasolina. Además de esto, se desconecto la manguera de llegada de combustible a los inyectores con el fin de verificar que llegara la cantidad suficiente a cada uno de ellos.

El motor funciono correctamente y nunca se apago debido al bajo caudal o baja presión en el sistema de combustible y por el contrario nunca se sobreacelero por si solo, debido a efectos contrarios como los recién mencionados. El motor se acelero al máximo, hasta llegar a sus máximas revoluciones, siendo estas de 5300 r.p.m.

15.1.5 Pruebas sensitivas. Estas son pruebas que se realizan mediante cuatro sentidos. Estos son el olfato, la visión, el tacto y el olor. Se realizan con el fin de detectar inmediatamente anomalías de funcionamiento que se pueden percibir por medio de estos sentidos.

- Visión. Se realiza la inspección visual de la operación del motor y del sistema. En esta se verifico la inexistencia de humos debido a recalentamientos en las piezas o contactos de piezas sometidas a altas temperaturas con

elementos vulnerables a la combustión. La presencia de humo en la salida de escape no debe tener ningún color exceptuando cuando se realizan arranques y aun mas en frío.

- Tacto. Se verifico la vibración del sistema de manera manual. Además de esto la transferencia de calor realizada entre el aire del ambiente y el agua contenida en el radiador forzada por el motoventilador.

- Olfato. Exceptuando los gases combustionados, el sistema no emitió olores que se salieran de los parámetros normales de funcionamiento del motor, como lo es un cortocircuito, plástico quemado o diversas incineraciones.

- Escucha. El motor siempre opero correctamente y su sonido fue “parejo”, es decir no se percibió ninguna anomalía respecto al mal funcionamiento del motor, como explosiones, cascabeleos, sobreaceleracion o apagado. Dentro de los parámetros de inspección auditivos detectables por el oído humano, no se encontró ningún problema de operación.

## 15.2 PRUEBAS AL BANCO DE PRUEBAS

15.2.1 Pruebas al sistema de rodamiento. Se instalan cuatro ruedas en las esquinas del marco inferior de la estructura con el fin de movilizarlo por rodadura y por ende con mayor facilidad. Las ruedas están diseñadas para soportar las fuerzas causadas por el peso del motor y los otros elementos con un peso significativo. Las cuatro deben estar todo el tiempo en contacto con el suelo y siempre deben de rodar suavemente y no trasladarse. Se debe de verificar periódicamente el funcionamiento de estas y realizar su mantenimiento adecuado y respectivo.

15.2.2 Pruebas de vibración. Principalmente se verifico la vibración emitida por el banco hacia el suelo. Además de esto el grado de inclinación<sup>9</sup> del sistema respecto al suelo. Esta prueba se realizo de manera superficial, es decir no se utilizaron instrumentos que indicaran valores de vibraciones debidas al funcionamiento del motor.

Se inspecciono en un principio de una manera visual que el motor al ser encendido, el sistema quedara estático en un sitio. A la estructura se le instalo unos apoyos que constan de unas platinas con una perforación y un tornillo pasante que se ajusta a una tuerca fija en la platina. En el tornillo están instalados unos cauchos que se apoyan al suelo, reduciendo así las vibraciones ocasionadas por el motor. Apretando o desapretando este tornillo se puede variar la altura del sistema. A esta misma platina están unidas también las ruedas del sistema.

15.2.3 Pruebas de los instrumentos de medición. El banco de pruebas posee en total siete instrumentos de medición de variables que deben probarse con el fin de que estas sean medidas con la mayor precisión posible, por lo tanto es necesario, posterior a la instalación y la utilización corroborar que estos estén en el rango indicado por el fabricante del motor. Estos se dividen en las siguientes:

- Horometro. Cuando el motor es encendido por primera vez, este debe operar mínimo una hora. La medición de esta variable es independiente del régimen de giro del motor o la aceleración de éste. Se debe comprobar con un reloj que la hora en la que el motor opere, sea marcada por el horometro con exactitud, desde el momento en que éste es encendido.

---

<sup>9</sup> El banco de ensayos debe ser instalado en un lugar totalmente horizontal.

- Presión de aceite. Esta es una de las principales variables a tener en cuenta, y el motor no debe ser encendido si no posee un instrumento de medición de este tipo. En caso de existir un nivel bajo de aceite o una inadecuada presión de aceite en el sistema, el motor podría fallar al instante. Si la lectura es notablemente inferior a lo normal puede ser señal de desgaste en los casquetes de bancada o los de biela; este desgaste produce un aumento del juego y en consecuencia una caída de presión.

- Temperatura del motor. Al igual que el instrumento que mide la presión de aceite, el motor no puede ser encendido sin poseer instalado este instrumento de medición. La refrigeración del motor es un aspecto que se debe tener en cuenta todo el tiempo, ya que cualquier incremento de temperatura fuera de los rangos especificados por el fabricante, es causa de fallos graves en el sistema.

Es normal que el motor aumente su temperatura desde el momento que es encendido hasta que este se estabiliza en un rango predeterminado. La temperatura a la cual el motor debe operar según el fabricante esta entre 86°C y 92°C. Cualquier valor superior a este indicado por el medidor, se debe proceder de manera inmediata con el apagado del motor.

- Temperatura del aceite. La temperatura del aceite debe estar en un rango especificado, ya que este posee ciertas características que varían en función de la temperatura. Una de estas es la viscosidad la cual disminuye al elevarse la temperatura del aceite y esto podría indicar una pérdida en la protección de las dos superficies en contacto. En caso contrario si la temperatura se mantiene muy baja los niveles de viscosidad son altos, lo cual proporciona una mayor protección a la película de contacto pero crea una mayor resistencia. Los aceites poseen ciertos aditivos que mejoran protegen el aceite contra las propiedades como el deslaminamiento que es ocasionado cuando la temperatura es muy elevada. Por tal motivo se hace necesario en el ámbito investigativo, la incorporación de un medidor de esa variable al banco.

- Amperaje. En el instrumento esta denominado como el amperaje y es la medición de la corriente o la intensidad que la batería esta entregando al sistema. Cualquier valor inferior al especificado a las condiciones optimas de operación puede indicar fallas en el sistema eléctrico, electrónico, cortos circuitos, alternados, batería, entre otros.

- Voltaje. La medición de esta variable indica el potencial que es entregado por la batería del vehiculo a la bobina el cual será transformado para poder realizar la ignición de la mezcla del combustible. El voltaje marcado por este instrumento debe estar en un rango entre 12.6 y 13.2 voltios, es decir entre 2.1v y 2.2v por cada celda de la batería, que en total son seis celdas.

- RPM. Al momento de exigir el motor para que alcance su régimen máximo, es necesario monitorearlo. Para ello se requiere un marcador de revoluciones llamado tacómetro, el cual mide la frecuencia la cual gira el motor. Es decir que éste mide las revoluciones a las que gira específicamente la volante del motor en un minuto. En función de estos valores, se pueden realizar mediciones de potencia, torque, consumo de combustible, etc. Superar el límite de revoluciones puede traer consecuencias graves en bielas, pistones, válvulas, cigüeñal y metales.



## 16. RECOMENDACIONES

El banco de ensayos es un sistema autoportante para la realización de pruebas a un motor de combustión interna. Este sistema debe ser manipulado por personas capacitadas para su utilización y con habilidades de enfrentar cualquier situación anormal de funcionamiento. Se aconseja que solo el personal autorizado y capacitado manipule este sistema; ya que se está enfrentando a un sistema donde hay elementos en movimiento. Además de esto el riesgo de quemaduras por altas temperaturas ocasionadas por el funcionamiento del motor.

Se está operando con un equipo costoso el cual será sometido a pruebas rigurosas de desempeño, por lo cual siempre se debe inspeccionar constantemente los instrumentos de medición y estar atento ante cualquier anomalía de funcionamiento detectada por los sentidos.

Realice siempre el mantenimiento preventivo que se indica en el cuadro de rutinas de mantenimiento ---Ver Cuadro14--- en función de las actividades y los intervalos de tiempo adecuados. Utilice repuestos genuinos y homologados por la marca. Opere el motor con gasolina sin plomo y con un alto índice de octanaje.

Revise periódicamente fugas de aceite, combustible, líquido refrigerante y aire en el motor. Cuando sea detectada una de estas, detenga de inmediato el motor e infórmelo al personal encargado

Al operar el motor utilice siempre los elementos de protección personal necesarios para operar el motor, tales como gafas, protectores auditivos, entre otros. Además de esto se debe instalar un extintor de fuego en un lugar próximo al banco de ensayos.

En caso de instalar el motor en un lugar cerrado sin el sistema de extracción de gases adecuado como ventiladores, extractores o ductos de escape a la atmósfera, no opere el motor ya que los gases emitidos por la combustión del motor, pueden causar efectos secundarios en la salud, incluso la muerte.

Siempre, antes de encender el motor, revise que el nivel de aceite del motor este en la posición adecuada. Además de esto verifique el nivel de líquido refrigerante y de combustible.

Cuando el motor sea encendido, utilice siempre los tornillos de anclaje al suelo, ya que si este se opera con las ruedas, se esta en riesgo de ocasionar daños debido a los desplazamientos causados por la vibración.

## 17. DESARROLLOS A FUTURO

Entrando en materia de los futuros trabajos que se pueden realizar a este sistema de ensayos del motor, podemos mencionar algunas propuestas con fines investigativos además de realizar unas mejoras, donde se verían beneficiados tanto los estudiantes como los docentes. Estas son:

### 17.1. INSTALACIÓN DE UN SISTEMA DE GAS VEHICULAR NATURAL

El uso del GNV se ha ido incrementando de una manera porcentual por múltiples factores como la economía, la disminución en la contaminación y sus beneficios que ofrece. El mantenimiento es un aspecto importante y por el que hay que preocuparse poco por su facilidad y el rendimiento se ha mejorado desde los primeros vehículos con este tipo de instalaciones.

En el ámbito social ha existido una “mitología” acerca del rendimiento del GNV que con el tiempo y pruebas se ha ido optimizando. Por lo tanto aunque se han realizado mejoras y experimentos acerca de su optimización, a los estudiantes de la universidad le quedara un sistema de ensayos en el cual una de sus principales aplicaciones puede ser la optimización y mejora del rendimiento del motor cuando utiliza gas vehicula natural. Este último tiene un índice de octanos más elevado que la gasolina, por lo que es posible implementar mejoras y sobrepasar aun los beneficios obtenidos con la gasolina. Por último, dado que el GNCV es un combustible con una combustión más completa, tanto el aceite motor, como el funcionamiento general de las piezas del motor, se realizara en condiciones más limpias.

Las modificaciones que se deben realizar al motor con esta adaptación son relativamente sencillas y parciales. Es decir no es necesario el cambiar piezas de gran magnitud en el motor, simplemente se realiza una adaptación en donde puede funcionar con ambos sistemas en diferentes tiempos (gas y gasolina).

Además de esto los estudiantes pueden conseguir un patrocinio para esta instalación con la prestación de sus estudios y por tanto sus resultados enfocados en las mejoras realizadas.

## 17.2. MONTAJE DE UN DINAMÓMETRO

Conocido como dinamómetro o banco de fuerza. Es una herramienta muy utilizada para medir la fuerza, el torque y por ende la potencia del motor. El dinamómetro de motor, es un sistema en el cual el motor tiene que estar fuera<sup>10</sup> del auto para ser medido y es muy útil para el desarrollo del motor en si. Por estar fuera es fácil cambiar algunas piezas de éste y así probar cada una de ellas que se le va poniendo. En caso de no simular las fuerzas y pérdidas de potencia por diversos factores análogos a las de la realidad y en condiciones similares, éste no mide la fuerza total del automóvil.

Son varias las aplicaciones del banco de prueba para motores. En el caso de un motor recién reacondicionado, es posible comprobar si su potencia es similar a la del equipo original, ya que se puede conocer el estado del motor, efectuando una prueba de torque y potencia que será comparada con las especificaciones originales del fabricante del motor. Finalmente resulta indispensable para alcanzar una puesta a punto óptima en los motores.

El banco de prueba, admite la corrección en vivo de parámetros de carburación y puesta a punto del encendido. Con esto se consigue obtener la máxima eficiencia permisible. Además de realizar algunas pruebas pasando del aspecto teórico al practico, reflejando así los resultado en las curvas de funcionamiento del antes y después del motor.

---

<sup>10</sup> Además de los bancos de ensayos de motor existen dinamómetros de chasis y de banco donde no se extrae el motor de su habitáculo.

### 17.3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN FRENO

Se puede realizar la construcción de un sistema de frenado del motor, con el fin de simular lo mas próximo a la realidad, todas las fuerzas a las que son sometidas estos tipos de vehículos en situaciones diferentes. Estas cargas se producen en los vehículos debido a las fuerzas ejercidas por el peso de la estructura, las fuerzas de fricción en función del tipo de superficie, las fuerzas de arrastre producidas por tipos de fluidos, las perdidas de potencia por diversos factores, los diferentes grados de inclinación de pendientes de carreteras, etc.

Este paso de debe realizar después de estar implementado todo el sistema de medición de las variables en este motor. Es decir que posterior al paso de implementación del software que grafica curvas de torque vs. r.p.m. y potencia vs. r.p.m., el siguiente paso inmediato y coherente es el diseño y la construcción del freno. Las mediciones más relevantes en este punto son el torque y las revoluciones y por ende la potencia.

### 17.4. IMPLEMENTACIÓN DE EQUIPOS PARA LA APLICACIÓN DE TÉCNICAS PREDICTIVAS

Como se menciona anteriormente, existen gran cantidad de técnicas predictivas aplicables a los motores de combustión interna, siendo las más aplicadas las mencionadas en la ---Sección 7.2.---

Esta aplicación de técnicas, por medio de los equipos requeridos, no solo será de beneficio para los estudiantes interesados en área de mecánica experimental, sino también para los estudiantes de ingeniería mecánica que seleccionaron su énfasis profesional en las asignaturas de mantenimiento, específicamente en mantenimiento predictivo.

Se debe contar con el apoyo incondicional de la universidad para este punto, ya que se requiere de diversos equipos que en términos de costos son elevados, compensando así el beneficio para la universidad y sus estudiantes, además del prestigio obtenido para sus laboratorios y afines.

#### 17.5. IMPLEMENTACIÓN DE UN SOFTWARE PARA GRAFICAR VARIABLES MEDIDAS

La implementación de un software computacional como lo es el Labview<sup>11</sup> en este sistema es indispensable, ya que con este se pueden realizar diversas mediciones más avanzadas que indican el estado del motor. Esto se realiza mediante la comparación de los valores arrojados por el sistema de ensayos y los comparados con el manual de operación y funcionamiento otorgado por el fabricante.

Este software entrega graficas acerca del comportamiento del motor, como el torque en función de las revoluciones, los cuales pueden ser modificados por alteraciones externas realizadas al motor. Ejemplo a esto es la diferencia de torque y potencia obtenida, variando el tipo de combustible y sus aditivos. Además de esto se pueden realizar modificaciones a las entradas de aire, como es la modificación original del filtro de aire o el incremento en la cantidad de aire por medio de un turbocargador y la instalación de un postenfriador. Todas estas modificaciones se verán alteradas en la graficas arrojadas por el software y así determinar de manera experimental la utilidad y eficiencia de estas técnicas.

---

<sup>11</sup> Programa computacional aplicable a este caso y enseñado en la universidad EAFIT

## 18. CONCLUSIONES

- Se investigo y se profundizo en el aprendizaje de las técnicas para la implementación de un sistema de medición de variables a los motores de combustión interna. De estas técnicas de medición de variables, se aplicaron al proyecto las principales para ejecutar el funcionamiento del motor, siendo las más representativas la medición de la temperatura del motor, la presión de aceite, temperatura del aceite, amperaje, voltaje, r.p.m. y horas de uso del motor.
- Mediante el análisis realizado de los esfuerzos y las deformaciones, se puede apreciar que es una estructura muy resistente y con la carga aplicada, ésta no se deformara ni colapsara. Esto mientras se opere bajo las condiciones y parámetros establecidos en este análisis. Además de esto se puede observar que el factor de seguridad indica que la estructura es confiable en cuanto a resistencia del material.
- Se pudo apreciar durante toda la construcción del banco de pruebas, que éste generaba una gran expectativa en una gran cantidad de personas que lo observaban. Es de esta manera como se despierta un gran interés, por parte de los estudiantes, en el área de mecánica automotriz en la universidad. Este es uno de los principales índices que califican el proyecto como exitoso.
- En un banco de ensayos se pueden realizar tantas pruebas como sea posible. Esto va ligado y en función proporcional al capital necesario para invertir en estos nuevos proyectos. Pero esto se contrarresta con ensayos y pruebas nuevas e innovadoras que pueden otorgar resultados positivos en diversas áreas de conocimiento, de los cuales se puede sacar un provecho de crecimiento tanto económico como personal.

- Realizando un proceso de diseño a conciencia y riguroso, se pueden determinar y clarificar gran cantidad de conceptos y variables que generan incertidumbre. Mediante el proceso de diseño se pudo lograr llevar de la imaginación al papel y consecuentemente a la vida real un objeto deseado como en este caso, un banco de ensayos.
- Finalmente, con el presente proyecto, se logro cumplir el objetivo principal propuesto y se constato que los objetos funcionaran adecuadamente siempre y cuando el proceso de diseño y de construcción sea realizado a conciencia e investigando el porque de las cosas, tal cual como se realizo.



## BIBLIOGRAFIA

ARISTIZABAL, Sergio. Memorias de Clase y material académico. Medellín, Colombia. Diseño Metódico. Universidad EAFIT. 2008

GARZON Alejandro, HERRERA Cesar y VILLEGAS Sergio. Análisis de alternativas, diseño y construcción de un vehículo híbrido. Medellín, 2006. Proyecto de grado. Universidad Eafit. Dpto. Ingeniería Mecánica.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICA. Normas Colombianas para la presentación de trabajos de investigación. Quinta actualización. Santafé de Bogotá D.C.: ICONTEC, 2002. NTC 1486.

MACIAN MARTINEZ, V. *et al.* Técnicas de inspección para el mantenimiento predictivo de motores Diesel. En : Mantenimiento : ingeniería industrial y de edificios. No. 162 (mar. 2003); p. 5-16

RENAULT TWINGO. Manual de uso, mantenimiento y utilización : Mantenimiento : Colombiana, Abril 2006.

SELECCIONES DEL READER'S DIGEST. El libro del automóvil : Indicadores y testigos luminosos que ayudan al conductor. México : El autor, 1975. p. 166-167.

SELECCIONES DEL READERS DIGEST. En marcha : México : El autor, 1983.

VELEZ CORREA, Daniel. Diseño y construcción de un banco de pruebas para motocicletas. Medellín, 2004. Proyecto de grado (Ingeniero Mecánico). Universidad EAFIT. Escuela de Ingeniería. Departamento de Ingeniería Mecánica.

Aceite@:

MARCADECOCHE. Aceites de motor minerales : Temperatura y viscosidad. [En línea]. 2007. Disponible en: <http://www.marcadecoche.com/aceite-motor.html>

Armfield@:

ARMFIELD. Motores de combustión interna : Banco de Ensayos con Motor Diesel CM12. [En línea]. 2006. Disponible en Internet: [http://www.armfield.co.uk/esp\\_cm12\\_datasheet.html](http://www.armfield.co.uk/esp_cm12_datasheet.html)

Banco@:

DEPARTAMENTO DE MOTORES Y MAQUINAS TÉRMICAS. Banco de pruebas. [En línea]. MILLAN, José A. San Sebastián (España) : Universidad del país Vasco, 20 mayo de 2001, "actualizado en Enero 1 de 2008". Disponible en Internet: <http://www.sc.ehu.es/nmwmigaj/bancomot.htm>

Equipo1@:

GUNT HAMBURG. Banco de pruebas para motores. [En línea]. Septiembre 2007. Disponible en Internet: <http://www.gunt.de/networks/gunt/sites/s1/mmcontent/produktbilder/06330000/Datenblatt/06330000%204.pdf>

Equipo2@:

TECNOEDU.COM. Banco de ensayo de motores de 4 tiempos con ciclo Otto CM11. DIAZ, José Javier. [En línea]. Córdoba (Argentina), 2004. Disponible en Internet: <http://www.tecnoedu.com/Armfield/CM11.php>

Ferrasa@:

FERRASA S.A. Tuberías : Tubería estructural cuadrada. [En línea]. Colombia, 2005. Disponible en Internet: <http://www.ferrasa.com/content.aspx?cid=16>

Frénelsa@:

FRENELSA RETARDERS. Banco de ensayos. [En línea]. Navarra (España). Disponible en Internet: <http://www.frenelsa.es/es/producto-aplicaciones/banco-ensayos.asp>

Grafica@:

ROTOTEST. Performance graphs. [Online]. NJ Engström, 2008. “actualizado el 23 de Abril de 2008”. Disponible en Internet: <http://www.rototest.com/index.php?DN=33&List=S-T>

Lubricación@:

LUBRICAR. Sistema de lubricación : Baja presión. [En línea]. “actualizado el 13 Marzo de 2008”. Disponible en Internet: <http://www.lubricar.net/presionbaja.htm>

Manual1@:

MANUALES DE MECANICA. Manual de taller del Renault Twingo : Motor D7F B700. [En línea]. 22 Nov de 2007. Disponible en Internet: [http://www.manualesdemecanica.com/component/option,com\\_remository/Itemid,4/func,fileinfo/id,68/](http://www.manualesdemecanica.com/component/option,com_remository/Itemid,4/func,fileinfo/id,68/)

Manual2@:

MANUALES DE MECANICA. Manuales de taller Twingo : Caja de cambios JB1. [En línea]. 22 Nov 2007. Disponible en Internet: [http://www.manualesdemecanica.com/component/option,com\\_remository/Itemid,4/func,fileinfo/id,5/](http://www.manualesdemecanica.com/component/option,com_remository/Itemid,4/func,fileinfo/id,5/)

Motor@:

WIKIPEDIA. Motor de combustión interna : estructura y funcionamiento. [En línea]. 27 de Marzo de 2008. Disponible en Internet:

[http://es.wikipedia.org/wiki/Motor\\_de\\_combusti%C3%B3n\\_interna](http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna)

Refrigeración@:

MOTOR. Para que sirve el sistema de refrigeración. [En línea]. El tiempo, 2006. Disponible en Internet:

[http://www.motor.com.co/noticias\\_precios/mecanica/refrigeracin/ARTICULO-WEB-NOTA\\_INTERIOR\\_MOTORV2-1972903.html](http://www.motor.com.co/noticias_precios/mecanica/refrigeracin/ARTICULO-WEB-NOTA_INTERIOR_MOTORV2-1972903.html)

Tiempos@

TODOS MOTORES. Como funciona un motor de 4 tiempos : Motor a gasolina o alcohol. [En línea]. Chile, 2004, "actualizado en el 2008". Disponible en Internet:

[http://www.todomotores.cl/mecanica/el\\_motor.htm](http://www.todomotores.cl/mecanica/el_motor.htm)

Uft@:

PRENSA UFT. Alumno de la UFT desarrolla Banco de Pruebas de Motores de Gasolina. [En línea]. Universidad Fermín Toro : Mariangel Peña. Venezuela. Disponible en Internet:

<http://www.uft.edu.ve/noticias.php?codigo=0000000711&tipo=N&titulo=Alumno%20de%20la%20UFT%20desarrolla%20Banco%20de%20Pruebas%20de%20Motores%20de%20Gasolina>

## ANEXOS

### ANEXO A

#### MODELOS DE BANCOS DE PRUEBAS

Figura 24. Banco de ensayos para motores Diesel



(Armfield@, 2006)

Figura 25. Banco de ensayos con dinamometro



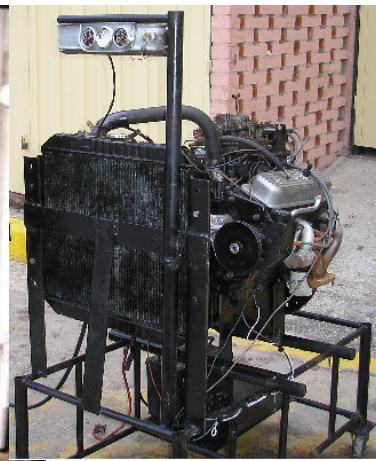
(Frenelsa@)

Figura 26. Banco de ensayos



(Banco@, 2007)

Figura 27. Banco de pruebas para motores de gasolina en V



(Uft@, 2008)

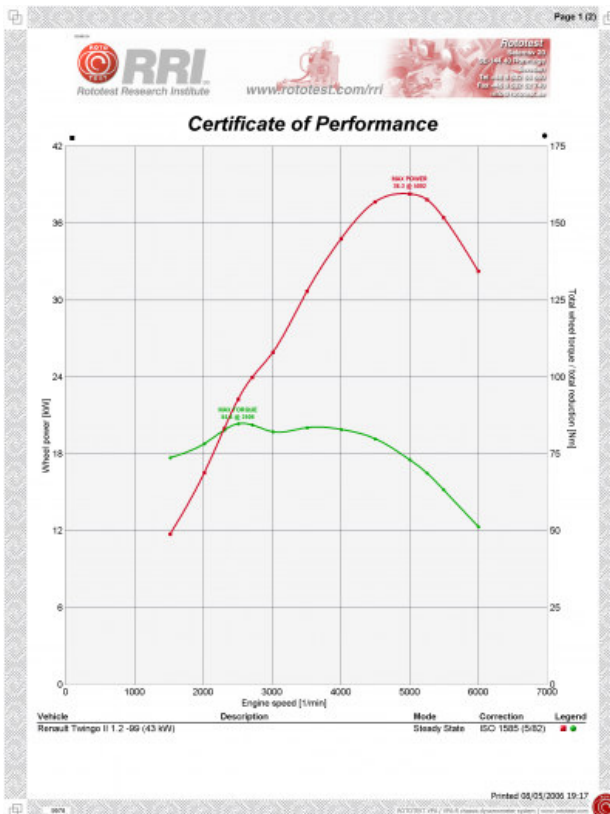
## ANEXO B

### DINAMÓMETRO DE CHASIS ROTOTEST

Esta prueba se le realizó a un vehículo marca Renault Twingo del año 1999 con un motor D7F B700, lo que indica que posee características similares a las del motor utilizado en este proyecto.

Estas pruebas se realizaron utilizando un dinamómetro de chasis. En éste, se miden las prestaciones del vehículo sin tener que desmontar el motor. Este tipo de dinamómetro posee características superiores y con mayor precisión que los dinamómetros convencionales, ya que este mide la potencia producida por cada una de las ruedas. A continuación se muestran los resultados obtenidos.

Figura 28. Curvas de torque y potencia de funcionamiento del motor



(Grafica@, 2008)

Cuadro 16. Ficha técnica de los resultados obtenidos.

Test ID	STR-99020401	Measured at [1/min]	
Created	1999-02-05 09:38	Max power [kW]	38.3 5002
Vehicle ID		Max torque [Nm]	84.8 2506
Vehicle make	Renault	Correction	ISO 1585 (5/82)
Vehicle model	Twingo II 1.2 -99 (43 kW)	Atm pressure [hPa]	952 - 953
Engine	SI NA, 1149 cc, I4, 8v	Comments	
Mileage	6128 km		
Test mode	Steady State		
Test fuel	95 RON		
Customer			
Description			

Engine speed [1/min]	Corr power [kW]	Corr torque [Nm]	Wheel speed [1/min]	Total red [1/x]	Total wheel torque [Nm]	Total wheel torque / total red [Nm]	Wheel power [kW]	Inl temp* [°C]	Rel hum [%]	Amb temp [°C]	Oil temp* [°C]	Corr factor	Sample Time [s]
1518	11.7	73.8	407	3.730	261	70.0	11.1	26	14	18	98	1.054	97.8
2015	16.5	78.3	540	3.730	278	74.4	15.7	26	13	18	101	1.053	72.4
2305	20.0	82.8	618	3.730	293	78.7	19.0	25	13	18	104	1.052	62.7
2506	22.3	84.8	672	3.730	301	80.6	21.1	26	13	18	107	1.053	57.1
2710	24.0	84.5	726	3.730	300	80.4	22.8	25	12	19	108	1.051	54.1
3011	25.9	82.2	807	3.730	291	78.0	24.6	26	12	19	110	1.054	49.9
3510	30.7	83.6	941	3.730	295	79.1	29.1	27	12	19	115	1.056	40.9
4005	34.8	83.0	1074	3.730	293	78.6	33.0	27	12	19	118	1.056	34.6
4499	37.7	80.0	1206	3.730	282	75.7	35.7	27	12	20	120	1.056	32.0
5002	38.3	73.1	1341	3.730	259	69.3	36.3	27	12	20	123	1.055	29.8
5251	37.9	68.8	1408	3.730	243	65.3	35.9	27	12	20	123	1.055	28.0
5493	36.5	63.4	1473	3.730	225	60.3	34.7	25	12	19	121	1.051	28.2
5999	32.3	51.4	1608	3.730	182	48.9	30.7	25	13	18	121	1.051	29.6

(Grafica@, 2008)

Detalles de la prueba realizada al Renault Twingo II 1.2 -99 (43 kW)

Cuadro 17. Resultados de las pruebas y especificaciones del motor utilizado

GENERAL	
Official test no.	STR-99020401
Model year	1999
Mileage, km	6128
Gearbox type	5 - speed manual
Drive wheels	Front
ENGINE	
Cylinders / Valves	4 / 2
Displacement, cc	1148
Bore / Stroke, mm	69 / 76.8
Type / Configuration	SI NA / Inline

Location / Orientation	Front / Transverse
Compression ratio	9.6:1
WHEELS / FUEL / WEIGHTS	
Tyre dimension	155/70R13
Test fuel	95 RON
Curb weight, Kg.	872
Weight dist front / rear, %	63 / 37
PERFORMANCE	
Powertrain performance	
Wheel power	
kW (PS / bhp) at 1/min	38 (52 / 51) at 5002
Total wheel torque / total reduction	
Nm (lb-ft) at 1/min	85 (63) at 2506
Stated engine performance	
Engine power	
kW (PS / bhp) at 1/min	43 (58 / 58) at 5250
Engine torque	
Nm (lb-ft) at 1/min	93 (69) at 2500
Discrepancy (measured/stated)	
Power / Torque	-11% / -9%

(Grafica@, 2008)



## ANEXO C

### ESPECIFICACIONES DEL MATERIAL DE FABRICACIÓN

Los perfiles se fabrican con acero laminado en caliente (HR) de bajo contenido de Carbono, alta soldabilidad y ductibilidad, según normas ASTM 1011 G45 o cualquier otro acero equivalente con los siguientes contenidos máximos en su composición química:

- Carbono: 0.27% máximo
- Manganeso: 1.40% máximo
- Fósforo: 0.045% máximo
- Azufre: 0.045% máximo

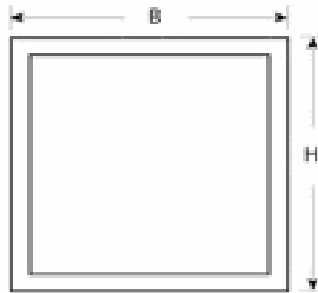
El esfuerzo mínimo de fluencia del acero es de 3.241kg/cm<sup>2</sup> (46.000PSI) La relación entre esfuerzo ultimo y esfuerzo de fluencia está entre 1.25 y 1.3 satisfaciendo la relación mínima recomendada para formado en frío de 1,2. (Ferrasa@, 2005)

### ESFUERZOS PERFILES CUADRADOS

- ASTM A 500: Grado C
- Fluencia Fy: 3.522 Kg/cm<sup>2</sup>
- Tensión: 4.368 Kg/cm<sup>2</sup>
- Elongación: 2"21%

Cuadro 18. Especificaciones dimensionales del perfil utilizado

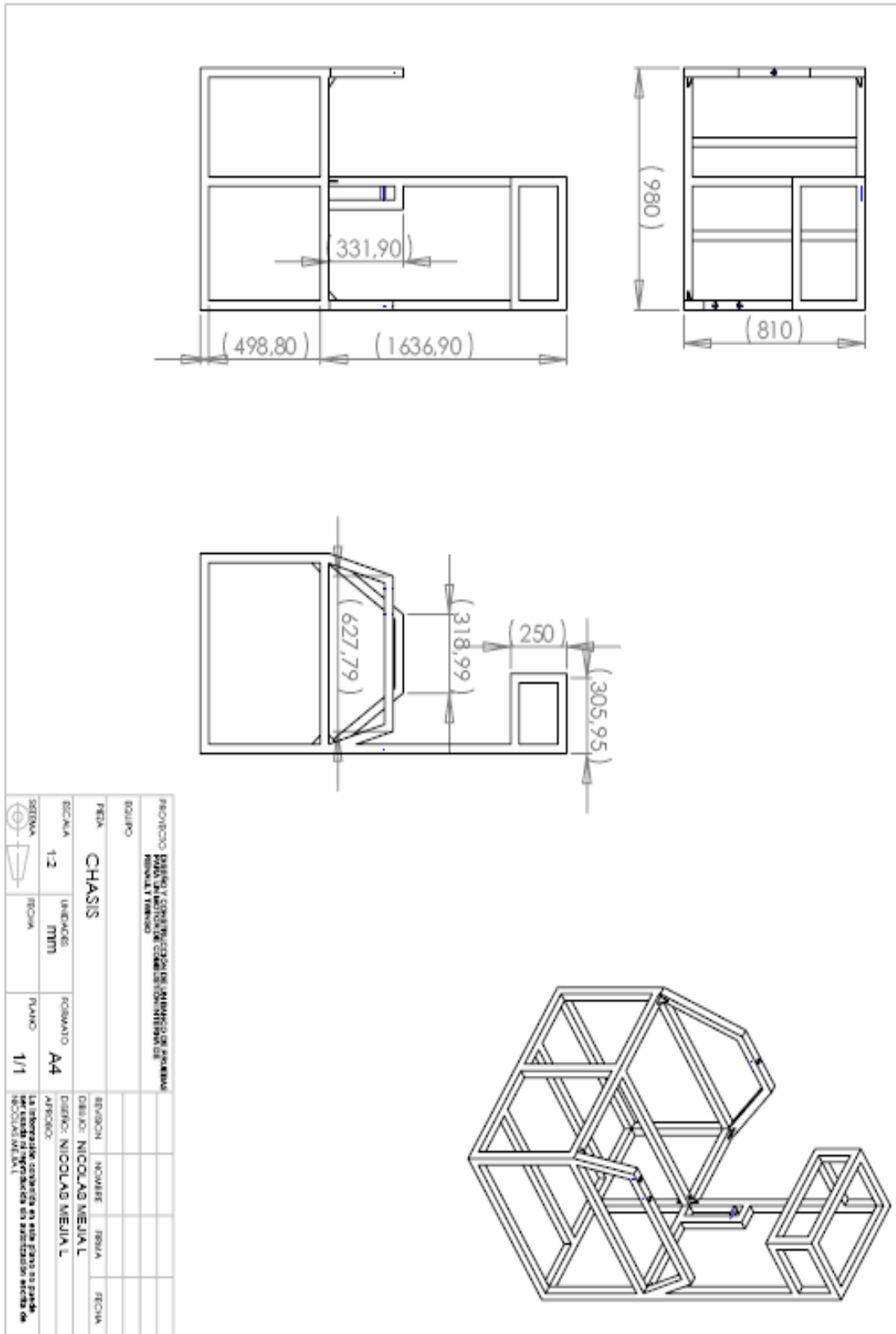
**CUADRADO**



PRODUCTO	h (mm)	b (mm)	a (mm)	PESO (kg/m)	ÁREA (cm <sup>2</sup> )	Momento de inercia	Módulo Sección
						I <sub>x</sub> = I <sub>y</sub> (cm <sup>4</sup> )	S <sub>x</sub> = S <sub>y</sub> (cm <sup>3</sup> )
NACIONAL	26	26	2.00	1.43	1.82	1.69	1.30
NACIONAL	26	26	2.50	1.72	2.19	1.94	1.49
NACIONAL	26	26	3.00	1.98	2.53	2.12	1.63
NACIONAL	30	30	2.00	1.68	2.14	2.72	1.81
NACIONAL	30	30	2.50	2.03	2.59	3.16	2.10
NACIONAL	30	30	3.00	2.36	3.01	3.50	2.34
NACIONAL	40	40	2.00	2.31	2.94	6.94	3.47
NACIONAL	40	40	2.50	2.82	3.59	8.32	4.11
NACIONAL	40	40	3.00	3.30	4.21	9.32	4.66
NACIONAL	40	40	3.50	3.76	4.79	10.27	5.14
NACIONAL	50	50	2.00	2.93	3.74	14.15	5.66
NACIONAL	50	50	2.50	3.60	4.59	16.94	6.78
NACIONAL	50	50	3.00	4.25	5.41	19.47	7.79
NACIONAL	50	50	3.50	4.86	6.19	21.73	8.69

(Ferrasa@, 2005)

## ANEXO D PLANOS DE DISEÑO



## ANEXO E

### FOTOGRAFIA DEL BANCO

Figura 29. Estructura con motor



Figura 30. Motor Twingo

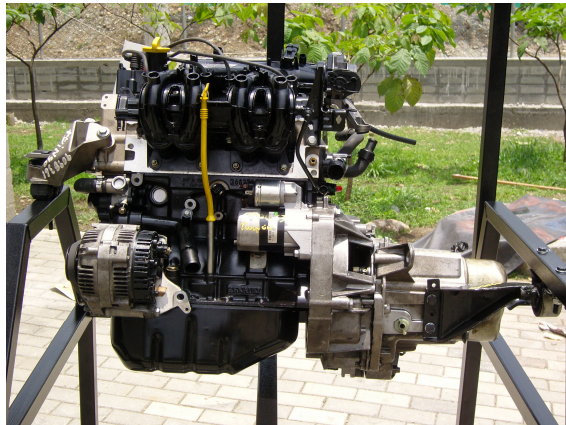


Figura 31. Puesta a punto



Figura 32. Banco de pruebas

