

DISEÑO DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE UN MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA.

MARÍA CLAUDIA BASTIDAS LÓPEZ  
SERGIO NICOLÁS ROMERO ROMERO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018

DISEÑO DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE UN MOTOR DE  
COMBUSTIÓN INTERNA.

MARÍA CLAUDIA BASTIDAS LÓPEZ  
SERGIO NICOLÁS ROMERO ROMERO

Proyecto integral de grado para optar por el título de  
INGENIERO MECÁNICO

Director:  
Ricardo Gabriel López Martínez.  
Ingeniero Mecánico

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA  
FACULTAD DE INGENIERÍAS  
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ D.C.  
2018

Nota de aceptación

---

---

---

---

---

---

Presidente del Jurado

---

Jurado 1

---

Jurado 2

Bogotá D.C. Febrero de 2018

## DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro.

Dr. JAIME POSADA DÍAZ

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos.

Dr. LUIS JAIME POSADA GARCÍA-PEÑA

Vicerrectora Académica y de Posgrados.

Dra. ANA JOSEFA HERRERA VARGAS

Decano General Facultad de Ingenierías.

Dr. JULIO CESAR FUENTES ARISMENDI

Director del Programa de Ingeniería Mecánica.

Dr. CARLOS MAURICIO VELOZA VILLAMIL

Bogotá D.C. Febrero de 2018

Las directivas de la Universidad De América, los jurados calificadores y el cuerpo docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

A Dios por todas las bendiciones que me brinda a diario, por permitirme cumplir una meta más y por ser mi guía en todo momento.

A mi mami, por su apoyo y acompañamiento incondicional. Por todo su amor, entrega y esfuerzo para mi bienestar.

A mi abuelita Clarita, por su gran apoyo y el amor desmedido que ha brindado toda la vida. A ti viejita debo también este gran logro.

**MARÍA CLAUDIA BASTIDAS LÓPEZ**

*A Dios por darme la oportunidad de vivir y por estar conmigo en cada paso que doy, por fortalecer mi corazón e iluminar mi mente y por haber puesto en mi camino a aquellas personas que han sido mi soporte y compañía durante los momentos difíciles*

*A mis hermanas por apoyarme y ayudarme siempre que las necesité, a mis padres quienes fueron los encargados de guiarme todo el tiempo por el buen camino, porque estuvieron siempre pendientes de como estaba, como me iba y de que iba a hacer, gracias a ellos es que hoy estoy a un paso de convertirme en profesional y un orgullo más para la familia.*

*A mis amigos que con sus palabras de apoyo buscaban siempre la forma de animarlo a uno a seguir adelante, que cuando uno los necesitaba no dudaban en resolverme las dudas y con quienes he compartido los mejores momentos de la universidad.*

**SERGIO NICOLÁS ROMERO ROMERO**

## AGRADECIMIENTOS

En primera instancia agradecemos a nuestros formadores, personas de gran sabiduría quienes se han esforzado por ayudarnos a llegar a uno de los peldaños en la vida.

En especial un sincero agradecimiento a nuestro orientador el ingeniero Oscar Ochoa quien nos ha guiado a lo largo del año para no solo tener trabajo digno, sino quién además nos ha dado lecciones para la vida, que sabemos que al momento de llegar a la industria nos servirán para tener una sana convivencia y un buen trabajo en equipo.

Al ingeniero Edwin Rivera quien nos ha resuelto cada duda que hemos tenido, gracias porque con sus indicaciones es que este proyecto salió adelante.

El ingeniero Ricardo López quien nos indicó el camino correcto para avanzar en el desarrollo del proyecto

Sencillo no ha sido el proceso, pero gracias a las ganas de transmitirnos sus conocimientos y dedicación que los ha regido, han logrado importantes objetivos como culminar el desarrollo de la tesis con éxito y obtener una afable titulación profesional.

## CONTENIDO

	pág
INTRODUCCIÓN	18
1. GENERALIDADES	20
1.1 CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE INYECCIÓN ELECTRÓNICA	20
1.1.1 Inyección electrónica de combustible.	20
2. SITUACIÓN ACTUAL	23
2.1 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE	23
2.2 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES	23
2.2.1 Fallas y señales del motor.	24
2.2.2. Parámetros de diseño.	25
3. SELECCIÓN DE ALTERNATIVA Y DISEÑO CONCEPTUAL	27
3.1 PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	27
3.1.1 Alternativa Chevrolet Spark Gt.	27
3.1.2 Alternativa Renault Megane II.	28
3.1.3 Alternativa Hyundai Atos 1.0.	29
3.2 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS	30
3.2.1 Control Electrónico del motor.	31
3.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA	31
3.3.1 Sistema de alimentación.	33
3.3.2 Sistema de escape.	34
3.3.3 Sistema de manipulación.	35
4. DISEÑO DETALLADO	38
4.1 CÁLCULOS ESTÁTICOS DE FUERZAS EJERCIDAS POR MOTOR	38
4.2 CÁLCULOS DINÁMICOS DE FUERZAS EJERCIDAS POR MOTOR	40
4.3 DISEÑO ESQUEMÁTICO DE LA ESTRUCTURA	41
4.3.1 Selección del perfil.	42
4.3.4 Análisis de pandeo a la columna más crítica.	53
4.3.3. Selección de soldadura.	55
4.3.4. Selección de ruedas.	58
4.4 ESTRUCTURA	59
4.4.1 Descripción detallada de los componentes	60
4.4.2 Pintura antioxidante..	62
5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR ELEMENTOS FINITOS	63

6.	MANUALES Y GUÍAS DE LABORATORIO	65
6.1.	GUÍAS DE LABORATORIO	65
6.1.1	Guía Nº 1. Reconocimiento del banco didáctico	65
6.1.2	Guía Nº 2. Funcionamiento del Software ScanMaster-ELM.	67
6.1.3	Guía Nº 3. Fallas Generadas en el motor.	71
6.2.	MANUAL DE OPERACIÓN	74
6.2.1	Características principales.	74
6.2.2	Consideraciones.	75
6.2.3	Medidas de seguridad.	76
6.2.4	Instalación del banco.	77
6.2.5	Arranque y parada del motor.	77
6.2.6	Cuidados del banco.	78
6.3.	MANUAL DE MANTENIMIENTO	79
6.3.1.	Mantenimiento preventivo	79
6.3.2	Cambio de aceite	79
6.3.4	Cambio de líquido refrigerante	80
6.3.6	Cambio de filtro de aire	81
6.3.8	Tensión de correa de accesorios	82
7.	IMPACTO AMBIENTAL	83
7.1	FACTORES DE RIESGO	83
7.2	EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO	83
8.	EVALUACIÓN FINANCIERA	85
8.1	COSTOS	85
8.1.1	Costos de ingeniería.	85
8.1.2	Costos de fabricación.	86
8.1.3	Costos de operación y mantenimiento.	87
8.2	ESTUDIO FINANCIERO	88
8.2.1.	Adquisición 1. Diseñar y construir un banco didáctico de pruebas	88
8.2.2	Adquisición 2. Alquiler de un banco didáctico de pruebas	89
8.2.3.	Adquisición 3. Comprar y mantener una estación	89
8.2.4.	Análisis financiero.	90
9.	CONCLUSIONES	95
10.	RECOMENDACIONES	97
	BIBLIOGRAFÍA	98



## LISTADO DE TABLAS

	pág
Tabla 1. Especificaciones técnicas del motor Spark GT	27
Tabla 2.(continuación) Especificaciones técnicas del motor Spark GT	28
Tabla 3. Especificaciones técnicas del motor Renault Megane II	28
Tabla 4. Especificaciones técnicas del motor 1.0 MPFI	29
Tabla 5. Datos técnicos del sistema de lubricación.	29
Tabla 6. Datos técnicos del sistema de refrigeración	29
Tabla 7. Datos técnicos del sistema de encendido.	30
Tabla 8. Datos técnicos del sistema de alimentación de combustible	30
Tabla 9. Datos técnicos del sistema de interfaz ECU	30
Tabla 10. Variables del proceso	31
Tabla 11. Pesos aproximados de los componentes del banco didáctico	37
Tabla 12. Distribución de cargas dinámicas.	41
Tabla 13. Ecuaciones con las constantes definidas	45
Tabla 14. Ecuaciones finales con constantes definidas	49
Tabla 15. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras	56
Tabla 16. Tamaños mínimos de cordón para placas gruesas.	58
Tabla 17. Datos iniciales de funcionamiento	69
Tabla 18. Códigos de falla resultantes del motor	72
Tabla 19. Especificaciones técnicas del motor	74
Tabla 20. Sistema de Lubricación	74
Tabla 21. Sistema de refrigeración	75
Tabla 22. Sistema de encendido	75
Tabla 23. Sistema de alimentación de combustible	75
Tabla 24. Sistema de interfaz	75
Tabla 25. Mantenimiento preventivo.	79
Tabla 26. Límites máximos de emisión permisibles	83
Tabla 27. Reporte del análisis de gases	84
Tabla 28. Costos de ingeniería	85
Tabla 29. Costos de los materiales	86
Tabla 30. Costos de mano de obra	86
Tabla 31. Costos de fabricación indirectos	86
Tabla 32. Costo total de fabricación	87
Tabla 33. Costo total del banco didáctico de pruebas	87
Tabla 34. Costos de consumibles	87
Tabla 35. Costos de repuestos	87
Tabla 36. Costos de herramientas de trabajo	88
Tabla 37 Costos de operación y mantenimiento totales	88
Tabla 38. Adquisición 1	89
Tabla 39. Adquisición 2	89
Tabla 40. Adquisición 3	90
Tabla 41. Comparación de los métodos financieros en las alternativas	93

## LISTADO DE GRÁFICAS

	pág
Gráfica 1. Reacciones estáticas ejercidas por el motor	38
Gráfica 2. Plano x-y de las cargas en los apoyos	39
Gráfica 3. Diagrama de cuerpo libre viga delantera superior	43
Gráfica 4. Diagramas de fuerza cortante y momento flector	47
Gráfica 5. Diagrama de cuerpo libre viga delantera inferior	48
Gráfica 6. Diagramas de fuerza cortante y momento flector	52
Gráfica 7. Cálculo de la fuerza resultante.	57

## LISTADO DE FIGURAS

	pág
Figura 1. Esquema del sistema de inyección electrónica de gasolina.	20
Figura 2. Modelo del motor para el banco didáctico de pruebas	27
Figura 3. Boceto de los componentes del banco didáctico del motor	33
Figura 4. Tanque de combustible	33
Figura 5. Dimensiones de batería Varta 680A	34
Figura 6. Componentes del exosto	34
Figura 7. ECU (Unidad de control de motor)	35
Figura 8. Explosionado del radiador	36
Figura 9. Dimensiones del radiador	36
Figura 10. Esquema de la estructura con sus componentes	37
Figura 11. Cargas ejercidas por el motor en la estructura	41
Figura 12. Esquema de la estructura con las cargas críticas	42
Figura 13. Funciones de singularidad	44
Figura 14. Valores de K para la longitud efectiva.	54
Figura 15. Factores de geometría para análisis de soldadura	56
Figura 16. Esquema de la estructura.	59
Figura 17. Soporte de motor	60
Figura 18. Detalle del sistema eléctrico asumido fase I	61
Figura 19. Estado de cargas y restricciones.	63
Figura 20. Simulación del desplazamiento nodal de la estructura	64
Figura 21. Simulación del esfuerzo nodal de la estructura	64
Figura 22. Partes del banco didáctico de pruebas.	65
Figura 23. Conexión interfaz con el computador	68
Figura 24. Visualización de datos en tablas en ScanMaster-ELM	69
Figura 25. Visualización de datos en gráficas en ScanMaster-ELM I	70
Figura 26. Visualización de datos en gráficas en ScanMaster-ELM II	70
Figura 27. Visualización de datos cuantitativos en ScanMaster-ELM	71
Figura 28. Visualización de códigos de falla en ScanMaster-ELM	72

## LISTADO DE ANEXOS

	pág
Anexo A. Catálogo de láminas	101
Anexo B. Catálogo del perfil seleccionado	101
Anexo C. Catálogo de ruedas	102
Anexo D. Catálogo de la selección del electrodo	103
Anexo E. Esquema eléctrico OBD2	104
Anexo F. Cotización de Autotools Ltda.	105
Anexo G. Códigos de falla	111
Anexo H. Planos	112

## GLOSARIO

ASME: (American Society of Mechanical Engineers) Sociedad Americana de Ingenieros Mecánicos.

CAE: Costo Anual Equivalente

CLIQUETEO: Explosión anómala en el proceso de combustión

DESENGRASABLE: Superficie que permite el fácil retiro y limpieza de grasas y aceites que se desprenden del motor.

ECU: (Engine control unit) Unidad de control del motor.

INYECCIÓN: Permite que el motor reciba solamente el volumen de combustible que necesita.

MPFI: (Multi Point Fuel Injection) Inyección multipunto de combustible.

OBD II: (On Board Diagnostic) Diagnóstico a bordo.

RELÉ: Responsable por mantener la alimentación eléctrica de la batería para la bomba de combustible y otros componentes del sistema.

VPN: Valor Presente Neto

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en el diseño de un banco didáctico para pruebas de un motor de combustión interna; este banco será utilizado por estudiantes de ingeniería mecánica para que consoliden y comprendan de mejor manera los conocimientos adquiridos durante su proceso formativo y les permita a través de las prácticas reconocer las fallas y así mismo proponer soluciones viables, que pueden ser probadas en un ambiente de aula especializada de diagnóstico, reparación, mantenimiento, identificación y corrección de fallas.

Inicialmente se toma en cuenta para el diseño del banco didáctico de pruebas uno de los modelos de motor más vendidos en Colombia y que cumple con las características que solicita el cliente y por otra parte que pueda realizar las pruebas estandarizadas para el ejercicio didáctico; para el diseño del banco didáctico de pruebas se realizó un diseño conceptual de cómo estaría distribuido cada uno de los soportes del motor, sistema de diagnóstico, accesorios e implementos anexos que llevará acabo el banco para su funcionamiento.

De igual manera fue importante contemplar la estructura base que soportaría el peso de todos los elementos componentes del banco y para ello se realizó un análisis de elementos finitos revisando entro otros que tanto se deforma una estructura hasta encontrar la estructura ideal.

Se realizaron los manuales de operación y mantenimiento para que pueda ser consultado y difundido a las personas que operen el banco como los docentes, los estudiantes los guías de laboratorio; antes de ejecutar las prácticas de la asignatura.

Diseño de guías de trabajo práctico; con estas guías de laboratorio los estudiantes tendrán una metodología que seguir en cada práctica, esto complementará lo aprendido en las clases teóricas. Estas guías mencionan cómo se debe hacer una manipulación correcta de cada uno de los elementos, evitando así que se produzca alguna falla o algún incidente con los usuarios del banco.

Por último, se hace el respectivo análisis financiero para ver la viabilidad del proyecto comparado con otras fuentes de adquisición.

Palabras claves:

- Didáctico
- Motor MPFI
- Estructura
- Combustión

## INTRODUCCIÓN

De acuerdo con estudios sobre estadística de vehículos particulares, Colombia cuenta con políticas que promueven la penetración del sector automotor. En la actualidad según la revista Dinero el parque automotor en Colombia se ubica en 3,7 millones de automóviles, lo cual implica un promedio de 80 unidades por cada mil habitantes esto implica que la demanda de revisiones, diagnósticos y mantenimientos para estos vehículos va en aumento<sup>1</sup>; por tanto, el personal para realizar estas pruebas debe ser preparado adecuadamente y el banco de prueba es una herramienta didáctica que permite al estudiante fortalecer el manejo de esta competencia.

Mediante el uso del banco de pruebas didáctico para motores de combustión el estudiante de ingeniería mecánica va a tener un contacto más cercano con la industria automotriz durante sus prácticas profesionales, de tal forma que su desempeño demuestre eficiencia, calidad, rigor, capacidad innovadora para una efectiva inserción laboral que le permita ejecutar de la mejor manera su labor profesional.

En este proyecto se presenta el diseño de un banco didáctico de pruebas didáctico para motores de combustión interna, acorde con las necesidades y solicitudes de la Universidad, el cual cumple con la normatividad vigente y cubre las pruebas típicas requeridas para que los estudiantes puedan realizar sus prácticas y fortalecer sus habilidades y competencias; de igual manera se presenta el manual de operación del banco en el que se describe claramente la metodología a seguir para la manipulación del banco de pruebas y se realizaron las guías de apoyo para el desarrollo de las prácticas.

El objetivo general del proyecto es diseñar un banco didáctico para pruebas de un motor de combustión interna, para ello es necesario cumplir con los siguientes ítems que permitan un buen desarrollo del propósito inicial:

- Definir las necesidades de capacitación que serán suplidas por el banco didáctico, así como los requerimientos del cliente.
- Seleccionar el motor adecuado para el diseño del banco didáctico.
- Realizar el diseño conceptual del banco didáctico con el motor seleccionado.
- Realizar el diseño detallado de los sistemas y componentes del banco didáctico.
- Establecer los requerimientos y parámetros de diseño del banco didáctico.

---

<sup>1</sup>[Revista Motor]Colombia Tendrá 3,5 Millones De Vehículos a 2020. Colombia tendrá 3,5 millones de vehículos a 2020.

- Analizar mediante el método de elementos finitos los esfuerzos y deformaciones que sufre la estructura al ser sometida a las cargas ejercidas por el motor.
- Implementar un manual de usuario para el manejo adecuado del banco didáctico.
- Elaborar guías de laboratorio para desarrollar en las prácticas con el banco didáctico.



2. Filtro de combustible: Filtro metálico de alta presión, que evita que pasen partículas indeseadas al sistema de admisión.
3. Regulador de presión: Mantiene la presión necesaria para que el inyector pueda funcionar, la gasolina sobrante la devuelve al depósito de combustible.
4. Inyector: Suministra la cantidad necesaria de gasolina que le indica el calculador, para poder hacer la combustión en los cilindros.
5. Captador de presión del múltiple: Mide la presión absoluta en el ducto para así saber el caudal de aire que hay en ese punto.
6. Sensor de temperatura. Mide la temperatura del refrigerante.
7. Filtro de aire: Retiene las impurezas que trae el aire absorbido por la válvula de admisión (TPS).
8. Interruptor de mariposa: Controla el flujo de aire que ingresa al motor.
9. Calculador: Es un procesador con memoria interna, que recibe señales de los sensores y las envía a los actuadores.
10. Relé de comando: Encargado de controlar las señales enviadas por los sensores antes de llegar al calculador.
11. Bujía: Encargado de accionar la chispa que genera la combustión en el cilindro.

Este sistema de alimentación garantiza un flujo sin fluctuaciones bruscas de caudal y presión, y que la cantidad de gasolina inyectada dependa solamente del tiempo de apertura de los inyectores.<sup>3</sup>

- Inyección Directa. El inyector se encuentra en contacto con la cámara de combustión y suministra el combustible al interior de esta.
- Inyección Indirecta. El combustible es introducido al exterior de la cámara de

---

<sup>3</sup> MARTÍ PARERA, Albert. Inyección Electrónica En Motores De Gasolina. México: Alfaomega, 1996.

combustión. Los inyectores están situados en el colector de admisión, que es la zona donde se inyecta el combustible. Posteriormente entra la mezcla de aire y combustible en el interior del cilindro al abrirse la válvula de admisión.<sup>4</sup>

- Inyección Multipunto. Utiliza una válvula de inyección para cada cilindro del motor justo a la entrada de la culata.
- Inyección Secuencial. Sistema de inyección por pulsos en el cual un inyector pulsa en el mismo orden que el orden de encendido.
- Inyección Simultánea. Sistema de inyección por pulsos en el cual los inyectores suministran el combustible en la cantidad de cilindros al mismo tiempo.

---

<sup>4</sup> VILLALTA,Luis. Aplicación De Procedimientos Del Fabricante En La Reparación Del Sistema De Inyección Electrónica. Elsevier, 2016. p. 4-5

## 2. SITUACIÓN ACTUAL

Los laboratorios son espacios de trabajo de la comunidad universitaria que tiene como objetivo poner en práctica los conocimientos adquiridos en el aula. Dentro de las prácticas desarrolladas están las prácticas de laboratorio, investigación y extensión, dentro de las cuales las que más acercan al estudiante a la realidad de lo visto en las asignaturas, son las experimentaciones convencionales, como es el caso de motores, en donde es muy importante que el estudiante se apropie de los conocimientos teóricos con la práctica como unidad de apoyo.

Por este motivo se hace indispensable que el ingeniero mecánico tenga los conocimientos y el manejo práctico para resolver problemas de diagnóstico, reparación, mantenimiento, identificación y corrección de fallas, ofreciendo soluciones eficaces, idóneas y económicamente viables para el mejoramiento de la industria.

### 2.1 REQUERIMIENTOS DEL CLIENTE

El banco didáctico de pruebas debe ser capaz de cumplir con unos parámetros mínimos para la práctica de laboratorio los cuales son:

- Observar y distinguir cada una de las partes del motor, para así detallar su distribución y comprender su ensamble.
- Poner en marcha el motor para explicar el funcionamiento de cada una de sus partes.
- Simular fallas físicas, en donde el docente interactúe con sus estudiantes al conectar y desconectar diferentes elementos para que al momento en el que los estudiantes pongan en marcha el motor, este no funcione correctamente y así puedan evaluar por qué está ocurriendo cada uno de los errores.
- Visualizar en una pantalla y mediante el sistema OBD2 el código de fallas que se generan, y otros datos técnicos del motor (rpm, temperaturas, presiones, compensadores, tiempos, entre otros).

### 2.2 PARÁMETROS Y REQUERIMIENTOS FUNCIONALES

Una de las funciones que debe cumplir el banco, es permitir la generación de fallas solicitadas por el cliente, que en este caso son los docentes a cargo de la práctica y los laboratoristas. Las prácticas pueden realizarse de diferente manera, esto depende de las destrezas que el docente quiera desarrollar durante las mismas:

- Se generan fallas por el docente, previo al ingreso de los estudiantes al aula y ellos deben diagnosticar el tipo de falla, la ubicación y el tratamiento correctivo.

- El estudiante interrumpe las señales eléctricas y evidencia la falla producida.

Por lo tanto, se requiere tener un listado general de las fallas y avisos que pueden provocarse en el motor sin afectar componentes de los sistemas de funcionamiento, las cuales son:

2.2.1 Fallas y señales del motor. Cada sistema tiene una serie de señales y fallas que representan las condiciones a las que está operando cada sistema.

#### Refrigeración

- Sobrecalentamiento del motor
- Temperatura de disparo del ventilador
- Cliqueteo
- Sobrecalentamiento del Motor
- Sensor de temperatura del refrigerante del motor

#### Lubricación

- Nivel de aceite
- Presión del aceite

#### Combustión

- Sensor de oxígeno
- Sensor de temperatura del aire ambiente
- Sensor masa/volumen del aire
- Sensor presión absoluta del múltiple
- Sensor temperatura aire de admisión
- Sensor posición mariposa de acelerador
- Regulación de inyección
- Sensor composición de combustible
- Sensor rampa de combustible
- Sensor riel de combustible
- Bomba de combustible
- Explosión en los cilindros
- Sensor detonación
- Sensor Árbol de levas
- Sensor de velocidad del motor (rpm)
- Sistema control ralentí

#### Escape

- Recirculación gases de escape
- Sistema inyección aire secundario
- Sistema catalizador

- Sistema de emisiones evaporación
- Válvula de purga

#### Arranque

- Batería
- Motor de arranque

#### ECU

- Módulo control del motor

2.2.1.1 Convenciones de los códigos de falla. Para facilitar el diagnóstico de un motor se establecieron unas convenciones generales en la industria automotriz, los cuales son:

P: Motor

X0 Fabricante (genérico)

XX0 Ubicación

XXX00 Descripción

P 0 0 XX Escape

P 0 1 XX Escape

P 0 2 XX Inyección

P 0 3 XX Ignición

P 0 4 XX Emisiones

P 0 5 XX Aceleración

P 0 6 XX Módulo ECU

2.2.2. Parámetros de diseño. Establecen características funcionales que debe cumplir el banco para su uso adecuado por parte de los usuarios:

1. El tablero de control debe estar alineado con el motor para tener mejor visibilidad y maniobrabilidad del banco.
2. Los implementos que no se manipulan con frecuencia van ubicados en la parte inferior del banco, como son el radiador, el tanque de gasolina, el sistema de escape, el ECU.
3. La altura del banco es de 1.40 m.
4. Los cables del tablero de control deben ir dentro de un cajón cerrado para evitar su manipulación.
5. El banco no estará fijo puesto que se necesita movilidad para facilitar la limpieza del lugar, por ello tendrá ruedas con freno, para fijar la posición en donde vaya a usarse
6. El tablero de control estará conectado a la red eléctrica del salón, por ello el suministro de energía eléctrica será de 220 V a 60Hz.
7. Debe diseñarse el sistema de escape en donde se haga la salvedad que la

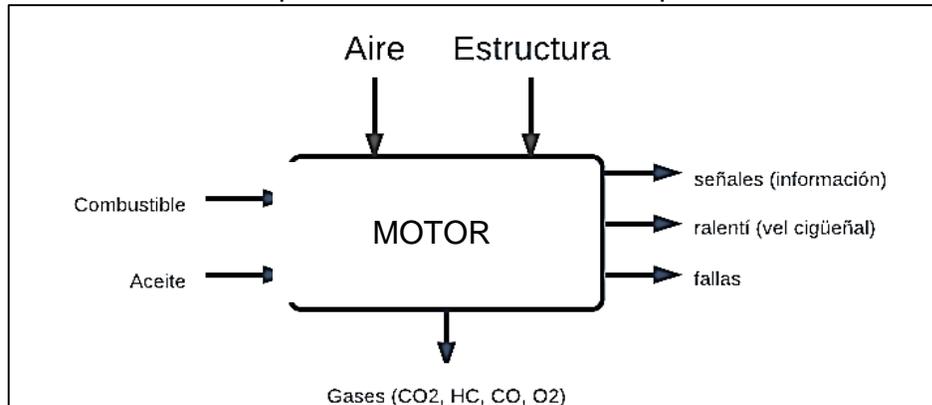
Universidad debe tener un sistema de extracción de gases adicional que se conecte al nuestro.

8. La superficie donde se ubique el banco debe ser lavable y desengrasable.
9. El banco debe contar con un extintor (será un requerimiento externo y debe ir en el manual de operación)
10. El banco debe tener un cajón para guardar los accesorios para las prácticas de laboratorio, para ello se debe tener los elementos que van adentro del cajón (cables, fusibles, voltímetro, termómetro).

### 3 SELECCIÓN DE ALTERNATIVA Y DISEÑO CONCEPTUAL

En este capítulo se muestra las variables que inciden en la elaboración del banco, como se ve en la figura 2, donde, al lado izquierdo se encuentran las señales de entrada, en la parte superior están los agentes externos, en la parte inferior los residuos y a la derecha las señales de salida.

Figura 2. Modelo del motor para el banco didáctico de pruebas



#### 3.1 PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

Con el fin de satisfacer las necesidades del cliente, se decidió hacer una muestra con tres alternativas definidas a partir de las opciones que ofrece el mercado, es decir, la asequibilidad del motor y el desempeño comercial.

##### 3.1.1 Alternativa Chevrolet Spark Gt.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del motor Spark GT

Marca	Chevrolet
Modelo	Spark
Motor	1.2 16V (81 Hp)
Potencia máxima	81 CV /6400rpm.
Velocidad máxima	164 km/h
Posición del motor	Frente, transversalmente
Cilindrada -real-	1206 cm3
Par máximo	111 Nm /4800rpm.
Sistema de combustible	inyección multipunto
Distribución	DOHC

Tabla 2.(continuación) Especificaciones técnicas del motor Spark GT

Construcción de los cilindros	En línea
Número Cilindros	4
Diámetro del cilindro	69.7 mm.
Recorrido del cilindro	79 mm.
Ratio de compresión	9.8
Número de válvulas por cilindro	4
Combustible	Gasolina
Clasificación de los gases de escape	EURO V

Fuente: Manual de usuario Chevrolet Spark

### 3.1.2 Alternativa Renault Megane II.

Tabla 3. Especificaciones técnicas del motor Renault Megane II

Marca	Renault
Modelo	Megane
Motor	1.6 16V WT (115 Hp)
Potencia máxima	115 CV /6000rpm.
Velocidad máxima	192 km/h
Posición del motor	Frente, transversalmente
Cilindrada -real-	1598 cm <sup>3</sup>
Par máximo	152 Nm /4200rpm.
Sistema de combustible	inyección multipunto
Distribución	DOHC
Construcción de los cilindros	En Línea
Número Cilindros	4
Diámetro del cilindro	79.5 mm.
Recorrido del cilindro	80.5 mm.
Ratio de compresión	10
Número de válvulas por cilindro	4
Combustible	Gasolina

Fuente: Manual de usuario Renault Megane

### 3.1.3 Alternativa Hyundai Atos 1.0.

Tabla 4. Especificaciones técnicas del motor 1.0 MPFI

Código del Motor	G4HC
Motor	Delantero transversal
Número de cilindros	4 en línea
Tipo	SOHC 12 Válvulas
Cilindrada	999 cc
Potencia Máxima (HP/rpm)	55/5.500
Par Motor Máximo (Nm/rpm)	84,3/3.250

Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 20-4

Tabla 5. Datos técnicos del sistema de lubricación.

Aceite de Motor (capacidad)	2,8 litros
Grado de aceite	Mineral SAE 15W40
	Semisintético SAE 10W40
	Aceite sintético SAE 5W40
Bomba de aceite (presión)	127 KPa

Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 10-2

Tabla 6. Datos técnicos del sistema de refrigeración

Método	Circulación forzada con ventilador
Radiador (rendimiento)	27.000 kcal/h
Radiador (temp. de funcionamiento)	85±3°C
Termostato (temp. de apertura)	82°- 95°C
Recomendado	Glicol de etileno
Concentración del refrigerante	40%
Cantidad de refrigerante	6 litros
Bomba del refrigerante	Paletas de tipo centrífugo

Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 25-2

Tabla 7. Datos técnicos del sistema de encendido.

Tipo	MAP-DIS
Secuencia de encendido	1-3-4-2
Tensión de la bobina	12V
Ralentí (rpm)	820-980

Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 27-32

Tabla 8. Datos técnicos del sistema de alimentación de combustible

Combustible	Gasolina
Alimentación	Inyección electrónica multipunto indirecta secuencial
Inyector	Electromagnético
Presión regulada del sistema	300 KPa
Relación de compresión	9,7:1

Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 31-2

Tabla 9. Datos técnicos del sistema de interfaz ECU

Fabricante	DELCO ELECTRONICS
Serie	RX45XLS23
Voltaje nominal de entrada	12 voltios DC
Voltaje nominal de salida	Actuadores: 12 Voltios DC
	Sensores: 5 Voltios DC

Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 27-32

### 3.2 EVALUACIÓN DE LAS ALTERNATIVAS

Los parámetros principales de selección del motor que se tuvieron en cuenta fueron la facilidad de adquisición comercial, bajo costo de mantenimiento que incluye la disponibilidad de repuestos y la mano de obra. Por ello, solo el motor Atos fue del que se obtuvo toda la información requerida para realizar los cálculos de diseño (estáticos, dinámicos, información de fabricante) para el banco didáctico de pruebas y continuar con la fase de diseño conceptual.

3.2.1 Control Electrónico del motor. Con la llegada de la gestión electrónica, el vehículo dispone de un cerebro electrónico que controla el tiempo de apertura de los inyectores y la cantidad exacta de combustible que va a suministrar en función del número de revoluciones por minuto del cigüeñal, el ingreso del flujo de aire, para que la computadora controle el consumo de combustible en función de la relación de compresión.<sup>5</sup>

### 3.3 CONCEPTUALIZACIÓN DE LA ALTERNATIVA SELECCIONADA

Cuando se habla de un motor es fundamental revisar cada una de sus partes, las cuales dependen unas de otras para trabajar correctamente y así dar un buen funcionamiento al motor, evitando que se produzcan fallas o inconsistencias al momento de ponerlo en marcha.

Partiendo de la figura 2., discretizamos en la tabla 10, las variables que influyen en el proceso de combustión del motor con el fin de esclarecer los parámetros a medir.

Tabla 10. Variables del proceso

	<b>Entrada</b>	<b>Salida</b>	<b>Desechos</b>
<b>Refrigeración</b>	Agua Líqu. Refrigerante Aire		Agua Calor
<b>Lubricación</b>	Aceite	-	-
<b>Combustión</b>	Gasolina Aire	Gases	Calor
<b>ECU</b>	Señal eléctrica (Batería)	Señal eléctrica (Actuador)	-
<b>Escape</b>	Gases	Gases	Material sólido
<b>Encendido</b>	Batería (S. eléctrica)	Chispa eléctrica	
<b>Alternador</b>	Batería (S. eléctrica)	Corriente CC	

La descripción del modelo funcional del motor la realizamos con la misma clasificación de las variables del proceso, en la cual detallamos los componentes necesarios para cada sistema.

#### Refrigeración

- Ventilador
- Radiador
- Filtro de aire

#### Lubricación

<sup>5</sup> MARTÍ PARERA, Albert. Inyección Electrónica En Motores De Gasolina. México: Alfaomega, 1996. 9701502183

- Bomba de lubricación

#### Unidad de control del motor (ECU)

- Sensor de Presión del múltiple
- Regulador de combustible
- Sensor de velocidad (rpm)
- Sensor de posición del cigüeñal
- Sensores de temperatura
- Sensor de nivel de aceite
- Sensor de combustible
- Sensor de oxígeno.

#### Combustión

- Pistones
- Bielas
- Cigüeñal (soportado por cojinetes de bancada)
- Válvulas
- Inyectores
- Árbol de levas
- Depósito de gasolina

#### Escape

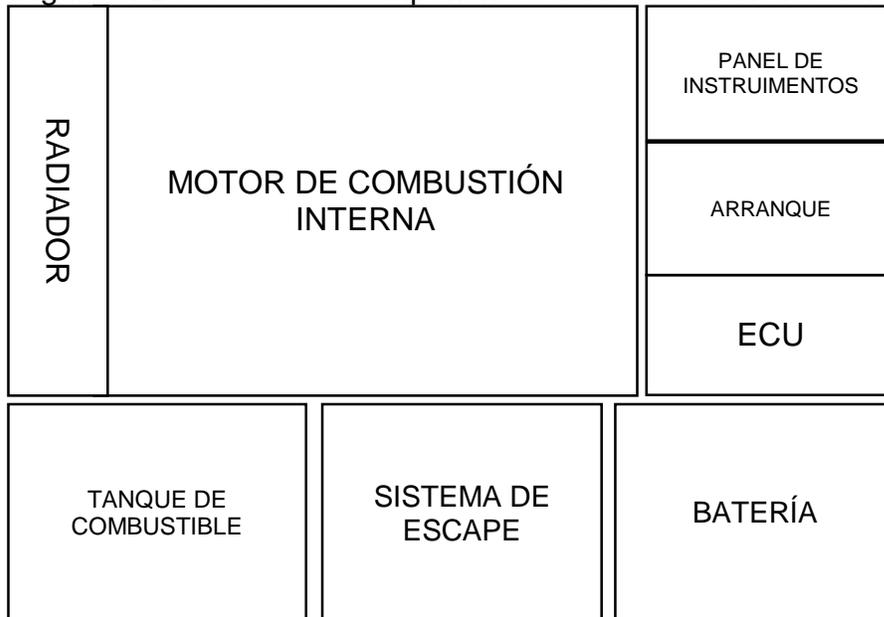
- Colector de escape
- Catalizador
- Silenciador
- Sensor Lambda

#### Arranque

- Batería
- Bobina
- Bujías
- Interruptor

Para el diseño del banco didáctico de pruebas es fundamental conocer las piezas que lo conformarán, teniendo en cuenta su forma, tamaño, y función que desempeña cada una. Para ejemplificar la distribución de los elementos en el banco, se hace un boceto de como estarán situados en la estructura.

Figura 3. Boceto de los componentes del banco didáctico del motor



El banco didáctico está compuesto por tres componentes básicos: el sistema de alimentación, el sistema de manipulación y el sistema de escape.

3.3.1 Sistema de alimentación. Depósito de combustible: Debe tener una bomba que le permita llevar la gasolina con la presión adecuada a las válvulas de admisión. Este tanque no será el original del carro ya que sus dimensiones son muy grandes para el banco, por lo cual, se dispondrá de un tanque de 6 galones (figura 4) al cual se le implementará el sistema de bombeo.

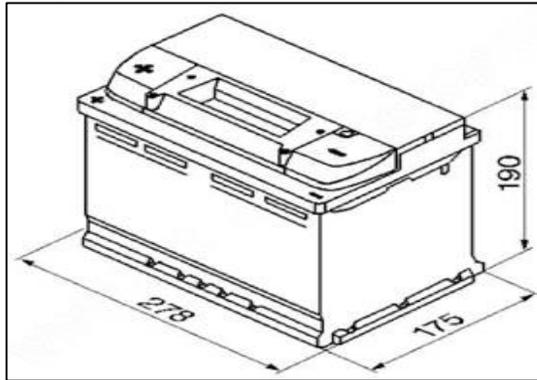
Figura 4. Tanque de combustible



Fuente: Summit racing equipment

Batería: Para el arranque de motor no se necesita una batería de gran amperaje, lo importante es que sea capaz de generar un voltaje mínimo de 12 voltios necesarios para que el ECU funcione correctamente. Se selecciona una batería de bajas dimensiones como se puede observar en la figura 5, para evitar que ocupe mucho espacio en el banco didáctico de pruebas.

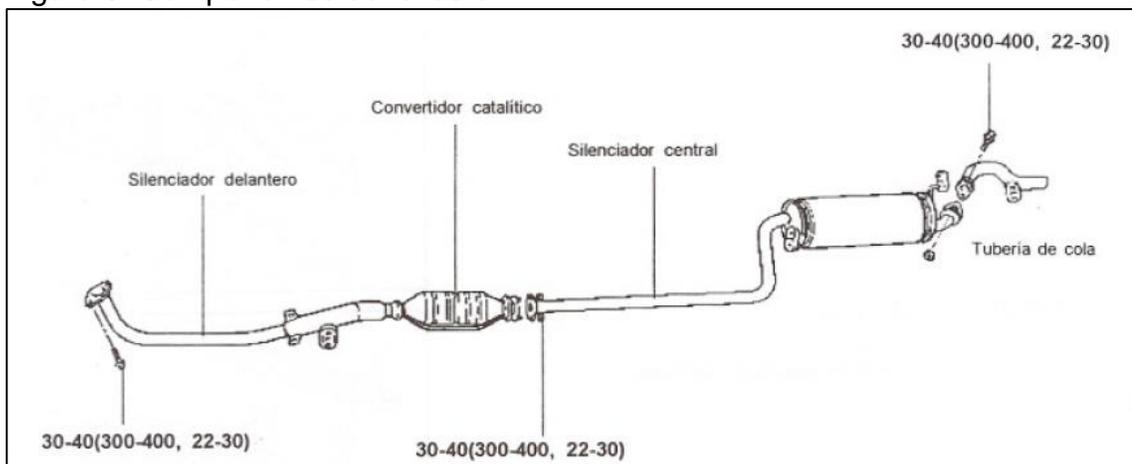
Figura 5. Dimensiones de batería Varta 680A



Fuente: <https://bateriafacil.com/producto/bateria-de-coche-varta-b2/>

3.3.2 Sistema de escape. Está compuesto por tres elementos indispensables, para que pueda cumplir las normas que rigen las partículas contaminantes que se detallan en un análisis de gases. El catalizador filtra las partículas provenientes de los gases de escape, haciendo así que las toxinas que se expulsan a la salida del exosto, sean menos contaminantes. Además, cuenta con un silenciador que rompe las olas de sonido provenientes del motor, para que los decibeles que emite sean aptos para el oído humano. Este sistema debe tener un tubo de conexión con la longitud más larga posible para que disminuya la temperatura de los gases, y así hacer óptimo el sistema.

Figura 6. Componentes del exosto



Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 28

3.3.3 Sistema de manipulación. ECU: La computadora a bordo debe estar conectada a la batería y al motor, ya que es la encargada de controlar los sensores y actuadores que permiten el correcto funcionamiento del motor; además, de esta se extrae la información del OBD2 para visualizarla en la pantalla del ordenador y en los diferentes indicadores de carátula.

Figura 7. ECU (Unidad de control de motor)



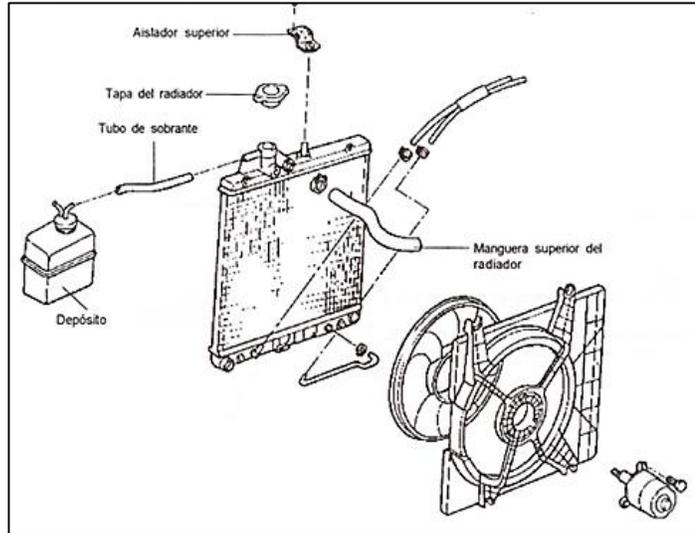
Fuente: Cesvi Repuestos

**Arranque:** Conectado al motor de arranque, será el encargado de poner en marcha el cigüeñal del motor. Se utilizará un interruptor original para evitar que el sistema electrónico bloquee el ECU.

**Motor:** Se sujetará mediante tres puntos de apoyo los cuales están preestablecidos de fábrica para que puedan soportar las fuerzas estáticas y dinámicas generadas por este. Además, tiene soportes de caucho los cuales reciben las vibraciones generadas por el motor.

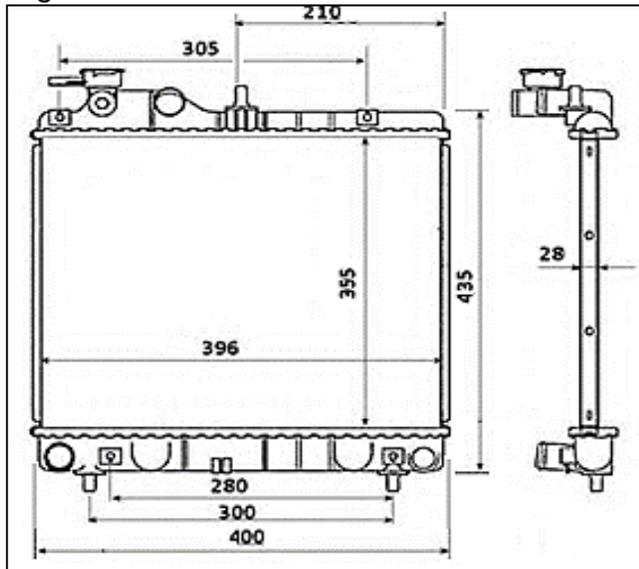
**Radiador:** Este tiene dos puntos de apoyo en la parte inferior, mientras que en la parte superior tiene un punto de apoyo con un perno que estará sujeto a la estructura del banco. Las mangueras deben quedar a la medida exacta, para que alcancen a conectarse a los dos puntos de circulación del refrigerador con el motor. El ventilador viene sujeto y conectado al radiador para así disminuir la temperatura y no llegar a un sobrecalentamiento que dañaría el motor.

Figura 8. Explosionado del radiador



Fuente Manual técnico de reparación HYUNDAI. c. 25-2

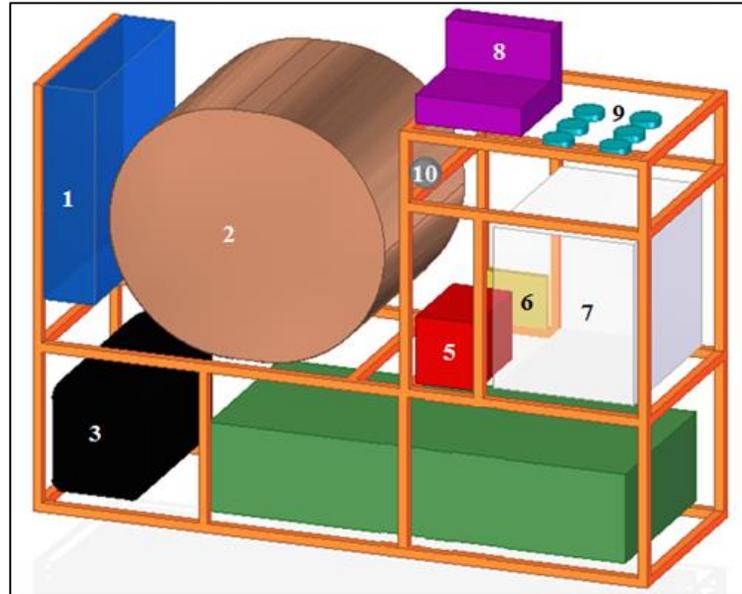
Figura 9. Dimensiones del radiador



Fuente: Anxan.machinery.co/radiador

De igual forma, se realiza el boceto con los componentes incorporados en la estructura como se observa en la figura 10, de tal forma que pueda evidenciarse esquemáticamente el volumen y la ubicación de cada uno.

Figura 10. Esquema de la estructura con sus componentes



Una vez se tienen los pesos de cada uno de los elementos que compone el banco como se muestran en la tabla 11, se procede a hacer la distribución de fuerzas aplicadas en cada una de las secciones de la estructura.

Tabla 11. Pesos aproximados de los componentes del banco didáctico

No	Componente	Peso aproximado (Kgf)
1	Radiador	6
2	Motor	79
3	Tanque de combustible	16
4	Silenciador y catalizador	3
5	Batería	13
6	ECU	16
7	Almacenamiento de herramienta	7
8	Computador	3
9	Indicadores de carátula	0,5
10	Arranque	0,3

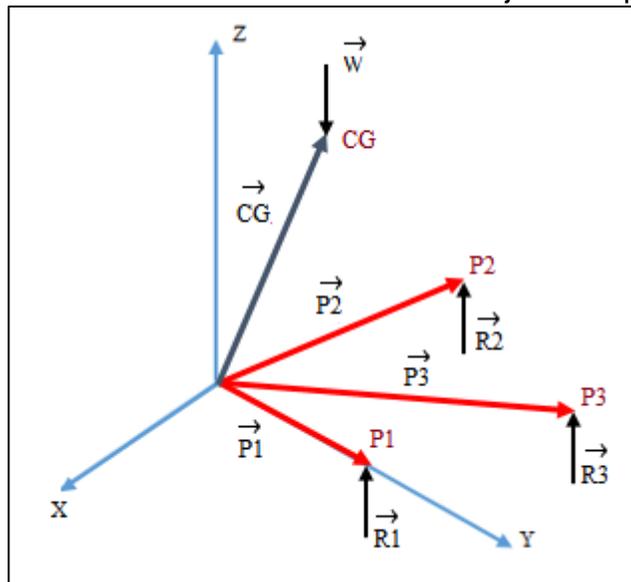
## 4 DISEÑO DETALLADO

Resume brevemente los cálculos realizados para el diseño de la estructura, basado en las fuerzas que ejerce el motor y sus componentes en la estructura.

### 4.1 CÁLCULOS ESTÁTICOS DE LAS FUERZAS EJERCIDAS POR EL MOTOR

El motor como elemento principal, no cuenta con una geometría regular ni una distribución uniforme del peso, por lo cual es necesario hacer el cálculo de la distribución de cargas en cada uno de sus apoyos. En la gráfica 1, se muestran como están distribuidas las cargas estáticas en los tres apoyos que tiene el motor, relacionados con los ejes de las coordenadas x, y, z.

Gráfica 1. Reacciones estáticas ejercidas por el motor



Donde:

$\vec{CG}$ : Centro de Gravedad

$\vec{P1}$ : Vector apoyo 1

$\vec{P2}$ : Vector apoyo 2

$\vec{P3}$ : Vector apoyo 3

$\vec{R1}$ : Reacción en el apoyo 1

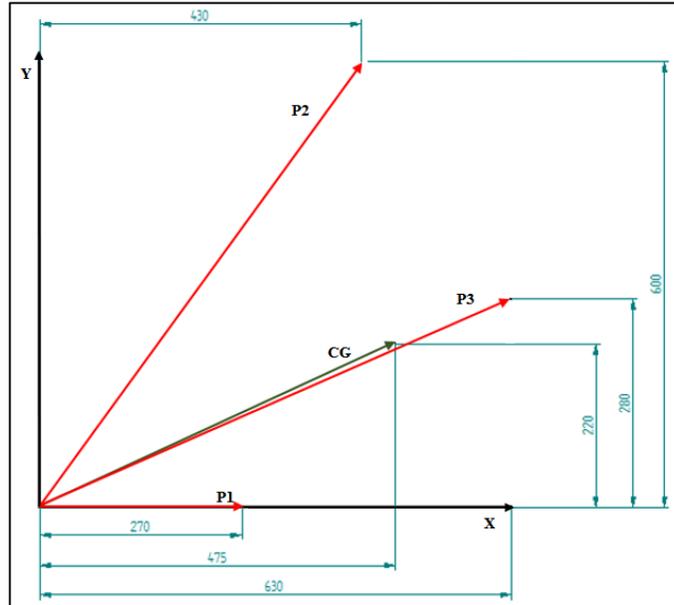
$\vec{R2}$ : Reacción en el apoyo 2

$\vec{R3}$ : Reacción en el apoyo 3

$\vec{W}$ : Peso del motor

En la gráfica 2 se detallan las cargas de los apoyos desde eje de coordenadas x-y, para así visualizar las distancias a las que están siendo aplicadas estas cargas. Los cálculos estáticos se evalúan bajo el peso del motor (W), el cual es de 79 Kgf y se toma desde el centro de gravedad del motor.

Gráfica 2. Plano x-y de las cargas en los apoyos



Se realiza el equilibrio estático, haciendo la suma de vectorial del peso y las correspondientes reacciones, a través del producto cruz de los vectores.

$$\begin{aligned} \Sigma \vec{F} &= \vec{0} \\ \vec{0} &= \vec{w} + \vec{R}_1 + \vec{R}_2 + \vec{R}_3 \\ \hat{i} \quad 0 &= 0 \\ \hat{j} \quad 0 &= 0 \\ \hat{k} \quad 0 &= 0 \end{aligned}$$

Se descompone la ecuación de equilibrio en sus tres componentes vectoriales, como solo se generan cargas en el eje z las otras dos componentes resultaran en 0.

$$\begin{aligned} \Sigma \vec{M}_O &= \vec{0} \\ \vec{0} &= \vec{P}_1 \times \vec{R}_1 + \vec{P}_2 \times \vec{R}_2 + \vec{P}_3 \times \vec{R}_3 + \vec{CG} \times \vec{W} \end{aligned}$$

Se hace sumatoria de momentos desde el punto de origen del eje de coordenadas, para así sacar las otras dos ecuaciones que se necesitan para determinar el valor las reacciones.

$$\vec{O} = (P_{1x}\hat{i} + P_{1y}\hat{j} + P_{1z}\hat{k}) \times (R_1\hat{k}) + (P_{2x}\hat{i} + P_{2y}\hat{j} + P_{2z}\hat{k}) \times (R_2\hat{k}) + (P_{3x}\hat{i} + P_{3y}\hat{j} + P_{3z}\hat{k}) \times (R_3\hat{k}) + (CG_x\hat{i} + CG_y\hat{j} + CG_z\hat{k}) \times (-W\hat{k})$$

$$\vec{O} = -P_{1x}R_1\hat{j} + P_{1y}R_1\hat{i} - P_{2x}R_2\hat{j} + P_{2y}R_2\hat{i} - P_{3x}R_3\hat{j} + P_{3y}R_3\hat{i} + CG_xW\hat{j} - CG_yW\hat{i}$$

$$\langle \hat{i} \rangle 0 = -P_{1x}R_1 - P_{2x}R_2 - P_{3x}R_3 + CG_xW$$

$$\langle \hat{j} \rangle 0 = P_{1y}R_1 + P_{2y}R_2 + P_{3y}R_3 - CG_yW$$

$$\langle \hat{k} \rangle 0 = 0$$

Se dispone a hacer el sistema matricial 3x3 de las ecuaciones anteriores resultantes de la sumatoria de fuerzas y momentos.

$$0 = -P_{1x}R_1 - P_{2x}R_2 - P_{3x}R_3 + CG_xW$$

$$0 = P_{1y}R_1 + P_{2y}R_2 + P_{3y}R_3 - CG_yW$$

$$0 = -W + R_1 + R_2 + R_3$$

Se rempazan los valores conocidos en el sistema matricial dado.

$$0 = -0.27(R_1) - 0.43m(R_2) - 0.63m(R_3) + 0.475m(775N) \quad (1)$$

$$0 = 0(R_1) + 0.6m(R_2) + 0.28m(R_3) - 0.22m(775N) \quad (2)$$

$$0 = -775N + R_1 + R_2 + R_3 \quad (3)$$

Teniendo las tres ecuaciones (1, 2, 3), con tres incógnitas (R1, R2, R3), se evalúa bajo el método matricial de Gauss Jordán.

$$\begin{array}{ccc|c} & R_1 & R_2 & R_3 \\ 1 & -0.27 & -0.43 & -0.63 & -368.125 \\ 2 & 0 & 0.6 & 0.28 & 170.50 \\ 3 & 1 & 1 & 1 & 775 \end{array}$$

$$R_1 = 397.46 \text{ N}$$

$$R_2 = 278.86 \text{ N}$$

$$R_3 = 98.69 \text{ N}$$

## 4.2 CÁLCULOS DINÁMICOS DE LAS FUERZAS EJERCIDAS POR EL MOTOR

Para la condición dinámica, se tomó el análisis experimental que se hizo en la tesis titulada DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTACIÓN DE ENTRENAMIENTO DE MOTORES M.P.F.I PARA EL LABORATORIO DE LA UNIVERSIDAD DE AMÉRICA, ya que cuenta con el mismo motor escogido para este diseño.

En la tabla 12 se puede observar los resultados de la prueba de aceleración que se le hizo al motor en varios regímenes (arranque, parada, ralentí, aceleración súbita, máxima revolución) permitiendo registrar las magnitudes de la fuerza resultante de cada apoyo.<sup>6</sup>

Tabla 12. Distribución de cargas dinámicas.

Condición	Arranque	Parada	Ralentí 1000 RPM	Aceleración súbita	Régimen máximo 6000 RPM
Resultante					
Fuerza 1	441N	410N	394N	415N	390N
Fuerza 2	290N	313N	280N	285N	280N
Fuerza 3	107N	104N	100N	102N	102N

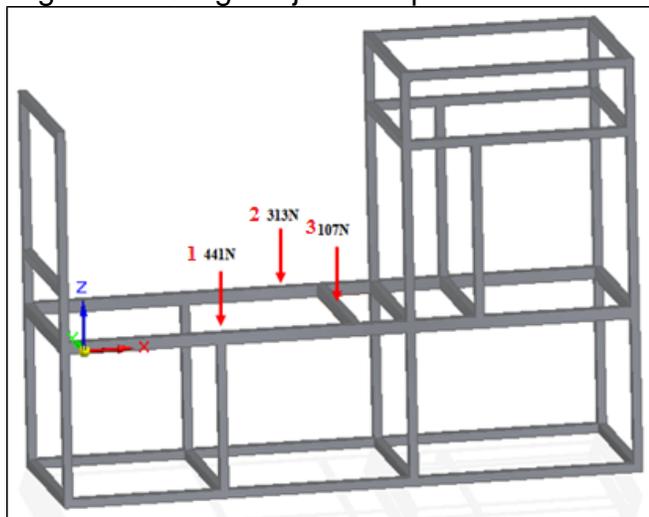
Fuente. Diseño y construcción de una estación de entrenamiento de motores M.P.F.I para el laboratorio de la Universidad de América.

### 4.3 DISEÑO ESQUEMÁTICO DE LA ESTRUCTURA

Teniendo en cuenta la tabla 12, las cargas dinámicas generadas por el motor son mayores a las cargas estáticas, por este motivo se diseña la estructura, bajo la mayor carga generada en cada soporte como se muestra en la figura 11. Se dispone a distribuir las cargas máximas (en rojo) de arranque y parada para cada apoyo.

Punto 1: Delantero motor - Punto 2: Trasero motor - Punto 3: lateral motor.

Figura 11. Cargas ejercidas por el motor en la estructura



<sup>6</sup> NARANJO SUAREZ, Julián y DI-AZ GUERRERO, Juan Pablo. Diseño Y Construcción De Una Estación De Entrenamiento De Motores M.P.F.I Para El Laboratorio De La Universidad De América. Bogotá, D. C.: Fundación Universidad de América, 2012.

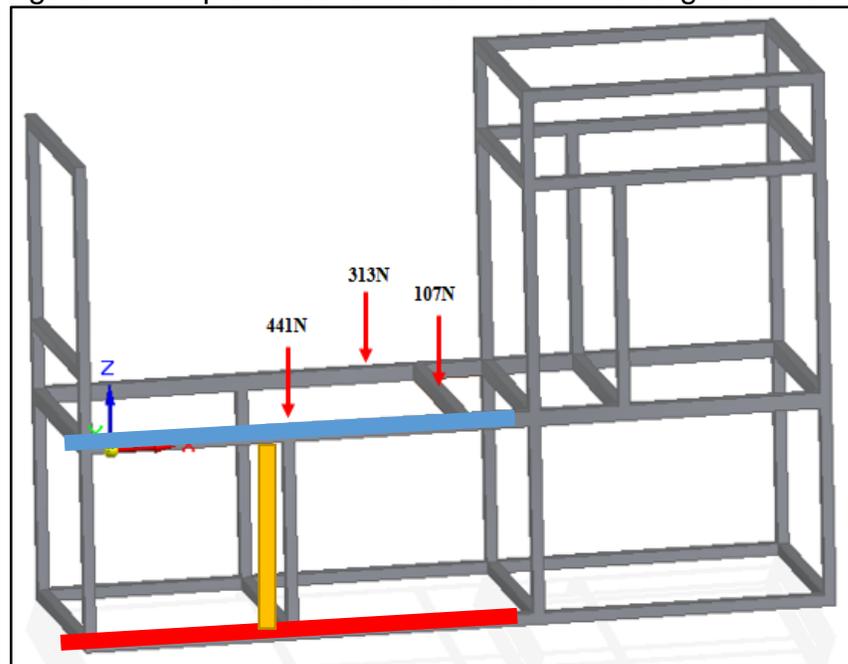
4.3.1 Selección del perfil. La estructura se comporta como un marco, en donde los elementos estructurales son vigas y columnas, para este caso, se selecciona el elemento estructural que soporta más cargas, y que está sometido a mayor esfuerzo, para ser analizado y así escoger el perfil.

Esta selección depende exclusivamente del módulo de sección obtenido, el cual vincula todas las reacciones y fuerzas existentes en la viga analizada. Una de las condiciones de diseño que permite definir correctamente el perfil es:

$$\sigma_{\text{máx}} \leq \sigma_{\text{permissible}}$$

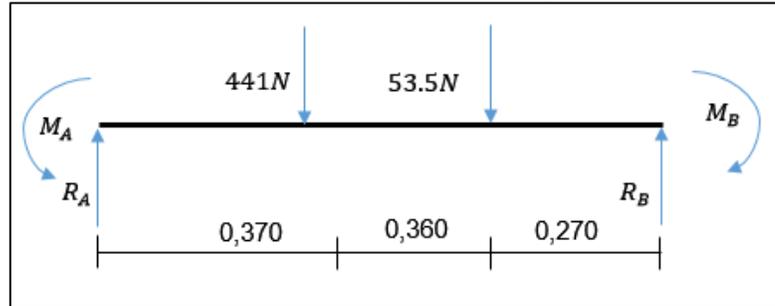
Este requisito establece que el esfuerzo máximo sobre la viga no debe sobrepasar al esfuerzo permisible del material de la estructura. Para escoger la viga estáticamente más cargada, se tuvo en cuenta la cantidad de cargas que soporta, la cantidad de apoyos que posee y la magnitud de sus fuerzas. Teniendo en cuenta éstos parámetros se pudieron determinar las dos vigas más cargadas de toda la estructura como lo muestra la figura 12, la viga delantera superior (azul) y la viga delantera inferior (rojo), la cual es la que soporta el tanque de combustible, ya que la primera recibía las cargas mayores y la segunda recibía las fuerzas transmitidas por la columna que las conecta y posee menos apoyos, por lo cual es muy probable que se defleccione con mayor facilidad.

Figura 12. Esquema de la estructura con las cargas críticas



4.3.2 Cálculo de la viga delantera superior. Se procede a hacer el diagrama de cuerpo libre de la viga delantera superior para determinar las fuerzas, momentos y reacciones que están aplicadas sobre ésta, teniendo en cuenta todas las dimensiones de construcción y de aplicación de las cargas.

Gráfica 3. Diagrama de cuerpo libre viga delantera superior



En seguida se realiza la sumatoria de fuerzas y de momentos en un punto determinado, para hallar las reacciones que se producen en los apoyos.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - 441\text{N} - 53,5\text{N} + R_B = 0$$

$$R_A - 494,5 \text{ N} + R_B = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$M_A - R_A(1\text{m}) + 441\text{N}(0,630\text{m}) + 53,5\text{N}(0,27\text{m}) - M_B = 0$$

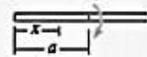
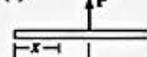
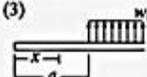
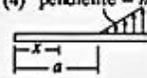
$$M_A - R_A + 277,83 + 14,445 - M_B = 0$$

$$M_A - R_A + 292,275 - M_B = 0$$

Después de hacer la sumatoria de fuerzas y momentos, se determina que es una viga estáticamente indeterminada o hiperestática, ya que a pesar de que estar en equilibrio, las ecuaciones de estática son insuficientes para determinar las reacciones y fuerzas internas. Por este motivo, se procede a hacer el estudio por el método de singularidad, para resolver la indeterminación en la viga.

El método establece inicialmente que se debe crear una función de momentos con todas las cargas, reacciones y momentos existentes en la viga, de tal forma que pueda analizarse el comportamiento estático que éstas producen. Para ello, se emplean las funciones de singularidad preestablecidas en la siguiente figura.

Figura 13. Funciones de singularidad

Carga	Función de carga $w = w(x)$	Cortante $V = \int w(x) dx$	Momento $M = \int V dx$
(1)  $M_0$	$w = M_0(x-a)^{-2}$	$V = M_0(x-a)^{-1}$	$M = M_0(x-a)^0$
(2)  $P$	$w = P(x-a)^{-1}$	$V = P(x-a)^0$	$M = P(x-a)^1$
(3)  $w_0$	$w = w_0(x-a)^0$	$V = w_0(x-a)^1$	$M = \frac{w_0}{2} (x-a)^2$
(4)  pendiente = $m$	$w = m(x-a)^1$	$V = \frac{m}{2} (x-a)^2$	$M = \frac{m}{6} (x-a)^3$
$\langle x - a \rangle^n = \begin{cases} 0 & \text{para } x < a \\ (x - a)^n & \text{para } x \geq a \end{cases}$ $n \geq 0$			

Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición. Página 234.

Analizando el diagrama de cuerpo libre de la viga delantera superior (gráfica 3) y la tabla de las funciones de singularidad (figura 13), se determinan las funciones para las cargas presentes y se construye la ecuación de momentos (1).

$$M(x) = -M_A \langle x - a \rangle^0 + R_A \langle x - a \rangle^1 - 441 \langle x - a \rangle^1 - 53.5 \langle x - a \rangle^1 \quad (1)$$

Ésta ecuación se integra para obtener la ecuación de pendiente (2).

$$E I \frac{dy}{dx} = -M_A \langle x - a \rangle^1 + \frac{R_A}{2} \langle x - a \rangle^2 - \frac{441}{2} \langle x - a \rangle^2 - \frac{53.5}{2} \langle x - a \rangle^2 + C_1 \quad (2)$$

Y finalmente, se integra una vez más para obtener la ecuación de la deflexión (3).

$$E I y = -\frac{M_A}{2} \langle x - a \rangle^2 + \frac{R_A}{6} \langle x - a \rangle^3 - \frac{441}{6} \langle x - a \rangle^3 - \frac{53.5}{6} \langle x - a \rangle^3 + C_1 x + C_2 \quad (3)$$

Nota: Cabe mencionar que el método no reconoce como valores útiles para el cálculo, valores negativos dentro de los corchetes, ni las fuerzas del extremo del origen de la viga. Las constantes  $x$  representan el punto donde se desea analizar la estructura al punto donde se aplica la fuerza.

Las constantes de derivación resultantes se hallaron utilizando condiciones de frontera, tales como:

Evaluación de condiciones de frontera

- Cuando  $x = 0$        $dy/dx = 0$        $C1 = 0$
- Cuando  $x = 0$        $y = 0$        $C2 = 0$

Las ecuaciones finalmente son las que se muestran en la tabla 13.

Tabla 13. Ecuaciones con las constantes definidas

<b>Pendiente:</b>	$E I \frac{dy}{dx} = -M_A \langle x - 0 \rangle^1 + \frac{R_A}{2} \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{441}{2} \langle x - 0,37 \rangle^2 - \frac{53.5}{2} \langle x - 0,73 \rangle^2$
<b>Deflexión:</b>	$E I y = -\frac{M_A}{2} \langle x - 0 \rangle^2 + \frac{R_A}{6} \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{441}{6} \langle x - 0,37 \rangle^3 - \frac{53.5}{6} \langle x - 0,73 \rangle^3$

Fuente: Autores

Teniendo las ecuaciones con todas las variables definidas, se escogieron puntos sobre el eje x en donde la deflexión y la pendiente tuvieran valores máximos, de la siguiente manera:

$$x = 1 \quad y = 0$$

Deflexión

$$E I y = -\frac{M_A}{2} \langle 1 - 0 \rangle^2 + \frac{R_A}{6} \langle 1 - 0 \rangle^3 - \frac{441}{6} \langle 1 - 0,37 \rangle^3 - \frac{53.5}{6} \langle 1 - 0,73 \rangle^3$$

$$0 = -\frac{1}{2} M_A + \frac{1}{6} R_A - 18,378 - 0,176$$

$$0 = -\frac{1}{2} M_A + \frac{1}{6} R_A - 18,554$$

Pendiente

$$E I \frac{dy}{dx} = -M_A \langle 1 - 0 \rangle^1 + \frac{R_A}{2} \langle 1 - 0 \rangle^2 - \frac{441}{2} \langle 1 - 0,37 \rangle^2 - \frac{53.5}{2} \langle 1 - 0,73 \rangle^2$$

$$0 = -M_A + \frac{1}{2} R_A - 87,516 - 1,950$$

$$0 = -M_A + \frac{1}{2} R_A - 89,466$$

Aplicamos el método de sustitución para resolver el sistema de ecuaciones con 3 incógnitas.

$$0 = -\frac{1}{2} M_A + \frac{1}{6} R_A - 18,554$$

$$0 = -M_A + \frac{1}{2}R_A - 89,466 \quad (-1/3)$$

$$0 = -\frac{1}{2}M_A + \frac{1}{6}R_A - 18,554$$

$$0 = \frac{1}{3}M_A - \frac{1}{6}R_A + 29,822$$

$$0 = -\frac{1}{6}M_A + 11,268$$

$$M_A = -6(-11,268) = 67,608 \text{ Nm}$$

Por no encontrarse el valor de todos los valores necesitados, se tuvo que escoger otro punto para encontrar otra de las reacciones existentes en la viga, realizando el mismo procedimiento anterior.

$$x = 0,37 \quad y = 0$$

Deflexión

$$EI(0) = -\frac{M_A}{2}(0,37 - 0)^2 + \frac{R_A}{6}(0,37 - 0)^3 - \frac{441}{6}(0,37 - 0,37)^3 - \frac{53,5}{6}(0,37 - 0,73)^3$$

$$0 = -0,068M_A + 0,008R_A$$

Pendiente

$$EI(0) = -M_A(0,37 - 0)^1 + \frac{R_A}{2}(0,37 - 0)^2 - \frac{441}{2}(0,37 - 0,37)^2 - \frac{53,5}{2}(0,37 - 0,73)^2$$

$$0 = -0,37M_A + 0,068R_A$$

Aplicamos el método de sustitución para resolver ecuaciones de 3 incógnitas

$$0 = -0,37M_A + 0,068R_A \quad (-34/185)$$

$$0 = -0,068M_A + 0,008R_A$$

$$0 = 0,068M_A - 0,0125R_A$$

$$0 = -0,068M_A + 0,008R_A$$

$$0 = -0,0045R_A$$

$$R_A = 0 \text{ Nm}$$

Los valores de  $R_A$  y  $M_A$  se introducen en la sumatoria de fuerzas y momentos respectivamente para encontrar las variables faltantes.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - 494,5 \text{ N} + R_B = 0$$

$$R_B = 494,5 \text{ N} - 0 \text{ N} = 494,5 \text{ N}$$

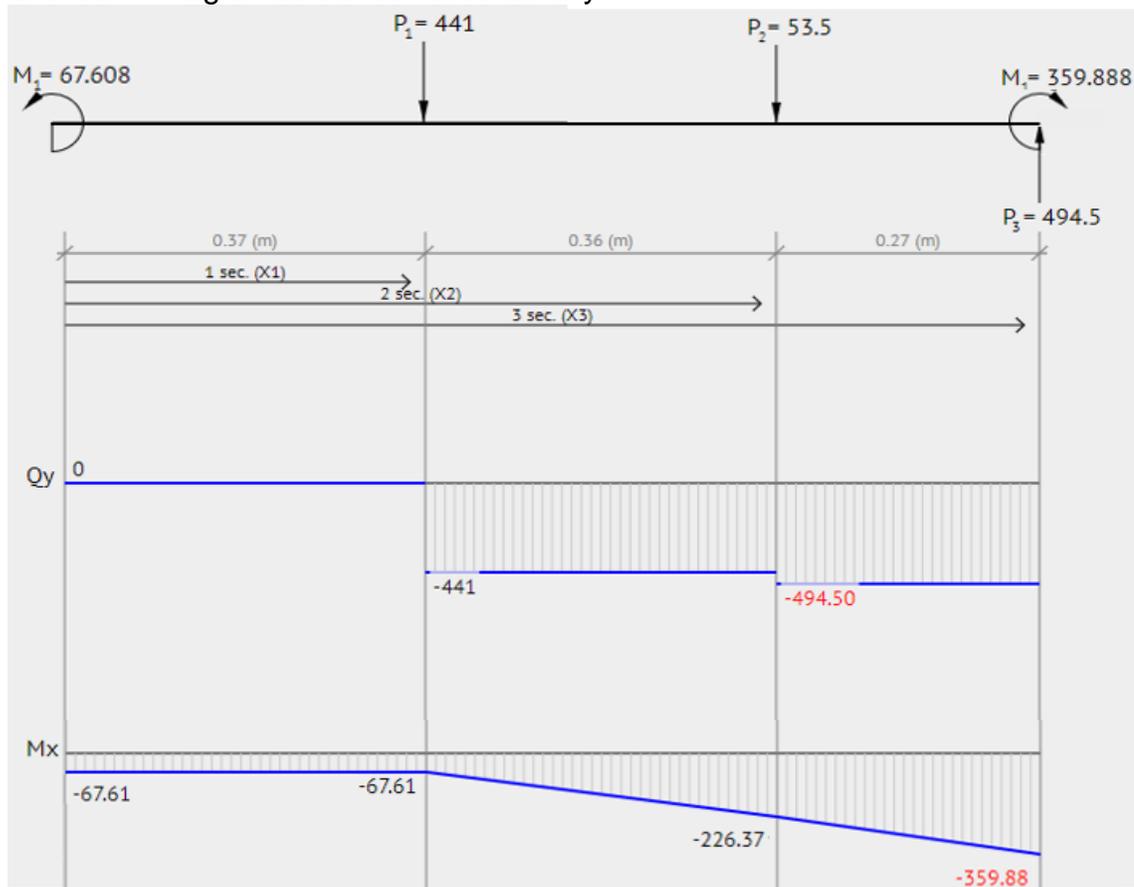
$$\sum M_B = 0$$

$$M_A - R_A + 292,275 - M_B = 0$$

$$M_B = 67,608 \text{ Nm} + 277,83 \text{ Nm} + 14,445 \text{ Nm} = 359,888 \text{ Nm}$$

Después de hallar los valores de las reacciones y momentos producidos en los apoyos, se procede a realizar nuevamente el diagrama de cuerpo libre de la viga analizada con los datos hallados y con sus respectivos diagramas de fuerza cortante y momento flector, como se puede ver en la gráfica 4.

Gráfica 4. Diagramas de fuerza cortante y momento flector



Fuente: Software Online Beam Calculator

Gracias a los diagramas mostrados en la figura 4, obtenemos el momento máximo que sufre la viga, el cual se utiliza en el cálculo del "S requerido", mostrado en la ecuación (4)

$$S_{\text{req}} = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{\text{permisible}}} \quad (4)$$

Donde:  $M_{\text{máx}}$  corresponde al momento máximo de la viga  
 $\sigma_{\text{permisible}}$  Es el esfuerzo máximo del material

El  $\sigma_{\text{permisible}}$  como esfuerzo máximo permisible del material de fabricación involucra dos variables de diseño, evidenciadas en la ecuación (5)

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{\sigma_{\text{falla}}}{F.S} \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{322\text{MPa}}{2} = 161 \text{ MPa} = 161.000.000 \text{ Pa}$$

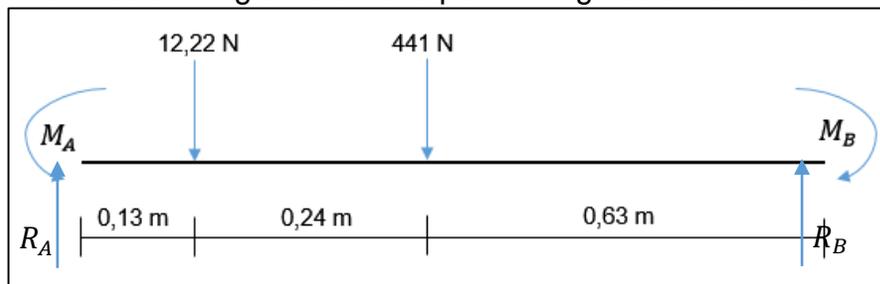
Donde  $\sigma_{\text{falla}}$  es el esfuerzo de falla del material  
 F.S es el factor de seguridad

El factor de diseño, se ha evaluado bajo los estándares de ASME, el cual sugiere para estructuras estáticas de materiales dúctiles con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material, la magnitud de las cargas y grado en que resulta adecuado el análisis de tensión, un factor de seguridad de 2 para un acero ASTM A500 (Robert L. Mott, 2006)

$$S_{\text{req}} = \frac{359,888 \text{ Nm}}{161000000 \text{ N/m}^2} = 2 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{2 \text{ cm}^3}$$

4.3.3 Cálculo de la viga delantera inferior. Se procede a hacer el diagrama de cuerpo libre de la viga delantera inferior para determinar las fuerzas, momentos y reacciones que están aplicadas sobre ésta, teniendo en cuenta todas las dimensiones de construcción y de aplicación de las cargas. (véase gráfica 5)

Gráfica 5. Diagrama de cuerpo libre viga delantera inferior



$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - 12,22 \text{ N} - 441 \text{ N} + R_B = 0$$

$$R_A - 453,22 + R_B = 0$$

$$\sum M_B = 0$$

$$M_A - R_A(1,0\text{m}) - 12,22 \text{ N} (0,87\text{m}) + 441 \text{ N} (0,63 \text{ m}) - M_B = 0$$

$$M_A - R_A + 10,6314 \text{ Nm} + 277,83 \text{ Nm} - M_B = 0$$

$$M_A - R_A + 288,461 \text{ Nm} - M_B = 0$$

Se repite el procedimiento realizado con la viga No. 1 para hallar las funciones de momentos, deflexión y pendiente y por consiguiente el valor de las reacciones y momentos en los apoyos.

$$M(x) = -M_A \langle x - a \rangle^0 + R_A \langle x - a \rangle^1 - 12,22 \langle x - a \rangle^1 - 441 \langle x - a \rangle^1 \quad (1)$$

Ésta ecuación se integra para obtener la ecuación de pendiente (2).

$$E I \frac{dy}{dx} = -M_A \langle x - a \rangle^1 + \frac{R_A}{2} \langle x - a \rangle^2 - \frac{12,22}{2} \langle x - a \rangle^2 - \frac{441}{2} \langle x - a \rangle^2 + C_1 \quad (2)$$

Y finalmente, se integra una vez más para obtener la ecuación de la deflexión (3).

$$E I y = -\frac{M_A}{2} \langle x - a \rangle^2 + \frac{R_A}{6} \langle x - a \rangle^3 - \frac{12,22}{6} \langle x - a \rangle^3 - \frac{441}{6} \langle x - a \rangle^3 + C_1 x + C_2 \quad (3)$$

Las constantes de derivación obtenidas. se hallaron utilizando condiciones de frontera, tales como:

- Cuando  $x = 0$        $dy/dx = 0$        $C_1 = 0$
- Cuando  $x = 0$        $y = 0$                $C_2 = 0$

Tabla 14. Ecuaciones finales con constantes definidas

<b>Pendiente:</b> $E I \frac{dy}{dx} = -M_A \langle x - 0 \rangle^1 + \frac{R_A}{2} \langle x - 0 \rangle^2 - \frac{12,22}{2} \langle x - 0, 13 \rangle^2 - \frac{441}{2} \langle x - 0, 37 \rangle^2$
<b>Deflexión:</b> $E I y = -\frac{M_A}{2} \langle x - 0 \rangle^2 + \frac{R_A}{6} \langle x - 0 \rangle^3 - \frac{12,22}{6} \langle x - 0, 13 \rangle^3 - \frac{441}{6} \langle x - 0, 37 \rangle^3$

Fuente: Autores

Los puntos escogidos sobre el eje x en donde la deflexión y la pendiente tienen valores máximos son los siguientes:

$$x = 0,13 \quad y = 0 \quad \frac{dy}{dx} = 0$$

Deflexión

$$EI y = -\frac{M_A}{2} (0,13 - 0)^2 + \frac{R_A}{6} (0,13 - 0)^3 - \frac{12,22}{6} (0,13 - 0,13)^3 - \frac{441}{6} (0,13 - 0,37)^3$$

$$0 = -0,008 M_A + 0,336167 \times 10^{-3} R_A$$

Pendiente

$$EI \frac{dy}{dx} = -M_A (0,13 - 0)^1 + \frac{R_A}{2} (0,13 - 0)^2 - \frac{12,22}{2} (0,13 - 0,13)^2 - \frac{441}{2} (0,13 - 0,37)^2$$

$$0 = -0,13 M_A + 0,008 R_A$$

Aplicamos el método de sustitución para resolver ecuaciones de 3 incógnitas, el cual corresponde en sumar las siguientes ecuaciones:

$$0 = -0,008 M_A + 0,336167 \times 10^{-3} R_A$$

$$0 = -0,13 M_A + 0,008 R_A \quad (-4/65)$$

$$0 = -0,008 M_A + 0,336167 \times 10^{-3} R_A$$

$$0 = 0,008 M_A - 0,000492308 R_A$$

---


$$0 = -0,000156141 R_A$$

$$R_A = 0 \text{ N}$$

De igual forma, fue necesario escoger otro punto para encontrar otra de las reacciones existentes en la viga y luego se realizó el mismo procedimiento anterior.

$$x = 0,24 \quad y = 0$$

Deflexión

$$EI y = -\frac{M_A}{2} (0,24 - 0)^2 + \frac{R_A}{6} (0,24 - 0)^3 - \frac{12,22}{6} (0,24 - 0,13)^3 - \frac{441}{6} (0,24 - 0,37)^3$$

$$0 = -0,0288 M_A + 2,304 \times 10^{-3} R_A - 0,00271$$

Pendiente

$$EI \frac{dy}{dx} = -M_A (0,24 - 0)^1 + \frac{R_A}{2} (0,24 - 0)^2 - \frac{12,22}{2} (0,24 - 0,13)^2 - \frac{441}{2} (0,24 - 0,37)^2$$

$$0 = -0,24 M_A + 0,0288 R_A - 0,07393$$

Aplicamos el método de sustitución para resolver ecuaciones de 3 incógnitas.

$$0 = -0,24M_A + 0,0288R_A - 0,073931 \left(-\frac{23}{288}\right)$$

$$0 = -0,0288M_A + 2,304 \times 10^{-3}R_A - 0,00271$$

$$0 = 0,0192M_A - 2,304 \times 10^{-3}R_A + 0,00590$$

$$0 = -0,0288M_A + 2,304 \times 10^{-3}R_A - 0,00271$$

---


$$0 = -0,00963 M_A + 0,00319$$

$$M_A = \frac{-0,00319}{-0,00963} = 0,33125 \text{ Nm}$$

Los valores de  $R_A$  y  $M_A$  se introducen en la sumatoria de fuerzas y momentos respectivamente para encontrar las variables faltantes.

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A - 494,5 \text{ N} + R_B = 0$$

$$R_B = 453,22 \text{ N} - 0 \text{ N} = 453,22 \text{ N}$$

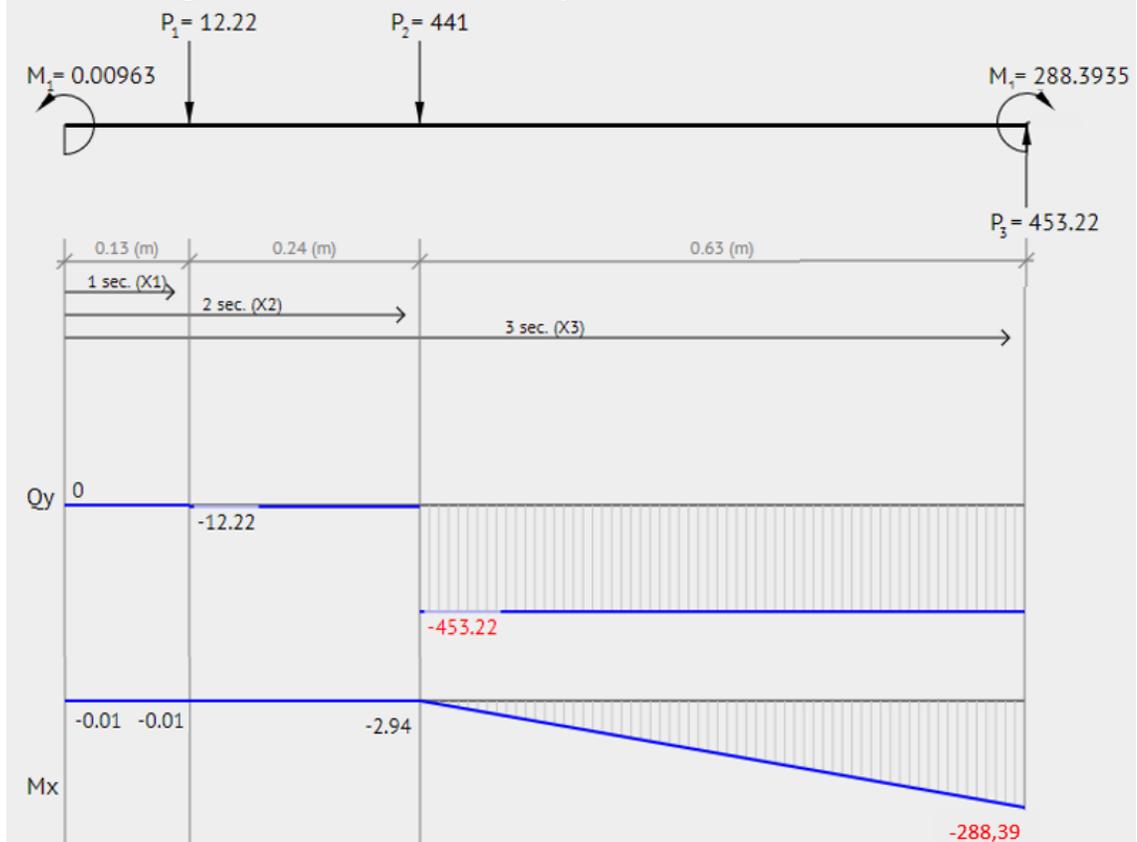
$$\sum M_B = 0$$

$$M_A - R_A + 288,461 \text{ Nm} - M_B = 0$$

$$M_B = -0,00963 \text{ Nm} + 288,46 \text{ Nm} = 288,45 \text{ Nm}$$

Después de hallar los valores de las reacciones y momentos producidos en los apoyos, se procede a realizar nuevamente el diagrama de cuerpo libre de la viga, analizada con los datos hallados y con sus respectivos diagramas de fuerza cortante y momento flector.

Gráfica 6. Diagramas de fuerza cortante y momento flector



Fuente: Software Online Beam Calculator

Gracias a los Gráficas mostrados en la figura 2, obtenemos el momento máximo que sufre la viga, el cual se utiliza en el cálculo del “S requerido”, mostrado en la ecuación (4).

$$S_{\text{req}} = \frac{M_{\text{máx}}}{\sigma_{\text{permisible}}} \quad (4)$$

Donde:  $M_{\text{máx}}$  corresponde al momento máximo de la viga  
 $\sigma_{\text{permisible}}$  es el esfuerzo máximo del material

El  $\sigma_{\text{permisible}}$  como esfuerzo máximo permisible, del material de fabricación involucra dos variables de diseño, evidenciadas en la ecuación (5).

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{\sigma_{\text{falla}}}{F.S} \quad (5)$$

$$\sigma_{\text{permisible}} = \frac{322\text{MPa}}{2} = 161 \text{ MPa} = 161.000.000 \text{ Pa}$$

Donde  $\sigma_{falla}$  es el esfuerzo de falla del material  
F.S es el factor de seguridad

El factor de diseño se ha evaluado bajo los estándares de ASME (American Society for Mechanical Engineers) el cual sugiere para estructuras estáticas de materiales dúctiles con alto grado de confianza en el conocimiento de las propiedades del material, la magnitud de las cargas y grado en que resulta adecuado el análisis de tensión, un factor de seguridad de 2 para un acero ASTM A500 (Robert L. Mott, 2006)

$$S_{req} = \frac{288,3935 \text{ Nm}}{161000000 \text{ N/m}^2} = 1,791 \times 10^{-6} \text{ m}^3 = \mathbf{1,791 \text{ cm}^3}$$

Contrastando los resultados obtenidos para las dos vigas analizadas, se decide seleccionar el perfil con mayor espesor, pues es quien tiene la condición más crítica (mayor cantidad de cargas) y quién nos asegura que al soportar su condición puede soportar las demás cargas de la estructura.

Como resultado del análisis anterior, se procede a seleccionar el perfil con el cual se va a diseñar toda la estructura, para ello se empleó el esfuerzo permisible obtenido en los cálculos y se seleccionó del catálogo el perfil de menor dimensión que cumpla con dicho parámetro.

El perfil seleccionado es el de 30 x 30 x 2.5 mm, acero ASTM A500, de la empresa Corpacero, con un módulo de sección de 2,11 cm<sup>3</sup>, el cual es mayor al permisible. (Véase Anexo B)

4.3.4 Análisis de pandeo a la columna más crítica. En la figura 14, se puede observar la columna más crítica de color amarillo, la cual tiene la carga de mayor magnitud aplicada en la parte superior.

Dado que el perfil es simétrico, los radios de giro en cada uno de los ejes son iguales.

$$r = \sqrt{I/A}$$

Donde

r: radio de giro

I: Momento de inercia de la sección transversal

A: Área de sección transversal

$$r = \sqrt{3.17 \text{ cm}^4 / 2.59 \text{ cm}^2}$$

Radios de Giro

$$r_x = 0.01106\text{m}$$

$$r_y = 0.01106\text{m}$$

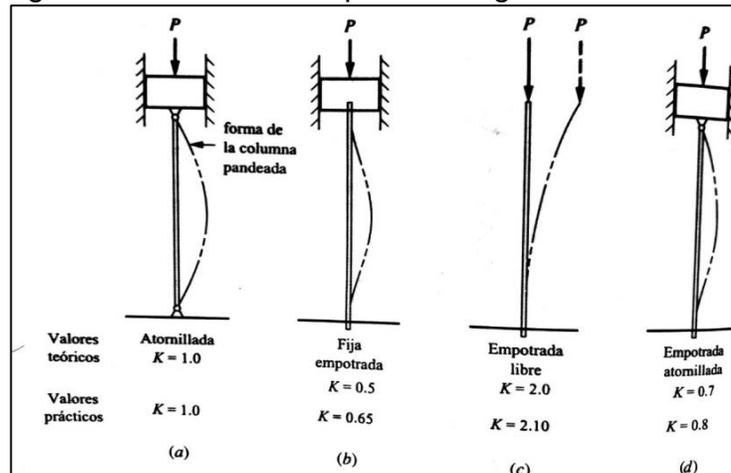
Área Gross = 0.0359 m

Módulo de elasticidad del material = 200.000 MPa

Esfuerzo de fluencia del material = 322 MPa

K: valor de acuerdo con los

Figura 14. Valores de K para la longitud efectiva.



Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de máquinas, cuarta edición. Página 234.

Longitud de la columna "l"

$$L = 0.42 \text{ m}$$

Se realiza la verificación por esbeltez para evaluar el tipo de pandeo que se genera en la columna.

$$\text{Esbeltez} = \left[ \frac{K * L}{r_{\text{mínimo}}} \right]$$

$$\text{Esbeltez} = \left[ \frac{0.5 * 0.42\text{m}}{0.01106\text{m}} \right] = 18.98$$

Una vez hecha la verificación de esbeltez se procede a hacer a comparación entre la razón de transición de esbeltez y la razón de esbeltez

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}}$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 200000 \text{Mpa}}{322 \text{Mpa}}} = 110.72$$

Si  $\frac{KL}{r} < C_c$  Columna Corta

Si  $\frac{KL}{r} > C_c$  Columna larga

$$18.98 < 110.72$$

Como la razón de esbeltez es menor que la razón de transición de esbeltez se usa la ecuación de J. B. Johnson, para calcular la resistencia de diseño del material.

$$P_{cr} = A * S_y \left[ 1 - \frac{S_y (KL/r)^2}{4\pi^2 E} \right]$$

$$P_{cr} = 0.000259 \text{m}^2 * 322 \text{Mpa} \left[ 1 - \frac{322 \text{Mpa} (0.5 * 0.42 \text{m} / 0.01106 \text{m})^2}{4\pi^2 * 200000 \text{Mpa}} \right]$$

$$P_{cr} = 82171.83 \text{ N}$$

Teniendo la resistencia de diseño del material se divide por el factor de seguridad "3" el cual dará como resultado la carga admisible de la columna.

$$P_a = \frac{82171.83 \text{ N}}{3}$$

$$P_a = 27390.61 \text{ N}$$

Se compara la carga real aplicada en la columna (441N), con la carga admisible (27390.61 N), en el cual se detalla que es menor y por este motivo se afirma que el perfil seleccionado es apto para soportar estas cargas

4.3.3. Selección de soldadura. Para el cálculo de soldadura se debe seguir los siguientes pasos:

- I. Proponer la geometría del ensamble y el diseño de los miembros que se

van a ensamblar

- II. Identificar los tipos de tensiones a los que se sujeta el ensamble, flexión, torsión, corte vertical, tensión directa o compresión.
- III. Analizar el ensamble a fin de determinar la magnitud y el sentido de la fuerza en la soldadura debido a cada tipo de carga.
- IV. Combinar las fuerzas vectorialmente en el punto o los puntos de la soldadura donde las fuerzas parecen alcanzar un máximo <sup>7</sup>

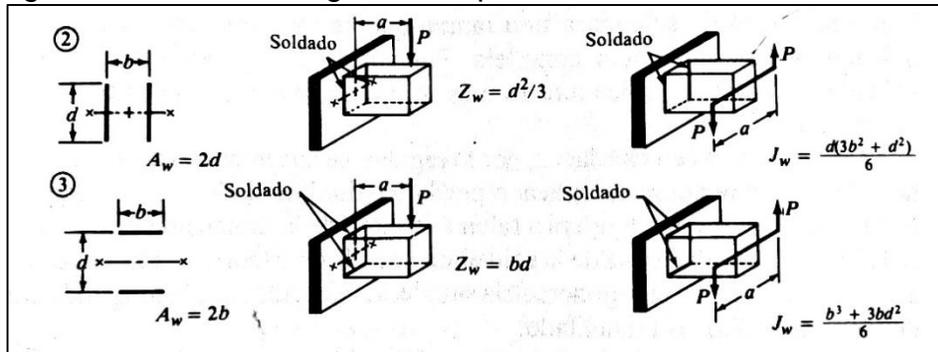
Tabla 15. Esfuerzos cortantes y fuerzas sobre soldaduras

Tipo de Electrodo	Metales típicos que se ensamblan (Grado ASTM)	Fuerza Admisible por pulgada de lado
Estructura de edificios		
E60	A36, A500	9600 lb/pulg
E70	A242, A411	11200 lb/pulg

Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de máquina, segunda edición. Pagina. 769.

Para el cálculo de la soldadura, se selecciona la viga que genera los esfuerzos mas grandes y críticos, la cual es la viga delantera que soporta el motor. Una vez seleccionada, se busca cual es el metodo de aplicación de soldadura más adecuado para la union de vigas y columnas.

Figura 15. Factores de geometría para análisis de soldadura



Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de máquina, segunda edición. Pagina. 770.

Para el caso más crítico se selecciona el factor 3, en donde el cordón de soldadura se aplica de forma horizontal.

<sup>7</sup> Extraído de Mott

$$S_w = 30 \times 30 = 900 \text{ mm}^2$$

$$A_w = 2 * d$$

$$A_w = 2(30) = 60 \text{ mm}$$

Cálculo de Flexión

$$f = M_B / S_w$$

$$f = \frac{290.879,11 \text{ Nmm}}{900 \text{ mm}^2} = 323,1990 \text{ N/mm}$$

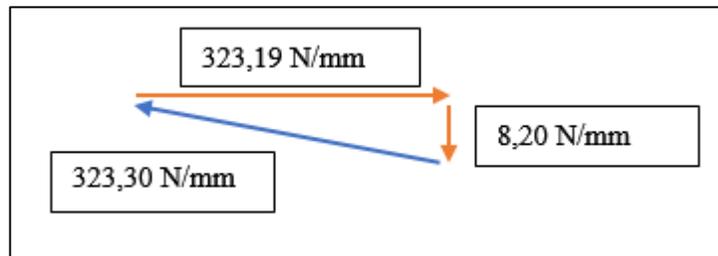
Fuerza Cortante

$$f = V / A_w$$

$$f = \frac{492,05 \text{ N}}{60 \text{ mm}} = 8,200 \text{ N/mm}$$

En la gráfica 7 se dispone a hacer una sumatoria vectorial, para calcular la fuerza resultante entre la fuerza de flexión y la fuerza cortante. La cual será utilizada para el cálculo del tamaño mínimo para la soldadura de chaflán.

Gráfica 7. Cálculo de la fuerza resultante.



$$w = \frac{323,303 \text{ N/mm}}{66,18 \text{ N/mm}^2} = 4,885 \text{ mm}$$

Se soldará las uniones tipo esquina, con una soldadura de chaflán, la cual se utiliza un electrodo E60 de 3/16 de pulgada

Tabla 16. Tamaños mínimos de cordón para placas gruesas.

Espesor de la placa (pulg)	Tamaño mínimo de lado para la soldadura de chaflán (pulg)
$\leq 1/2$	$3/16$
$>1/2 - 3/4$	$1/4$
$>3/4 - 1 1/2$	$5/16$
$>1 1/2 - 2 1/4$	$3/8$
$>2 1/4 - 6$	$1/2$
$>6$	$5/8$

Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de máquina, segunda edición. Pagina. 768.

El espesor del perfil estructural es de 2,5 milímetros, por esta razón se hace un cordón de soldadura lineal de 3/16 pulg (4.7625mm) alrededor de cada unión

4.3.4. Selección de ruedas. Para poder calcular la capacidad de carga se debe disponer de los siguientes datos:

A = Capacidad de carga requerida

B = Peso del aparato de transporte

C = Carga máxima

D = Numero de ruedas aplicadas

F = Factor de seguridad

$$A = \frac{B+C}{D} * F$$

$$A = \frac{200\text{Kg} + 45\text{Kg}}{4} * 1.4 = 85.8 \text{ Kg}$$

El factor de seguridad F, indica la variación de las condiciones normales de aplicación. Pisos en buen estado, velocidad recomendada, carga repartida correctamente, con desplazamiento recto y temperatura ambiente. Según la gravedad de las condiciones de aplicación, para establecer la carga se deberá aplicar el factor de seguridad.<sup>8</sup>

Además, las ruedas deben cumplir con dos requerimientos básicos: deben poder girar y deben de ser capaces de frenarse.

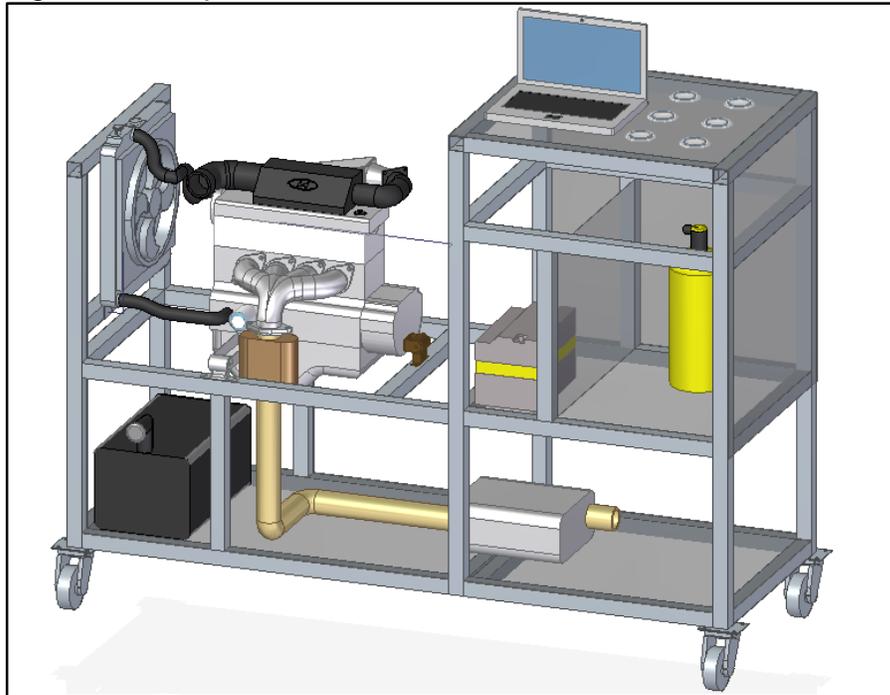
Tomando el catálogo de RUEDAS AFO se escogieron las 201/80 FDA GN CR de código 29467 que se puede visualizar en el anexo C.

<sup>8</sup> RUEDAS, AFO. Desde 1.931.

#### 4.4 ESTRUCTURA

El diseño consta de los elementos estructurales que conforman las vigas, columnas, placas y platinas capaces de contener integralmente cada uno de los elementos necesarios para la utilización del banco. Además de esto el banco tiene como requisito ser una unidad portátil, fácil de transportar, que ofrezca seguridad y maniobrabilidad al operador.

Figura 16. Esquema de la estructura.



Existen longitudes a tener en cuenta en el diseño de la estructura, como lo es el ancho del banco que debe permitirle atravesar una puerta pequeña estándar de 1 metro. La altura a la cual quedaría posicionado el motor no debería exceder la altura promedio de un estudiante para permitirle interactuar con la parte del tablero de instrumentos, sin llevarle un gran esfuerzo ya que podría estar en esa posición por grandes intervalos de tiempo. La estación de entrenamiento debería estar dotada de ruedas que le permitan una fácil movilización y un mecanismo de bloqueo a esta misma cualidad para poder trabajar firmemente en ella luego de haber puesto en sitio.

4.4.1 Descripción detallada de los componentes. Para el motor seleccionado se utilizan los soportes derecho e izquierdo originales de fábrica, taquetes de hule macizo que absorben las vibraciones del motor; mientras que el soporte trasero está diseñado bajo parámetros congruentes ya que debe soportar las vibraciones y cargas generadas al momento de arrancar. Por este motivo se usa la suspensión hecha del mismo material que los soportes laterales, pero con un soporte modificado para que se ajuste al modelo de la estructura.

Figura 17. Soporte de motor



Fuente: [www.soportesysuspensiones.com/catalogo/hyundai/atos/soporte-motor-derecho-hyundai-atos-2003](http://www.soportesysuspensiones.com/catalogo/hyundai/atos/soporte-motor-derecho-hyundai-atos-2003)

Los soportes para el conjunto del radiador y ventilador son los sugeridos por el fabricante. Este se apoya mediante dos pines que van insertados en platinas en L de 2.5mm de espesor y soldados a la estructura para soportar el peso completo del radiador incluyendo el líquido refrigerante, la tubería y el ventilador. En la parte superior está sujeto a un perfil de las mismas características, pero este entra a presión en el agujero para evitar que el elemento cabecee y se caiga.

El depósito de combustible se encuentra situado en la parte inferior del banco, contiene en su interior la bomba de combustible, el sistema eléctrico, líneas de alta y baja presión de combustible.

El sistema de escape se modifica de acuerdo con el diseño de la estructura, dejándolo lo más cerca posible el catalizador al múltiple de escape, para que los gases lleguen a la mayor temperatura posible y así se pueda filtrar la mayor cantidad de partículas para prevenir la contaminación del ambiente. El tubo de escape tiene una longitud de un metro aproximadamente para que las ondas pierdan energía y de este modo al llegar al silenciador lleguen ondas débiles y así a la salida del sistema de escape se produzca el menor ruido posible para hacer del entorno un mejor sitio de trabajo.

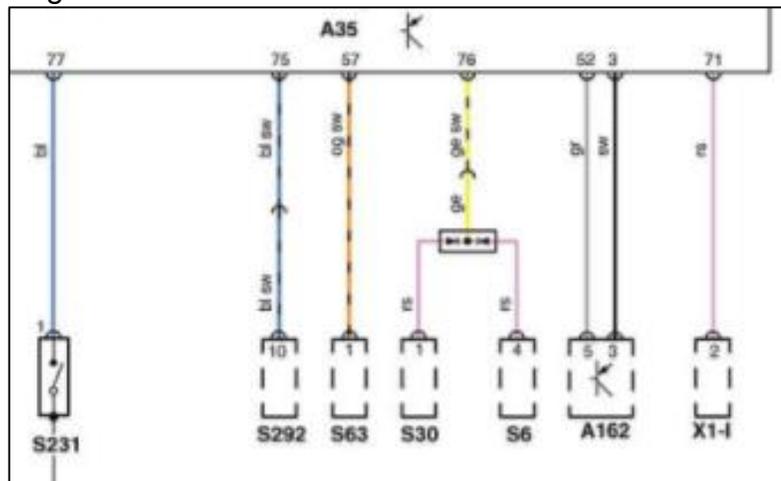
La tubería conectada al motor es la utilizada en fábrica, esto impide que haya

fugas, malas conexiones, o un mal procesamiento de fluidos en el funcionamiento del motor. Estos elementos son semirrígidos, lo cual favorece su montaje, en donde solo estará sujeto en sus puntos de unión con los conectores.

El cableado está sujeto en los puntos indicados en el manual, para evitar aumentos de temperatura, corte por cizallamiento, o pérdida de datos por diferentes razones. Estas conexiones son primordiales para poder hacer el montaje del software en el computador y así poder visualizar el comportamiento de cada una de las partes del motor. El ECU está situado en la parte trasera del cajón de la batería para evitar que los estudiantes manipulen este elemento, ya que un mal manejo pone en peligro el buen funcionamiento del motor, y el desarrollo de las guías de clase. El conector OBD2 va directamente conectado al ECU, pero este está situado en un punto de fácil acceso para poder conectar el sistema de interfaz que pondrá los datos en la pantalla del computador o cualquier otro dispositivo que esté conectado al él.

Este interfaz eléctrico, está basado en los planos suministrados por el fabricante de la unidad de gestión del motor, modificando aquellas líneas que se encuentran inutilizadas, ya que el banco no cuenta con estos elementos como el aire acondicionado, dirección, transmisión, entre otros, y de las cuales la unidad principal espera una señal digital o análoga. Para evitar el advertimiento insospechado de fallos ilógicos en la estación durante la operación se satisfacen estas señas, es decir, el computador enciende el testigo de fallo de motor cuando no se capta continuidad en la señal faltante. Se emulo esta señal para que la gestión de motor no encienda el testigo por esta causa.

Figura 18. Detalle del sistema eléctrico asumido fase I



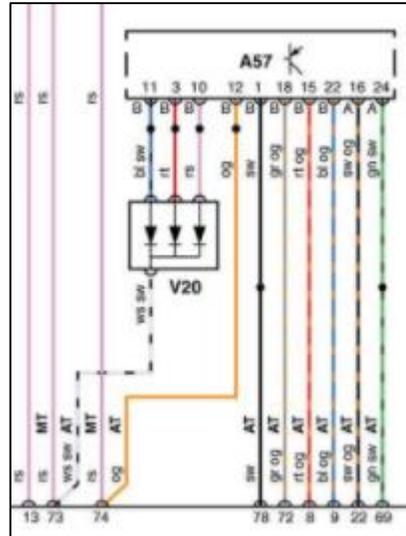
Fuente. Autodata Autotools

S231. Interruptor de presión de la servodirección.

S292. Panel de control de funciones de la calefacción /aire acondicionado.

- S63. Interruptor de presión refrigerante del aire acondicionado.
- S30. Interruptor de la luneta térmica trasera.
- S6. Interruptor combinado.
- A162. Módulo de control estabilizador
- A57. Módulo de control de transmisión

Figura 19. Módulo de control de transmisión.



Fuente. Autodata Autotools

El banco cuenta con un tacómetro, donde se puede visualizar sin mucho detalle algunas funciones del motor, en este caso mediante indicadores de caratula, ubicados en la parte más elevada del banco para su mejor visualización, se conecta a los diferentes sensores del motor para que se indique, nivel de combustible, rpm, temperatura del motor, horas de funcionamiento, nivel de aceite y nivel de refrigerante.

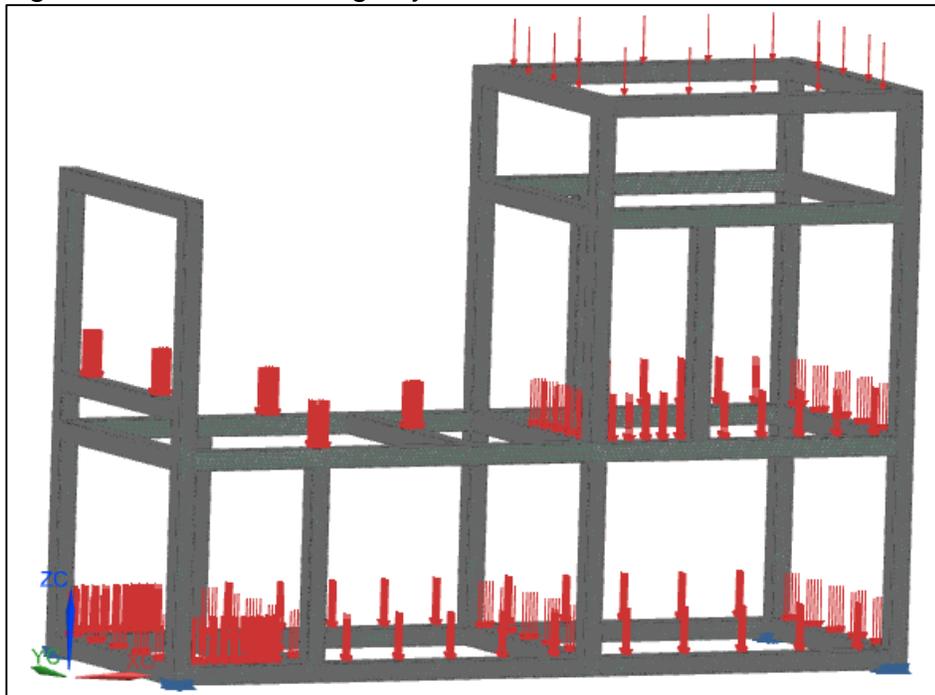
4.4.2 Pintura antioxidante. El banco didáctico de pruebas será recubierto con una capa de pintura antioxidante de color gris, el cual evita que partículas de agua, aceite, entre otras sustancias químicas deterioren rápidamente la estructura y así mismo tenga una vida útil menor. Esta pintura será aplicada de forma uniforme con compresor, antes de ubicar cada uno de los suministros internos que lleva el banco didáctico.

## 5. ANÁLISIS ESTRUCTURAL POR ELEMENTOS FINITOS

Este análisis se realizó por el método de elementos finitos (FEM), por medio del Software NX Nastran, utilizado para modelar matemáticamente y resolver numéricamente problemas estructurales, fluidos y multifísicos muy complejos.

La simulación inicia con el estado de cargas y restricciones aplicadas en la estructura como se observa en la figura 19, en donde las flechas representadas en color rojo son cargas, y las zonas de color azul con las restricciones. Se hace el análisis para ver el comportamiento de los elementos estructurales en desplazamiento y los esfuerzos que se generan en cada uno.

Figura 19. Estado de cargas y restricciones.



Se procede a resolver el sistema, para así obtener los resultados de desplazamiento nodal (figura 20) y los esfuerzos nodales (figura 21) en cada uno de los elementos estructurales.

Los resultados de la simulación evidencian un desplazamiento nodal máximo de 0.147 mm, lo cual significa que el funcionamiento del sistema no se verá afectado ya que éste desplazamiento no se percibe en la puesta en marcha del motor y cuando se detenga será menor.

Figura 20. Simulación del desplazamiento nodal de la estructura

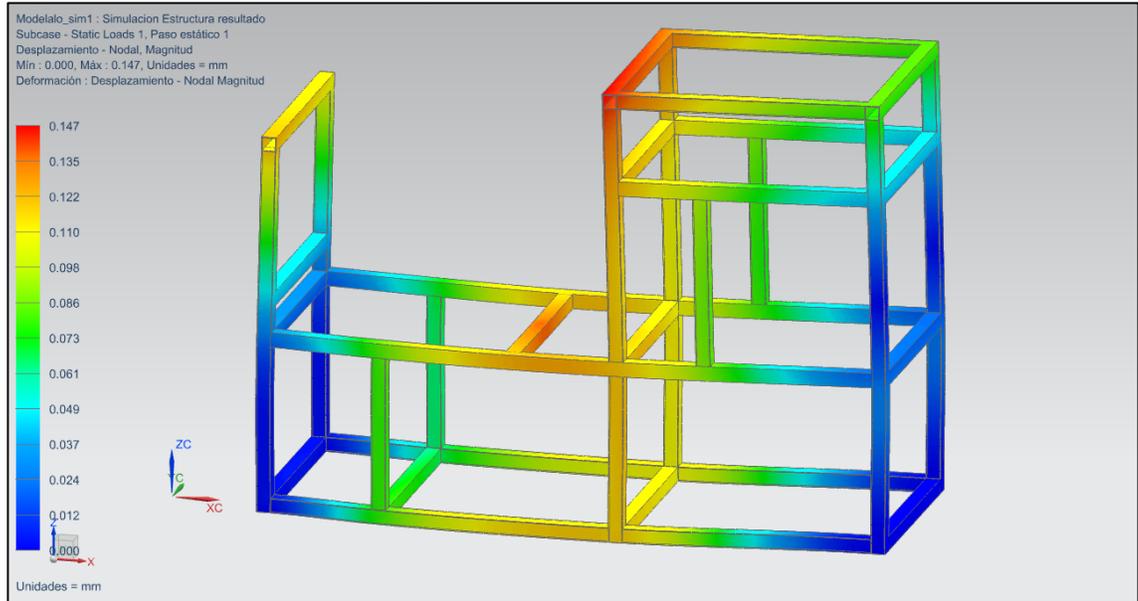
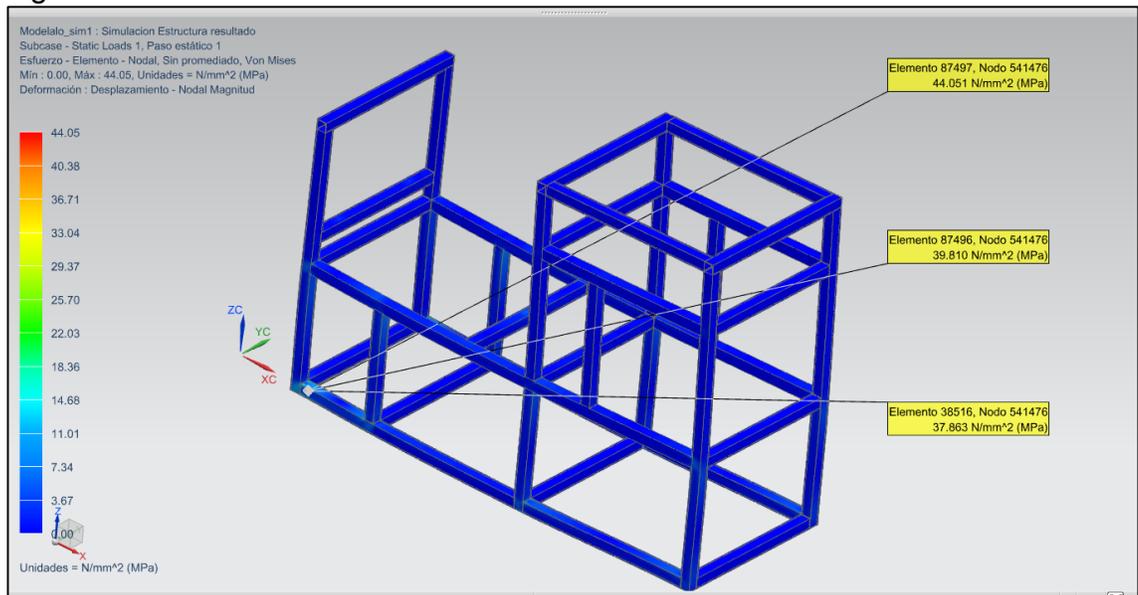


Figura 21. Simulación del esfuerzo nodal de la estructura



La figura 21 muestra que el esfuerzo máximo de Von Mises es de 44.05 MPa, demostrando así, la capacidad de la estructura para soportar las cargas aplicadas en ella. De igual forma, se halla un factor de seguridad de 7.81, un valor por encima al hallado analíticamente, lo cual afirma que el perfil seleccionado es el adecuado para esta estructura que va a soportar cargas instantáneas, vibraciones y peso adicional suministrado por algún operario encargado.

## 6. MANUALES Y GUÍAS DE LABORATORIO

### 6.1. GUÍAS DE LABORATORIO

Para un correcto funcionamiento y poder aprovechar al máximo el banco didáctico de pruebas, se debe seguir cada una de las actividades propuestas a continuación en las guías de laboratorio.

#### 6.1.1 Guía N° 1. Reconocimiento del banco didáctico para pruebas de un motor de combustión interna.

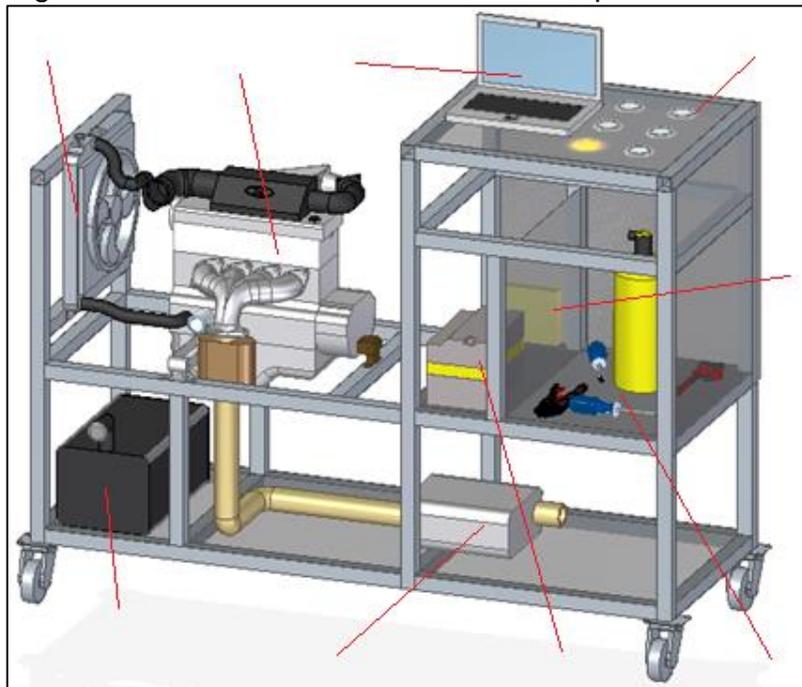
El estudiante al final de esta práctica debe ser capaz de identificar, ubicar y entender el funcionamiento de cada uno de los elementos que componen un motor de combustión interna.

Objetivos: Identificar las diferentes partes que componen de un motor de combustión interna.

1. Señale las principales partes del banco didáctico de pruebas.

Radiador - Motor - Tanque de Combustible - Silenciador y Catalizador - Batería - ECU - Almacenamiento de herramienta - Computador - Indicadores de carátula análogos.

Figura 22. Partes del banco didáctico de pruebas.



2. Identifique los sistemas que componen un motor y como están ubicados en el banco didáctico de pruebas.

#### Sistema de refrigeración

- Ventilador
- Radiador
- Filtro de aire
- Sistema de control del motor (ECU)
- Sensores de: Presión del múltiple, regulador de combustible, potencia, velocidad de arranque (rpm), posición del cigüeñal, temperatura, niveles de aceite, de combustible, de líquido de frenos, de agua del parabrisas, de líquido hidráulico y sensor de oxígeno.

#### Sistema de combustión

- Pistones
- Bielas
- Cigüeñal (soportado por cojinetes de bancada)
- Culata (válvulas e inyectores)
- Árbol de levas
- Depósito de gasolina

#### Sistema de alimentación de combustible.

- Depósito de almacenamiento.
- Bomba de combustible.
- Líneas de alta y baja presión.
- Riel de inyectores.
- Presión nominal del sistema de alimentación

#### Sistema de Escape

- Colector de escape
- Catalizador (filtros de partículas)
- Silenciador
- Sensor

#### Sistema de Arranque

- Batería
- Bobina
- Distribuidor de chispa (conectores → bujías)
- Interruptor
- Condensador

3. Identifique los riesgos potenciales y la acción a seguir en una situación desafortunada que pueda presentarse durante la operación del banco; plantee qué hacer en caso de presentarse uno de los siguientes casos:

- Fuga de combustible
- Fuga de aceite
- Fuga de líquido refrigerante en temperatura de servicio
- Corto circuito
- Sobre calentamiento del sistema de refrigeración

4. Verifique si el banco didáctico de pruebas cumple con los parámetros establecidos en el manual de operación y mantenimiento para un correcto funcionamiento, registre los siguientes datos:

- Nivel de aceite. Mínimo \_\_ Medio\_\_ Máximo\_\_
- Nivel de refrigerante. Mínimo \_\_ Medio\_\_ Máximo\_\_
- Nivel de combustible. Mínimo \_\_ Medio\_\_ Máximo\_\_
- Voltaje de la batería \_\_\_\_\_V

5. Ponga el interruptor de encendido en primera posición.

- Verifique el nivel de combustible.
- Verifique que el testigo del nivel de aceite se apague después de 5 seg.

6. Ponga en marcha el motor de la estación.

Valore el estado de funcionamiento del motor y registre:

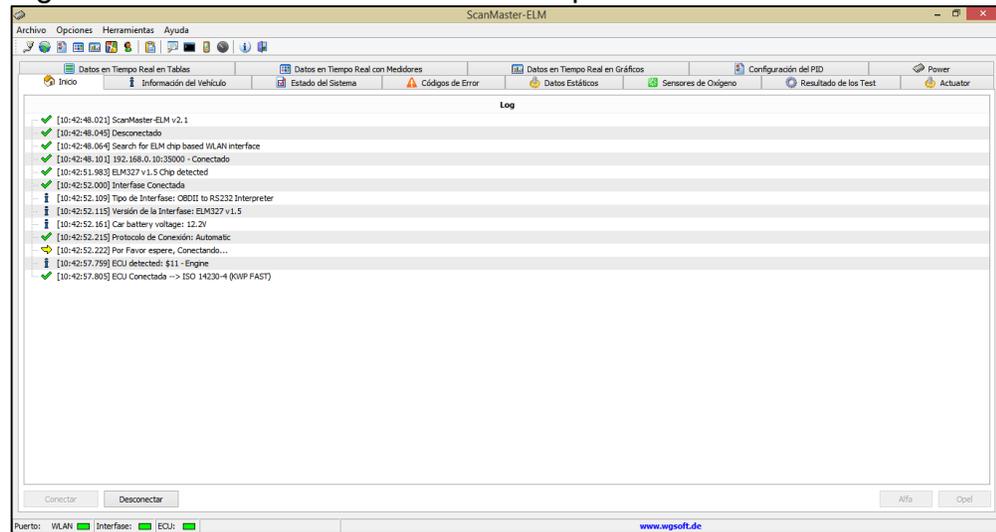
- ¿Hay equilibrio de marcha en ralentí? Sí\_\_ no\_\_
- ¿Existe estanqueidad en los sistemas de lubricación, refrigeración y alimentación de combustible? Sí\_\_ no\_\_
- ¿Existen ruidos anormales en el funcionamiento del motor?
- ¿Qué indica el testigo de la presión de aceite encendido con el motor en marcha?
- ¿Qué indica el testigo de carga de la batería encendida con el motor en marcha?

6.1.2 Guía Nº 2. Funcionamiento del Software ScanMaster-ELM.

El estudiante al final de esta práctica debe ser capaz de interactuar con el software ScanMaster-ELM el cual detalla el comportamiento del motor cuando está en funcionamiento.

1. Conexión. Se debe hacer la conexión del interfaz con el computador para así utilizar el software de escaneo ScanMaster
  - a. Conecte el interfaz de conexión ELM327 al puerto OBDII proveniente del ECU.
  - b. El interfaz generará una red WIFI a la cual tendrá que conectarse el computador.
  - c. Inicie el programa de diagnóstico y monitoreo ScanMaster-ELM.
  - d. Debe crear un perfil ingresando las características técnicas del motor.
  - e. Colocar el interruptor de ignición en primera posición.
  - f. Clic en el botón “CONECTAR”
  - g. A continuación, debe aparecer la siguiente pantalla comprobando que la conexión fue satisfactoria.

Figura 23. Conexión interfaz con el computador



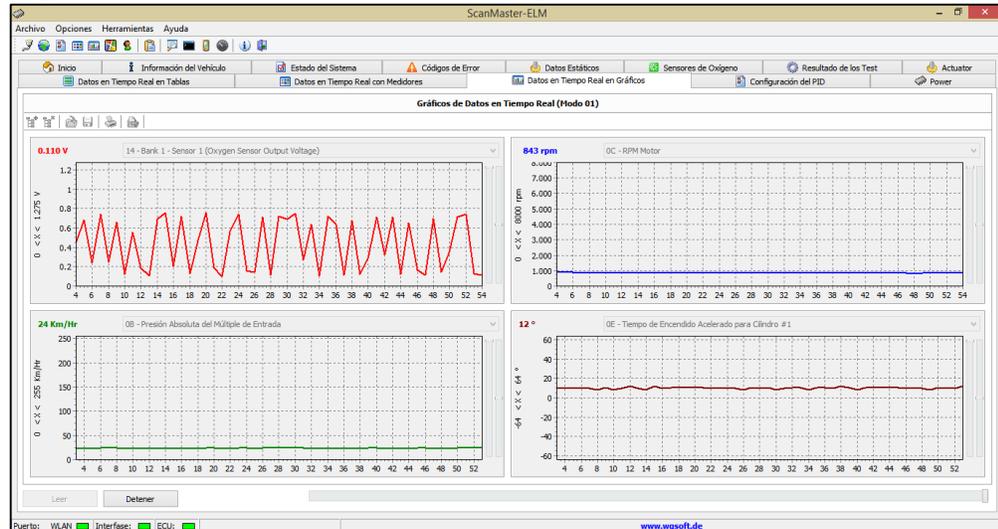
Fuente: ScanMaster-ELM

2. Datos iniciales
  - a) Una vez haya sido satisfactoria la conexión proceda a encender el motor.
  - b) Entre a la pestaña “Datos en Tiempo Real en Tablas”



g) Guarde la imagen que se genera en ralentí como se muestra a continuación.

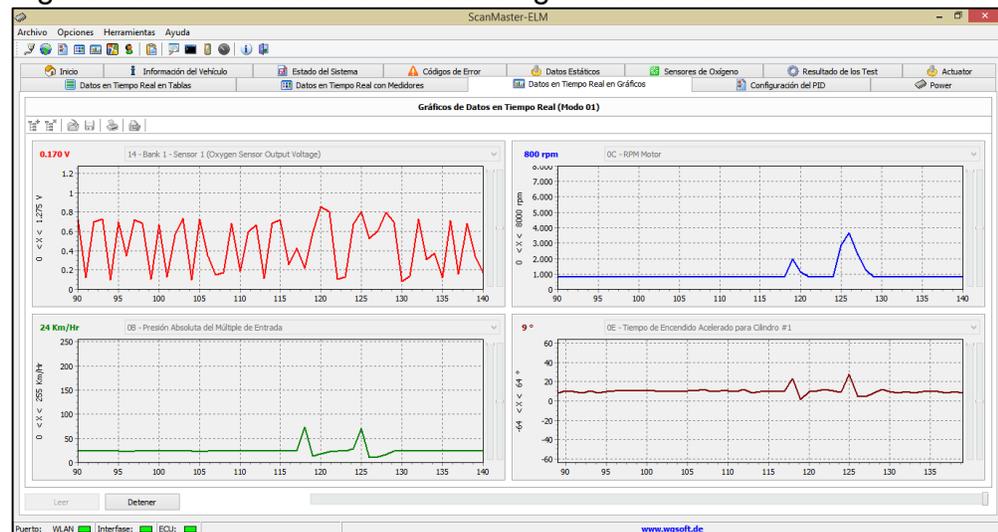
Figura 25. Visualización de datos en gráficas en ScanMaster-ELM I



Fuente: ScanMaster-ELM

h) Ahora haga una aceleración súbita, y compare los resultados

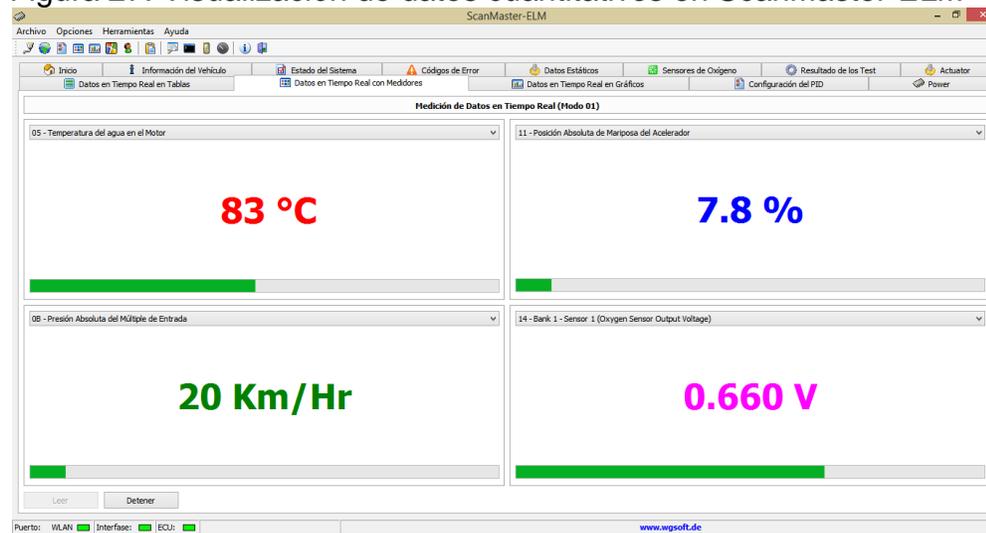
Figura 26. Visualización de datos en gráficas en ScanMaster-ELM II



Fuente: ScanMaster-ELM

4. Cambios. Después de 20 minutos de encendido el motor, monitoree el cambio de temperaturas y presiones en el motor.

Figura 27. Visualización de datos cuantitativos en ScanMaster-ELM



Fuente: ScanMaster-ELM

Cuestionario:

- ¿Cuál es la temperatura promedio del agua del motor al terminar la práctica?
- ¿Cuál es la temperatura promedio de entrada de aire al terminar la práctica?
- ¿Cuál es la diferencia máxima de presión en el múltiple de admisión al pasar de ralentí a aceleración súbita?
- ¿Mediante el sensor de oxígeno se puede determinar si existe una combustión pobre o rica? ¿Por qué?

### 6.1.3 Guía N° 3. Fallas Generadas en el motor.

El estudiante al final de esta práctica debe ser capaz de identificar las fallas generadas en el motor mediante el equipo de diagnóstico ScanMaster y cómo proceder a corregirlas.

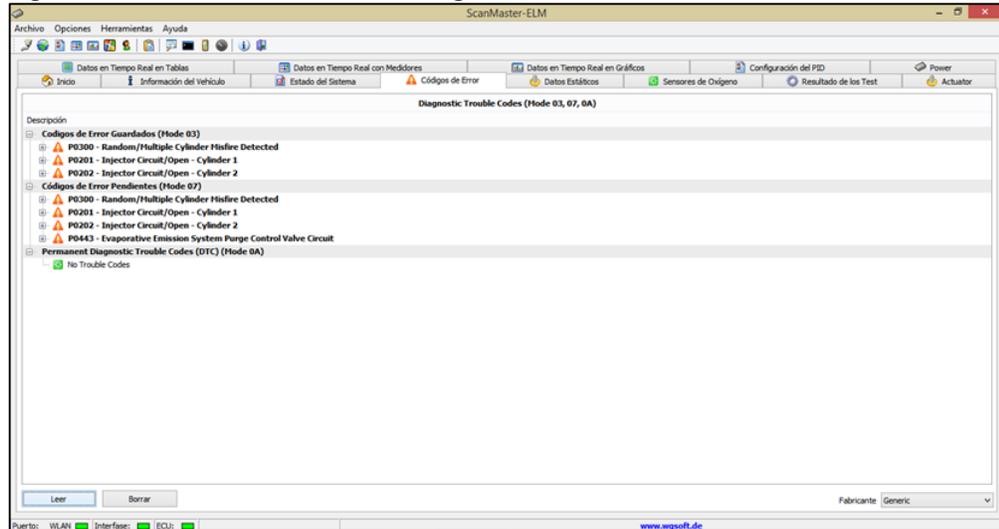
Identificar y reparar averías registradas en la memoria de averías de la estación.

1. Para esta práctica de laboratorio el banco se encuentra intencionalmente inoperativo. El grupo de estudiantes debe identificar y reparar la falla dejando nuevamente en marcha equilibrada el motor de la estación.

- Verifique si el banco didáctico de pruebas cumple con los parámetros establecidos en el manual de operación: aceite, combustible, refrigerante, voltaje en la batería.
- Ponga el interruptor de encendido en primera posición.
- Haga la conexión del interfaz ELM 327 con el computador
- Entre a la pestaña "Códigos de Error".

- La pantalla le mostrará una serie de códigos de error que se están generando en el motor, como se muestra a continuación.

Figura 28. Visualización de códigos de falla en ScanMaster-ELM



Fuente: ScanMaster-ELM

- Realice una tabla donde muestre los fallos registrados con su código de avería.

Tabla 18. Códigos de falla resultantes del motor

FALLOS REGISTRADOS	CODIGO DE AVERIA
Circuito de inyección de cilindro 1 abierto	P0201
Falla en el interfaz de los cilindros	P0300

- Identifique los códigos de fallas que se generan con los de la tabla mostrada en el anexo G.

2. Según los resultados obtenidos plantee una hipótesis sobre la causa y ubicación de la avería.

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

.....

3. Con la ayuda del docente intervenga el motor para tratar de solucionar la mayor cantidad de fallas posibles.
4. Borre la pantalla de fallas e inmediatamente seleccione la opción leer para así identificar si quedo alguna falla en el sistema.
5. Si aparece una falla nuevamente hacer los pasos 3 y 4 hasta que no genere ninguna falla.
6. Describa brevemente qué solucionó la falla:

.....  
.....  
.....  
.....

**Cuestionario**

- ¿Cuáles son los 6 tipos de fallas P?
- ¿Qué interpreta (Y) XY?
- ¿Qué interpreta (Y) XXY?
- ¿Qué interpreta (Y) XXXYY?
- ¿Si se genera una falla, pero queda mal arreglada, en el momento de darle borrar desaparece o vuelve y queda ahí?

## 6.2. MANUAL DE OPERACIÓN

### INTRODUCCIÓN

El presente manual entrega la información necesaria para que los operadores, personal de mantenimiento y usuarios en general operen y mantengan, en forma correcta y adecuada el banco didáctico para pruebas de un motor de combustión interna.

Antes de operar el equipo, conviene interiorizar su funcionamiento, conocer las capacidades y posibilidades, así como también tener presente las reglas de seguridad y normas de mantenimiento, con el fin de evitar las operaciones con riesgo de accidentes.

Una vez puesto en funcionamiento el motor según las instrucciones, estamos seguros de que encontrará en este banco un equipo práctico y versátil, de fácil operación.

Estimados usuarios, confiamos en que ustedes sabrán apreciar y valorar a lo largo del tiempo de funcionamiento, la eficiencia del banco didáctico de pruebas que tienen a su disposición.

6.2.1 Características principales. El motor tiene unas características únicas las cuales deben ser conocidas por el operario antes de manipular el banco.

Tabla 19. Especificaciones técnicas del motor

Código del Motor	G4HC
Motor	Delantero transversal
Número de cilindros	4 en línea
Tipo	SOHC 12 Válvulas
Cilindrada	999 cc
Potencia Máxima (HP/rpm)	55/5.500
Par Motor Máximo (Nm/rpm)	84,3/3.250

Tabla 20. Sistema de Lubricación

Aceite de Motor (capacidad)	2,8 litros
Grado de aceite	Mineral SAE 15W40
	Semisintético SAE 10W40
	Aceite sintético SAE 5W40
Bomba de aceite (presión)	127 KPa

Tabla 21. Sistema de refrigeración

Método	Circulación forzada con ventilador
Radiador (rendimiento)	27.000 kcal/h
Radiador (temp. de funcionamiento)	85±3°C
Termostato (temp. de apertura)	82°- 95°C
Recomendado	Glicol de etileno
Concentración del refrigerante	40%
Cantidad de refrigerante	6 litros
Bomba del refrigerante	Paletas de tipo centrífugo

Tabla 22. Sistema de encendido

Tipo	MAP-DIS
Secuencia de encendido	1-3-4-2
Tensión de la bobina	12V
Ralentí (rpm)	820-980

Tabla 23. Sistema de alimentación de combustible

Combustible	Gasolina
Alimentación	Inyección electrónica multipunto indirecta secuencial
Inyector	Electromagnético
Presión regulada del sistema	300 KPa
Relación de compresión	9,7:1
Capacidad del tanque	6 gal

Tabla 24. Sistema de interfaz

Fabricante	DELCO ELECTRONICS
Serie	RX45XLS23
Voltaje nominal de entrada	12 voltios DC
Voltaje nominal de salida	Actuadores: 12 Voltios DC
	Sensores: 5 Voltios DC

- Tubo Corona ASTM A500 cuadrado de 40x40 mm y 2.5mm de espesor
- Lamina de 1 mm de espesor

6.2.2 Consideraciones. Se debe tener en cuenta los siguientes ítems los cuales son fundamentales para la manipulación del banco.

Este manual de operación comprende información detallada sobre:

- Consideraciones importantes de seguridad
- Guía de instalación del banco didáctico de pruebas
- Operación del banco didáctico de pruebas
- Gestor de conexiones motor- equipo de diagnóstico

Para la manipulación adecuada del banco se deben tener unos conocimientos mínimos previos a las prácticas de laboratorio.

- Conocimientos básicos sobre motores de combustión interna
- Conocimientos básicos sobre electricidad
- Conocimientos básicos sobre electrónica
- Conocimientos básicos sobre sistema de interfaz

6.2.3 Medidas de seguridad. Las siguientes medidas de seguridad son obligatorias al momento de interactuar con el banco didáctico de pruebas.

- Está prohibido fumar dentro del laboratorio.
- Está prohibido consumir alimentos dentro del recinto.
- Debe portar un overol antes de entrar al recinto.
- Debe tener puestas las gafas de seguridad.
- Debe tener puestas las botas de seguridad.
- Para la manipulación del motor debe tener puestos los guantes de seguridad.
- No debe portar manillas, relojes u otros accesorios que puedan quedar enredados en el motor.
- Mantenga las prendas de vestir sueltas y el cabello debe estar recogido lejos de las piezas en movimiento.
- Sólo debe existir un estudiante u operario manejando la estación.
- No altere las especificaciones del motor
- No realice ningún tipo de ajuste si no sabe cómo hacerlo.
- Mantenga a una distancia segura a los estudiantes que no estén operando la estación.
- Antes de poner en marcha el motor, asegúrese que no existan obstáculos para las piezas móviles.
- Limpie el combustible que se le haya derramado.
- No llene el depósito de combustible con el motor en marcha.
- No limpie ni añada lubricante cuando el motor se encuentre en operación.
- No retire la tapa de llenado del radiador ni ningún componente del sistema de refrigeración con el motor caliente.
- Evite el contacto de combustibles y aceite con la piel.
- Asegúrese de no instalar la estación en un sitio cerrado que pueda dar lugar a una concentración de emisiones tóxicas.

- Deseche el aceite lubricante usado de acuerdo con la normativa nacional.
- Manténgase alejado de los componentes en movimiento cuando el motor esté en marcha. Algunos de los componentes en movimiento no son visibles cuando el motor está en marcha.
- No permita que se produzcan chispas o fuego cerca de la batería.
- Desconecte los bornes de la batería antes de realizar cualquier reparación en el sistema eléctrico.
- No obstaculice el extintor incorporado en el banco.
- Asegúrese de contar con los elementos necesarios para atender un evento desafortunado.
- Ponga el mayor cuidado posible a la hora de realizar reparaciones de emergencia en condiciones adversas.
- En caso de emergencia llamar inmediatamente a las líneas de emergencia a nivel nacional.

6.2.4 Instalación del banco. El sitio en el cual estará ubicado el banco debe tener unas condiciones de seguridad.

- El banco debe estar totalmente separado de cualquier otro elemento que no ayude a su funcionamiento.
- El extractor de gases debe estar conectado al exosto antes de poner el motor en marcha.
- El banco debe tener cerca una toma corriente de 110V para poder conectar el cargador del computador.
- Las ruedas deben estar giradas todas hacia el mismo sentido y frenadas para que no haya movimiento del banco durante la práctica.
- Debe haber una delimitación pintada de amarillo en el piso alrededor del banco que indique que los estudiantes que no estén operando el banco deben estar detrás de la línea.

6.2.5 Arranque y parada del motor. Si el motor entra en un período de inactividad prolongado, se debe tener en cuenta las siguientes condiciones para poner en marcha nuevamente.

- La batería debe estar cargada mínimo a 12V
- Llene el radiador de refrigerante sugerido por el fabricante
- El nivel de aceite debe estar por encima del mínimo y lo más óptimo para trabajar, (Viscoso y sin quemar)
- El rendimiento del motor de arranque
- La posición de la mariposa de aceleración debe estar en posición cero
- El nivel de combustible, deber ser el adecuado para la operación a realizar

1. Gire a la derecha el interruptor de ignición por medio de la llave, a la posición inicial.

2. Verifique que los testigos: baja presión de aceite, estado de carga de la batería y fallo de motor se encuentren encendidos.
3. Gire una vez más a la derecha la llave en el interruptor de encendido a la posición de arranque, para accionar el motor de inicio.
4. Deje que la llave vuelva a la posición inicial, cuando se ponga en marcha el motor.
5. Verifique que los testigos: baja presión de aceite, estado de carga de la batería y fallo de motor se encuentren apagados.
6. Si se presenta alguna anomalía en el funcionamiento, fuga de algún líquido, ruido extraño, detenga la marcha del motor inmediatamente por medio del interruptor de encendido y la llave girando a la izquierda a posición de apagado.

Asegúrese que siempre el motor de arranque y el motor se encuentren detenidos antes de iniciar de nuevo el motor de arranque.

6.2.6 Cuidados del banco. Las recomendaciones sugeridas a continuación están estimadas e ideadas con la proyección de uso del banco dentro del laboratorio de la universidad. Para evitar que se produzcan daños en el motor cuando se deje de utilizar en un periodo de tiempo extenso.

1. Limpie minuciosamente la parte exterior del banco.
2. Mantenga el depósito de combustible lleno para que sirva como combustible protector del tanque, este debe drenarse y sustituirse al final del periodo de inactividad.
3. Ponga en marcha el motor y deje que la temperatura alcance su valor nominal de funcionamiento. Detenga el motor y drene el Carter.
4. Sustituya el filtro de aceite.
5. Llene el Carter con aceite hasta la marca lleno en la varilla medidora.
6. Drene el sistema de refrigeración y reemplace el líquido refrigerante.
7. Desconecte la batería y almacénela totalmente cargada en un lugar seguro y aislada del piso para evitar una descarga rápida.
8. Selle el tubo de admisión con cinta adhesiva impermeable.

Tras el periodo de almacenamiento y antes de poner en marcha el motor, desconecte los cables de alta y accione el motor de arranque el motor de arranque hasta que haya presión de aceite, esto se indica cuando el testigo de baja presión de aceite se apague.

### 6.3. MANUAL DE MANTENIMIENTO

#### INTRODUCCIÓN

Este documento presenta la información necesaria para que los operadores, personal de mantenimiento y usuarios en general puedan realizar consultas sobre uso y manipulación para el mantenimiento adecuado del banco didáctico.

Se recomienda siempre consultar el manual antes de realizar algún tipo de mantenimiento ya sea preventivo o correctivo dado que hay que asegurar que el banco didáctico se encuentre calibrado para dar la lectura adecuada.

6.3.1. Mantenimiento preventivo. Para evitar fallas en el motor se deben hacer los siguientes chequeos en los tiempos mencionados.

- A. Primera revisión a las 20 horas
- B. Diariamente
- C. Cada inicio de semestre o cada práctica
- D. Cada 500 horas/12 meses
- E. Cada mil horas

Tabla 25. Mantenimiento preventivo.

A	B	C	D	E	OPERACIÓN
x	x				Comprobar el nivel de refrigerante del sistema
	x				Comprobar si el motor presenta estanqueidad de aceite o refrigerante
			x		Cambiar líquido refrigerante
		x			Comprobar tensión y estado de la correa de accesorios
			x		sustituir el filtro de combustible
x	x				comprobar la cantidad de aceite en el Carter
		X			Cambiar el aceite del motor
		X			Sustituir el filtro del aceite
		X			Sustituir el filtro del aire
				x	Cambiar la correa de repartición.

El mantenimiento del banco debe estar a cargo de personal capacitado y debe quedar en la Hoja de Vida del banco.

6.3.2 Cambio de aceite. El aceite de motor es el primer fluido que actúa de refrigerante y contribuye al mantenimiento de la temperatura óptima de sus piezas.

Un aceite gastado pierde densidad y es menos efectivo a la hora de cumplir sus funciones de lubricación, limpieza, enfriamiento y sellado del motor. Esto se traduce en una pérdida de rendimiento.

Por este motivo es necesario hacer un cambio de aceite en los tiempos indicados anteriormente y bajo las especificaciones que se darán a continuación

Como identificar si hay que cambiar el aceite del motor.

- El aceite tiene un olor muy fuerte.
- El motor hace más ruido de lo habitual.
- La luz de alerta que pide que verifique el motor no se apaga.
- Cuando lo verifica, el nivel del aceite ha bajado.

6.3.3 Procedimiento para el cambio de aceite. Se debe hacer el siguiente paso a paso para un correcto mantenimiento.

1. Encienda el motor durante unos minutos para calentar un poco el aceite.
2. Deslícese por debajo y localice el tapón de vaciado del aceite en el motor. Luego coloque el recogedor de aceite por debajo.
3. Afloje el tapón y para un chorro de aceite. Una vez que todo el aceite se haya vaciado, coloque de nuevo el tapón.
4. A continuación, tiene que cambiar el filtro del aceite. Localice el filtro del aceite. Coja el filtro nuevo y lubrique el sello de goma con una capa fina de aceite que ayude a protegerlo
5. Retire el tapón para llenar el depósito de aceite en la parte superior del motor. Coloque el embudo en el agujero y vierte el aceite limpio. Compruebe que los niveles son correctos mediante una varilla medidora. No olvide colocar de nuevo el tapón.

Después de haber hecho el cambio de aceite se debe disponer de los desechos de forma adecuada de tal forma que no contamine.

- Coloque el aceite usado en un recipiente sellado.
- Debe colocar el aceite usado en un recipiente más permanente. Es mejor que lo coloque en el recipiente nuevo que acaba de vaciar.
- Escriba "aceite usado" sobre la botella para que no se confunda con un aceite nuevo.
- No coloque el aceite usado en recipientes que contenían productos químicos como el cloro, pesticidas, pintura o anticongelante. Estos contaminarán el proceso de reciclaje.

6.3.4 Cambio de líquido refrigerante. El líquido refrigerante protege al motor de temperaturas extremas, protegiendo todos los elementos y manteniéndolos limpios. Evita que las piezas entren en contacto entre ellas, evitando la oxidación y disminuyendo el calentamiento del motor.

Se debe tener en cuenta que el banco didáctico de pruebas estará en un periodo de inactividad prolongado durante el semestre, el sistema de refrigeración estará expuesto a la concentración de óxido y material particulado que pueda afectar en la función de refrigeración dañando componentes del sistema, por esta razón se recomienda realizar el cambio de refrigerante antes de empezar el periodo de inactividad.

6.3.5 Procedimiento para el cambio de líquido refrigerante. Se debe seguir cada una de las siguientes indicaciones para un correcto cambio de líquido refrigerante.

1. Inicialmente tiene que revisar cual es el líquido refrigerante que se debe usar. En el manual de operación del banco está indicado.
2. Para eliminar el líquido refrigerante viejo busque el tapón de vaciado que da acceso y ábralo para expulsar todo el líquido. En este caso está en el punto más bajo del circuito.
3. Para lavar el tanque agregue agua en el depósito del radiador. Tiene que agregar agua todo el tiempo necesario hasta que no se vea suciedad en el agua que sale del circuito.
4. Coja la botella de líquido refrigerante y llena el depósito. Fíjese en las dos marcas de máximo y mínimo del depósito y llena hasta que se acerque al máximo.
5. Ponga la tapa del radiador.

6.3.6 Cambio de filtro de aire. El filtro de aire es el elemento el cual evita que materias abrasivas penetren al motor. Está ubicado delante de la entrada de aire del motor para asegurar así la buena calidad de la mezcla aire-carburante que integra los cilindros a través de las válvulas.

- No haga funcionar el motor si el filtro de admisión de aire se encuentra obstruido. Esto podría causar entrada de aceite lubricante a los cilindros a través de la válvula de recirculación de gases.
- Bajo ninguna circunstancia opere el motor sin del filtro de aire.

6.3.7 Procedimiento para el cambio de filtro de aire. Se debe seguir cada una de las siguientes indicaciones para un correcto cambio de filtro de aire.

1. Desacople el conducto principal del aire.
2. Abra el receptáculo del filtro de aire.
3. Retire el filtro usado.

4. Limpie el fondo del receptáculo del filtro con un aspirador, un trapo húmedo o aire comprimido.
5. Instale el nuevo filtro en su posición.
6. Cierre el receptáculo del filtro.

6.3.8 Tensión de correa de accesorios. La correa de accesorios está accionada por la fuerza del motor y une los diferentes equipos mediante un sistema de poleas y rodillos tensores. El rodillo tensor guía y orienta la correa hacia los diferentes equipos: Bomba de agua, alternador, compresor de climatización.

Sustituya la correa si está dañada o desgastada. Para asegurar el máximo el periodo de vida útil de la correa de accesorios se recomienda revisar la tensión de la correa regularmente. Si no se dispone de un indicador de tensión, presione la correa con el pulgar en el tramo libre más largo y compruebe su deflexión. La deflexión correcta es de 10mm

6.3.9 Procedimiento para verificar la tensión de la correa de accesorios. Se debe hacer una inspección visual para verificar la tensión y desgaste de la correa de accesorios, para ello se sugiere seguir las siguientes indicaciones.

1. Afloje la sujeción del pivote del alternador.
2. Cambie la posición del alternador para conseguir la tensión correcta de la correa.
3. Acerque el tornillo tensor a la posición que satisface la tensión requerida.
4. Apriete la sujeción del pivote del alternador.
5. Compruebe nuevamente la tensión de la correa para asegurarse de que sigue siendo correcta.

Si se monta una correa nueva debe comprobarse la tensión de esta al cabo de las primeras 20 horas.

## 7. IMPACTO AMBIENTAL

Es de suma importancia visualizar todas las implicaciones ambientales que el proyecto genera, ya que al tratarse con máquinas de combustión se debe regular una serie de gases nocivos emitidos al medio ambiente, de tal forma que no afecten a los usuarios ni a la comunidad educativa.

Según la Resolución 1111 del Ministerio de Ambiente y Desarrollo Sostenible por la cual se modifica la resolución 910 de 2008<sup>9</sup> se determinan unos niveles permitidos de contaminantes que afectan la salud de las personas, tales como: Material Particulado (PM), Partículas suspendidas totales (PST), Ozono, NOx, SOx y CO.

### 7.1 FACTORES DE RIESGO

Los controles sobre las emisiones en los automóviles se han clasificado en varios tipos de emisiones, las producidas en la tubería de escape, las emisiones evaporadas y las emisiones naturales del ciclo de vida del automotor. Para nuestro caso, las emisiones que se analizan son las producidas por el motor en la tubería de escape, las cuales son hidrocarburos (HC), óxido de nitrógeno (NOx), monóxido de carbono (CO), y dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

### 7.2 EVALUACIÓN DE LOS FACTORES DE RIESGO

Teniendo en cuenta las características del motor empleado, es decir, que se trata de un motor de un Hyundai Atos 1,0, modelo 2007, con ciclo Otto y utilizando combustible gasolina, se determinan los niveles máximos permitidos de contaminantes por la resolución colombiana No 910:

Tabla 26. Límites máximos de emisión permisibles

Año modelo	CO (%)	HC (ppm)
1970 y anterior	5,0	800
1971 – 1984	4,0	650
1985 – 1997	3,0	400
1998 y posterior	1,0	200

<sup>9</sup> Tomado de: Resolución 1111 del Ministerio de ambiente y desarrollo sostenible: *Por la cual se reglamentan los niveles permisibles de emisión de contaminantes que deberán cumplir las fuentes móviles terrestres, se reglamenta el artículo 91 del decreto 948 y se adoptan otras disposiciones*”

Según el análisis de gases realizado a un motor de un vehículo Atos, modelo 2006, con un kilometraje de 758.958 y con las características especificadas en el presente proyecto, se obtuvieron los siguientes datos:

Tabla 27. Reporte del análisis de gases

<b>Contaminante</b>	<b>Valor</b>
CO	0.68 %
HC	144 ppm
CO <sub>2</sub>	13-3 %
O <sub>2</sub>	3.15 %
LAMBDA	1.125
AFR	16.5
COMBUSTIBLE	Gasolina
H/C	1.8500
O/C	0.000

Fuente: Taller automotriz JA Contreras

Esta evaluación se hizo en el motor de un taxi convencional ya que proporciona una medida real de las emisiones que el motor a plena carga emite, lo cual permite evidenciar si se encuentra dentro de los lineamientos exigidos por la resolución 910. Analizando los datos obtenidos se observa que las emisiones de gases en la tubería de escape del motor están dentro de los límites máximos permitidos, puesto que para el dióxido de carbono el valor máximo es de 1,0 % y el vehículo presenta el 0,68 %, y en los hidrocarburos, el límite se encuentra en 200 ppm y en el vehículo fue de 144 ppm.

El proyecto además de estar ambientalmente regulado, debe contar con un sistema de escape de gases proporcionado por el lugar de instalación del banco, que permita evacuar de una forma segura los gases emitidos durante una práctica de laboratorio.

## 8 EVALUACIÓN FINANCIERA

A través de la evaluación financiera se determinará la viabilidad económica del proyecto teniendo en cuenta, costos y/o gastos asociados a la construcción, operación y mantenimiento del banco didáctico en una proyección de 10 años.

### 8.1 COSTOS

Los costos del proyecto se presentan como consecuencia de prestar un servicio, en este caso, de realizar una práctica de laboratorio en donde se tiene en cuenta varias funciones operativas como administrativas.

8.1.1 Costos de ingeniería: Representan los costos de talento humano, relacionados con las horas de trabajo de los proponentes y de sus asesores; equipos y fungibles requeridos para la elaboración del proyecto.

Tabla 28. Costos de ingeniería

Ítems	Unidad	Cantidad	Unitario	Costo Total
<b>Talento Humano</b>			<b>Pesos/hora</b>	
Proponentes	Horas	1100	\$ 7.000	\$ 7.700.000
Ingeniería del director	Horas	90	\$ 43.000	\$ 3.870.000
Ingeniería del orientador	Horas	32	\$ 15.000	\$ 480.000
<b>Total Talento Humano</b>				<b>\$ 12.050.000</b>
<b>Gastos maquinaria y equipo</b>				
Computador	Unidad	1	\$ 1.800.000	\$ 1.800.000
<b>Total Maquinaria y Equipo</b>				<b>\$ 1.800.000</b>
<b>Fungibles</b>				
Impresiones	Unidad	1	\$ 20.000	\$ 20.000
Planos (papel)	Resma	10	\$ 20.000	\$ 200.000
Tinta	Tóner	11	\$ 50.000	\$ 550.000
<b>Total Fungibles</b>				<b>\$ 770.000</b>
<b>TOTAL ANTES DE GASTOS ADICIONALES</b>				<b>\$ 14.620.000</b>
<b>Contingencia (4%)</b>				<b>\$ 584.800</b>
<b>COSTO TOTAL DEL PROYECTO (GASTOS)</b>				<b>\$ 15.204.800</b>

8.1.2 Costos de fabricación. Son los costos requeridos en la segunda etapa del proyecto, es decir, en la construcción del banco con los requerimientos proporcionados en la fase de diseño. Estos costos no sólo implican los propios de los componentes del banco (materiales de construcción) sino todos los gastos generados en la mano de obra, como soldadura, taladrado y mecanizado de algunas partes del banco.

Tabla 29. Costos de los materiales

No	Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor TOTAL
1	Motor Completo	1	\$ 1.400.000	\$ 1.400.000
2	Radiador	1	\$ 129.900	\$ 129.900
3	Batería	1	\$ 330.000	\$ 330.000
4	Escáner automotriz OBDII	1	\$ 55.000	\$ 55.000
5	Ruedas	6	\$ 71.000	\$ 426.000
6	Tornillos	10	\$ 600	\$ 6.000
7	Tuercas	10	\$ 400	\$ 4.000
8	Tanque de combustible	1	\$ 531.900	\$ 531.900
9	Perfiles	22	\$ 13.000	\$ 286.000
10	Exosto	1	\$ 120.000	\$ 120.000
11	Indicadores de carátula	5	\$ 680.150	\$ 3.400.750
<b>Costo de materiales</b>				<b>\$ 6.689.550</b>

Tabla 30. Costos de mano de obra

No	Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor Total
1	Soldadura	Hora	8	\$ 30.000	\$ 240.000
2	Cortadora de tubos	Hora	8	\$ 18.000	\$ 144.000
3	Taladrado	Hora	5	\$ 100.000	\$ 500.000
<b>Costo de Mano Obra</b>					<b>\$ 884.000</b>

Adicional a los costos directos de fabricación, incluimos los generados por el lugar donde se esté realizando el ensamblaje del banco, lo que implica gastos de arrendamiento y servicios públicos.

Tabla 31. Costos de fabricación indirectos

Servicios	\$ 200.000
Arriendo	\$ 1.000.000
<b>Costos indirectos de fabricación</b>	<b>\$ 1.200.000</b>

Ahora teniendo en cuenta los costos de los materiales, de fabricaciones directas e indirectas, se calcula el valor total de la construcción del banco tal y como lo muestra la siguiente tabla:

Costos directos de fabricación	\$ 7.876.492
Costos indirectos de fabricación	\$ 1.200.000

Finalmente, para obtener el costo total del banco didáctico de pruebas debe sumarse el costo total de fabricación y de ingeniería, tal y como se muestra en la siguiente tabla:

Costos directos de fabricación	\$ 7.876.492
Costos indirectos de fabricación	\$ 1.200.000
Costos de ingeniería	\$ 15.204.800
<b>Costo total del banco</b>	<b>\$ 24.281.292</b>

8.1.3 Costos de operación y mantenimiento. Estos son los costos que se producen durante el proceso de transformar el producto en un servicio final, incluyen: el costo de consumibles, repuestos y herramientas, tal como lo muestran las tablas 29, 30 y 31 respectivamente. Cabe destacar que en el análisis empiezan a figurar desde el 1er año de operación, donde se asume que ya es necesario realizar una acción correctiva o preventiva en la máquina.

Tabla 34. Costos de consumibles

No	Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Consumo energético	Kw/hr	24	\$306	\$7.344
2	Combustible	Galón	6	\$8.140	\$48.840
3	Aceite lubricante 30W10 8/8	Galón	1	\$96.509	\$96.509
4	Líquido Refrigerante	Galón	1	\$24.000	\$24.000
<b>Costo de consumibles</b>					<b>\$176.693</b>

Tabla 35. Costos de repuestos

No	Concepto	Unidad	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Filtro de aceite	Unidad	2	\$8.000	\$16.000
2	Filtro de aire	Unidad	2	\$10.000	\$20.000
3	Filtro de combustible	Unidad	1	\$15.000	\$15.000
<b>Costo de repuestos</b>					<b>\$51.000</b>

Tabla 36. Costos de herramientas de trabajo

No	Concepto	Cantidad	Valor unitario	Valor total
1	Juego de llaves	1	\$56.900	\$56.900
2	Juego de destornilladores	1	\$12.000	\$12.000
3	Alicates	2	\$10.000	\$20.000
4	Extintor	1	\$24.900	\$24.900
<b>Costo de herramientas</b>				<b>\$113.800</b>

Todos los costos de las tablas 34, 35, y 36 se compilan en la tabla 37 para determinar los costos totales de operación y mantenimiento anual del banco.

Tabla 37 Costos de operación y mantenimiento totales

Consumibles	\$ 176.693
Repuestos	\$ 51.000
Herramientas	\$ 113.800
Subtotal	\$ 341.493
Contingencia 4%	\$ 13.660
<b>Costo total de operación y mantenimiento</b>	<b>\$ 355.153</b>

Se toma un porcentaje de contingencia o gastos adicionales del 4% ya que puede requerirse una mayor cantidad de repuestos, daños en herramientas o consumibles averiados.

## 8.2 ESTUDIO FINANCIERO

Teniendo en cuenta las diferentes formas de adquisición existentes en el mercado de un banco didáctico de pruebas como el diseñado, se empleó una herramienta financiera para evaluar la rentabilidad del proyecto con una proyección a 10 años. Para cada una de ellas se tuvieron en cuenta parámetros generales tales como la facilidad de transporte y la instalación del equipo.

### 8.2.1. Adquisición 1. Diseñar y construir un banco didáctico de pruebas MPFI

La opción desarrollada en este proyecto tiene en cuenta el costo de la fabricación del banco, el costo del viaje que se requiere para llevar el banco al sitio de instalación, un montacargas que facilite la elevación y bajada del equipo, el combustible inicial con el que se pone en marcha y 2 mantenimientos anuales que pueden requerirse. Lo anteriormente mencionado se estipula en la tabla 38.

Tabla 38. Adquisición 1.

<b>Diseñar y construir un banco didáctico de pruebas MPFI</b>				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Construcción del banco	Día	1	\$ 9.076.492	\$ 9.076.492
Transporte	Viaje	1	\$ 60.000	\$ 60.000
Montacarga	Hora	1	\$ 55.000	\$ 55.000
Costos de ingeniería	Año	1	\$ 15.204.800	\$ 15.204.800
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>				<b>\$ 24.396.292</b>

### 8.2.2 Adquisición 2. Alquiler de un banco didáctico de pruebas AUTOTOOLS

De igual forma, la empresa presentó la opción de adquirir el banco únicamente por los períodos necesitados, por ello se presentan los costos incurridos en el alquiler del banco por 5 semanas, que equivalen al número de prácticas a realizar.

Tabla 39. Adquisición 2

<b>Alquiler de un banco didáctico de pruebas AUTOTOOLS S.A</b>				
CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Alquiler del banco	Semana	10	\$ 2.000.000	\$ 20.000.000
Transporte	Viaje	4	\$ 60.000	\$ 240.000
Montacarga	Hora	4	\$ 55.000	\$ 220.000
Combustible	Galón	12	\$ 8.190	\$ 98.280
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>				<b>\$ 20.558.280</b>

Fuente: AUTOTOOLS S.A y empresas proveedoras de consumibles.

### 8.2.3. Adquisición 3. Comprar y mantener una estación MPFI AUTOTOOLS

AUTOTOOLS LTDA es una empresa pionera en distribuir equipos y herramientas para diagnóstico automotriz, por ello se les solicitó una cotización con los requerimientos del banco diseñado en el presente proyecto, los cuales están estipulados en la tabla 39.

Tabla 40. Adquisición 3

**Comprar y mantener una estación MPFI AUTOTOOLS**

CONCEPTO	UNIDAD	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	VALOR TOTAL
Banco didáctico de pruebas	Unidad	1	\$ 35.000.000	\$ 35.000.000
Mantenimiento anual	Año	1	\$ 1.000.000	\$ 1.000.000
<b>TOTAL INVERSIÓN</b>				<b>\$ 36.000.000</b>

Fuente: AUTOTOOLS S.A.

8.2.4. Análisis financiero. El método empleado para analizar la viabilidad del proyecto es el método CAE o costo anual equivalente, el cual representa el costo por poseer un activo durante toda su vida. Éste comienza con un análisis comparativo del costo presente del proyecto frente al costo del tiempo de proyección estimado a 10 años.

Inicialmente el método CAE establece que se debe calcular el valor presente de todos los costos asociados a la posesión del activo, costos que incluyen los de fabricación, operación y mantenimiento durante el período estimado de funcionamiento. Para ello primero debe seleccionarse la TIO (Tasa de oportunidad).

$$TIO = (1 + DTF_{\text{promedio}}) (1 + 2\%) - 1$$

Donde:

$DTF_{\text{prom}}$ : Depósitos a término fijo o tasa de interés de pago del banco a ahorradores  
 2%: Corresponde a un interés financiero establecido

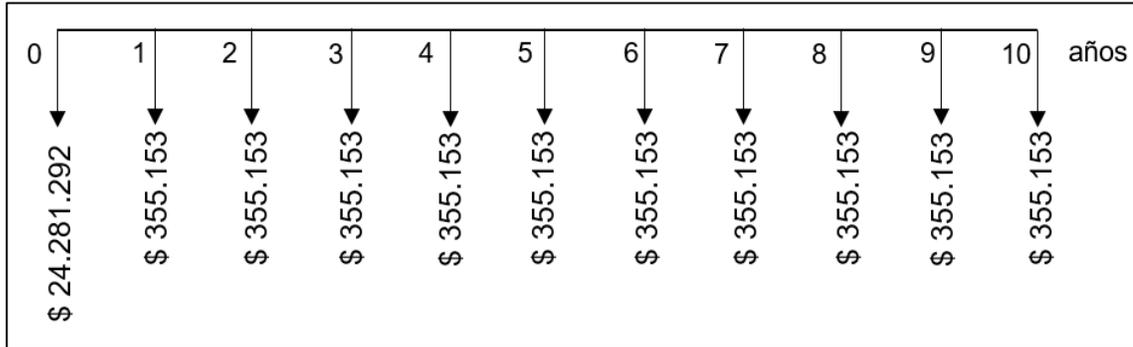
$$TIO = (1 + 0.0576)(1 + 0.02) - 1 = 0.07875 = 7,875\%$$

Teniendo la tasa interna de oportunidad TIO puede procederse a calcular el VPN o Valor Presente Neto de los costos totales asumidos en cada una de las alternativas propuestas con la proyección de 10 años. Cabe mencionar que la vida útil del equipo diseñado es de 10 años, por ende, no existe valor de salvamento pues al final de la proyección no es posible recuperar ningún porcentaje de la inversión inicial.

Flujo de caja de la Adquisición 1.

La proyección se ejemplifica en un esquema de flujos mostrado en el siguiente diagrama.

Gráfica 1. Esquema de flujo de caja a 10 años



Con el esquema de flujo mostrado se calcula el Valor Presente Neto o VPN, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & 24.281.292 + \frac{355.153}{(1+0.07875)} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^2} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^3} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^4} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^5} \\
 & + \frac{355.153}{(1+0.07875)^6} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^7} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^8} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^9} + \frac{355.153}{(1+0.07875)^{10}} \\
 \text{VPN} = & \$26.677.924
 \end{aligned}$$

Finalmente, teniendo el valor actual se puede calcular el costo equivalente utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{CAE} = \text{CT} \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Donde:

CT: Costo total del proyecto que equivale al VP

r: Tasa interna de oportunidad TIO

n: Período de proyección (10 años)

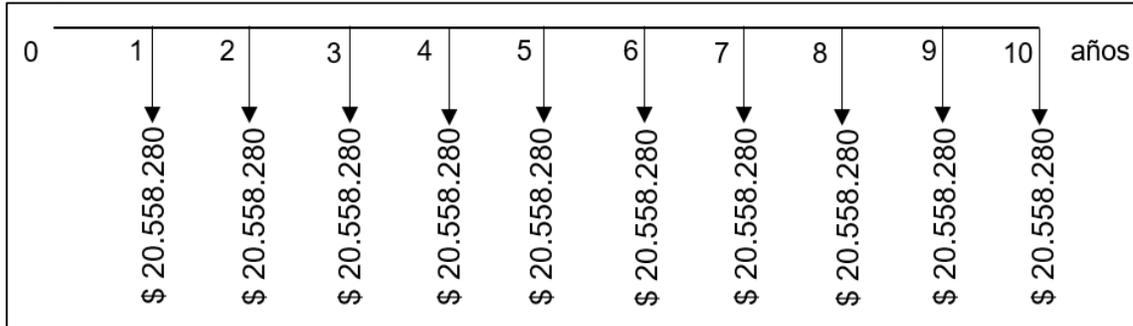
$$\text{CAE} = \$26.677.924 * \left[ \frac{0.07875(1 + 0.07875)^{10}}{(1 + 0.07875)^{10} - 1} \right]$$

$$\text{CAE} = \$3.953.355$$

Flujo de caja de la Adquisición No. 2.

La proyección se ejemplifica en un esquema de flujos mostrado en el siguiente diagrama.

Diagrama 2. Esquema de flujo de caja a 10 años



Con el esquema de flujo mostrado se calcula el Valor Presente Neto o VPN, de la siguiente manera:

$$\begin{aligned}
 \text{VPN} = & \frac{20.558.280}{(1+0.07875)} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^2} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^3} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^4} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^5} \\
 & + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^6} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^7} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^8} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^9} + \frac{20.558.280}{(1+0.07875)^{10}} \\
 \text{VPN} = & \$138.730.835
 \end{aligned}$$

Finalmente, teniendo el valor actual se puede calcular el costo equivalente utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{CAE} = \text{CT} \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Donde:

CT: Costo total del proyecto que equivale al VP

r: Tasa interna de oportunidad TIO

n: Período de proyección (10 años)

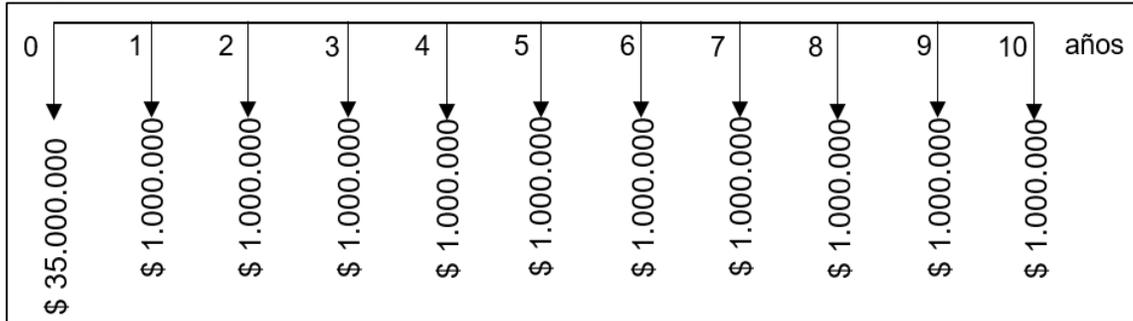
$$\text{CAE} = \$138.730.835 * \left[ \frac{0.07875(1 + 0.07875)^{10}}{(1 + 0.07875)^{10} - 1} \right]$$

$$\text{CAE} = \$20.558.280$$

Flujo de caja Adquisición No. 3.

La proyección se ejemplifica en un esquema de flujos mostrado en el siguiente diagrama.

Diagrama 3. Esquema de flujo de caja a 10 años



Fuente: Autores

$$\begin{aligned}
 VPN = & 35.000.000 + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^2} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^3} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^4} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^5} \\
 & + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^6} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^7} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^8} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^9} + \frac{1.000.000}{(1+0.07875)^{10}} \\
 VPN = & \$ 41.748.173
 \end{aligned}$$

Teniendo el valor actual se calcula el costo equivalente con la siguiente ecuación:

$$CAE = CT \left[ \frac{r(1+r)^n}{(1+r)^n - 1} \right]$$

Donde:

CT: Costo total del proyecto que equivale al VP

r: Tasa interna de oportunidad TIO

n: Período de proyección (10 años)

$$CAE = \$41.748.173 * \left[ \frac{0.07875(1 + 0.07875)^{10}}{(1 + 0.07875)^{10} - 1} \right]$$

$$CAE = \$6.186.589$$

Para finalizar el análisis financiero se comparan los valores obtenidos anteriormente para determinar la viabilidad económica del proyecto.

Tabla 41. Comparación de los métodos financieros en las alternativas

<b>Comparación de las alternativas planteadas</b>		
<b>Alternativa</b>	<b>VPN</b>	<b>CAE</b>
Diseñar y construir un banco didáctico de pruebas MPFI	\$26.677.924	\$3.953.355
Alquiler de un banco didáctico de pruebas AUTOTOOLS S.A	\$138.730.835	\$20.558.280
Comprar y mantener una estación MPFI AUTOTOOLS	\$41.748.173	\$6.186.589

El valor presente neto como indicador de factibilidad del proyecto permitió determinar que la mejor alternativa es *Diseñar y construir un banco didáctico de pruebas MPFI*, ya que el valor presente neto de esta opción es de \$26.677.924 mientras que el alquiler es de \$138.730.835 y de la compra es de \$41.748.173, equivalente al dinero de hoy correspondiente al costo total de las inversiones

El costo anual equivalente nos permitió determinar el valor de ahorro anual del proyecto en donde se hace una comparación entre el CAE elegido y el CAE de las demás alternativas estudiadas.

La comparación entre CAE elegido frente al CAE del alquiler se muestra a continuación:

$$\text{Ahorro} = \$20.558.280 - \$3.953.355 = \$16.604.925$$

Se repite el anterior procedimiento para la comparación entre el *Diseño y construcción del banco* y *Compra del banco*, tal como se muestra a continuación:

$$\text{Ahorro} = \$6.186.589 - \$3.953.355 = \$2.223.234$$

Los métodos financieros empleados permitieron proporcionar el ahorro obtenido a lo largo de los 10 años de proyección, lo cual permitió catalogar al *Alquiler de banco didáctico* como la opción menos rentable, pues tiene un precio de alquiler demasiado elevado.

En cuanto a la opción de compra del banco puede analizarse qué, aunque la inversión inicial es un poco elevada, los costos de mantenimiento anuales son relativamente bajos lo que permite tener un costo anual equivalente muy cercano al obtenido en éste proyecto.

## 9. CONCLUSIONES

- El banco didáctico para pruebas cumplió con los requerimientos del cliente, pues está equipado con diferentes componentes que contribuyen al diagnóstico detallado del funcionamiento del motor, permiten mostrar las fallas inducidas por el profesor a cargo o producidas por el desgaste propio del uso.
- El motor seleccionado presentó ventajas frente a los demás mencionados, ya que en los criterios comerciales y técnicos se evidenció la facilidad de adquisición, actualmente fue catalogado como el más vendido en Colombia por presentar un bajo cilindraje (menor consumo de combustible), tener una tecnología MPFI y un bajo costo de mantenimiento anual. Estas características hicieron que su comercialización en el parque automotor de los taxis se incrementará por 10 años posicionándolo como el auto predilecto para las labores de servicio público en las ciudades principales.
- Al seleccionar un perfil estructural no sólo debe tenerse en cuenta el catálogo del fabricante empleado, sino la disponibilidad del perfil en el mercado ya que se debe verificar si existe en stock del almacén o si todavía lo fabrican en el tiempo requerido.
- Para la selección del perfil requerido se vio la necesidad de buscar otros métodos estáticos para conocer el valor de las reacciones en la viga analizada, ya que tenía la condición de viga indeterminada o hiperestática, por ello el método seleccionado fue el de *Funciones de singularidad*.
- Se empleó un factor de seguridad para los cálculos realizados analíticamente útil para seleccionar un perfil adecuado el cual soporta todas las cargas presentes en la estructura. Estos resultados se corroboraron con el Análisis por Elementos Finitos en donde se obtuvo un factor de seguridad Von Mises mayor, lo cual indica que el perfil seleccionado analíticamente si soportará las cargas que ejerce el motor y los componentes adicionales que tiene el banco.
- Después de evaluar las emisiones de gases producidas por el motor en estudio, se comprueba que el proyecto cumple con los requerimientos solicitados por el Ministerio de Medio Ambiente, según la Resolución 1111 puesto que las emisiones tanto de dióxido de carbono como de monóxido de carbono están por debajo de las establecidas en el documento regulatorio.

- Teniendo en cuenta los datos obtenidos en el análisis financiero con respecto al VPN de las alternativas propuestas, el proyecto es económicamente viable ya que presenta el menor costo, es decir, que el valor presente supera el costo realizado en la inversión en la proyección de 10 años. De igual forma, el CAE evidencia un ahorro frente a las alternativas planteadas de \$16.679.208 con respecto al alquiler y de \$2.200.442 frente a la compra del banco.
- Por otra parte, la Universidad quedaría con el activo que le puede servir para prácticas de laboratorio de materias diferentes a la de motores, proveyendo un servicio adicional y el cual puede contar con actualizaciones periódicas para mantener vigente su inversión en el laboratorio.

## 10. RECOMENDACIONES

- Se recomienda utilizar en el banco un analizador de gases en la salida del exosto para así poder detallar la cantidad de contaminantes que se está expulsando, esto además de ser un control de seguridad, facilita la práctica de lectura de emisión de gases contaminantes; complementando esta recomendación, tener en cuenta que la ubicación del laboratorio sea en un espacio amplio y aireado.
- Se sugiere que dentro de la temática propuesta en las asignaturas de diseño se incluya el método de singularidad pues resuelve vigas determinadas e indeterminadas.
- Revisar por contaminación de ruido el manejo que se pueda dar al respecto y disponer en el reglamento de uso del laboratorio el uso de protector de oídos.
- Implementar un sistema de dinamómetro para la medición del par torsor.
- Suplir el banco con un escáner de mayor tecnología que permita abarcar mayores tipos de falla.

## BIBLIOGRAFÍA

ACEROMEX (México), Catálogo de productos. Aceromex S.A, 2018.

AURIA APILUELO, Jose M.; IBAÑEZ CARABANTES, Pedro y UBIETO ARTUR, Pedro. Conjuntos y Despieces. Paraninfo, 2005. 1-24 p.

AUTODATA, KXX y K7J o K7M. N.T. 6010 A.

BUDYNAS, Richard G. y NISBETT, J. Keith. Diseño en ingeniería mecánica de Shigley (9a. ed.). McGraw-Hill Interamericana, 2012.

Código, et al. FICHA TÉCNICA REFRIGERANTE LUBRISTONETM VERDE.

CORPOACERO. Catálogo de productos. Barranquilla 2017.

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN.  
Referencias bibliográficas. Contenido, forma y estructura. NTC 5613 Bogotá D.C.  
El instituto, 2008. 33p. c.

\_\_\_\_\_. Documentación. Presentación de tesis, trabajos de grado y otros trabajos de investigación. NTC 1486. Bogotá D.C.: El instituto, 2008. 36p. 2008.

\_\_\_\_\_. Referencias documentales para fuentes de información electrónicas. NTC 4490. Bogotá D.C.: El instituto, 1998. 23p.

\_\_\_\_\_. Evaluación de gases de escape de vehículos automotores que operan con ciclo Otto. Método de ensayo en marcha mínima (ralentí) y velocidad crucero y especificaciones para los equipos empleados en esta evaluación. NTC 4983. Bogotá D.C.: El instituto, 2012. 25p.

LOCALIZACIÓN DE AVERÍA. Tabla General de Códigos de Defectos OBDII / EOBD.

Manual Hyundai Atos 1997 2002 información general.

MARTÍ PARERA, Albert. Inyección electrónica en motores de gasolina. México: Alfaomega, 1996.

MECANICO AUTOMOTRIZ. Información General. 2002. Disponible en: [www.mecanicoautomotriz.org](http://www.mecanicoautomotriz.org)

MECANICO AUTOMOTRIZ. Lubricación y Mantenimiento. 2002. Disponible en: [www.mecanicoautomotriz.org](http://www.mecanicoautomotriz.org)

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas (4a. ed.). Naucalpan de Juárez: Pearson Educación, 2006.

NARANJO SUAREZ, Julián y DIAZ GUERRERO, Juan Pablo. Diseño y construcción de una estación de entrenamiento de motores M.P.F.I para el laboratorio de la Universidad de América. Bogotá, D. C.: Fundación Universidad de América, 2012.

POZO MOYA, Carlos. Introducción. En: HORMIGÓN Y ACERO. Jan. vol. 68, no. 281, p. 3

ProArgentina. Autopartes. Córdoba: El Cid Editor, 2005a.

Revista Dinero Colombia tendrá 3,5 millones de vehículos a 2020. En: COLOMBIA TENDRÁ 3,5 MILLONES DE VEHÍCULOS A 2020.

RUEDAS, AFO. Desde 1.931.

SECUNDINO, Escudero; GONZÁLEZ, Jesús y RIVAS, Juan Luis. Motores. Madrid: Macmillan Iberia, S.A, 2009.

TIEMPO, Casa Editorial El. Jueves de Mecánica: repaso al funcionamiento y mantenimiento de la inyección electrónica. "Jul 10, ". [Consultado el Nov 27,2017]. Disponible en: <http://www.motor.com.co/actualidad/lanzamientos/jueves-mecanica-repaso-funcionamiento-mantenimiento-inyeccion-electronica/18785>

TORRES ADRIANA. Capítulo 1. Introducción. En: REVISTA COLOMBIANA DE CARDIOLOGÍA. Mar 1.,vol. 23, p. 4-5

UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE. Facultad de ingeniería. ESTABILIDAD II. Cargas dinámicas. Capítulo 11 Cargas dinámicas y fatiga. Argentina. 2005.

VILLALTA, Luis. Aplicación de procedimientos del fabricante en la reparación del sistema de inyección electrónica. Elsevier, 2016. p. 4-5.

ANEXOS

## ANEXO A CATÁLOGO DE LÁMINAS

### — Lámina Rolada en Caliente, decapada y sin decapar

Calibre	Espesor		Peso		Peso teórico por hoja (kg.)					
	Pulg.	mm.	kg./pie <sup>2</sup>	kg./m. <sup>2</sup>	3' x 6'	3' x 8'	3' x 10'	4' x 8'	4' x 10'	5' x 10'
3	0.239	6.07	4.43	47.65	79.68	106.24	132.81	141.66	177.07	-
4	0.224	5.69	4.15	44.67	74.69	99.59	124.49	132.79	165.99	-
5	0.209	5.31	3.87	41.68	69.71	92.94	116.18	123.92	154.90	-
6	0.194	4.94	3.60	38.78	64.85	86.46	108.08	115.29	144.11	-
7	0.179	4.55	3.32	35.72	59.73	79.64	99.55	106.19	132.73	-
8	0.164	4.18	3.05	32.81	54.87	73.16	91.45	97.55	121.94	-
9	0.150	3.80	2.77	29.83	49.88	66.51	83.14	88.68	110.85	-
10	0.135	3.42	2.49	26.85	44.90	59.86	74.83	79.81	99.77	124.71
11	0.120	3.04	2.22	23.86	39.91	53.21	66.51	70.95	88.68	110.85
12	0.105	2.66	1.94	20.88	34.92	46.56	58.20	62.08	77.60	97.00
13	0.090	2.28	1.66	17.90	29.93	39.91	49.88	53.21	66.51	-
14	0.075	1.90	1.39	14.92	24.94	33.26	41.57	44.34	55.43	-
15	0.067	1.71	1.25	13.42	22.45	29.93	37.41	39.91	49.89	-
16	0.060	1.52	1.11	11.93	19.95	26.60	33.26	35.47	44.34	-

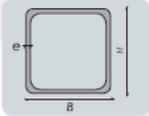
Fuente: Catálogo Aceromex Pag. 9

## ANEXO B CATÁLOGO DEL PERFIL SELECCIONADO

ELEMENTO	Composición química exigida por la Norma A500 Grado C para la Materia Prima	Exigido por la Norma A500 Grado C (%)	
		Circulares	Cuadrados
Carbono ( C ) máx	0,23		
Manganeso ( Mn ) máx	1,35		
Fósforo ( P ) max	0,035		
Azufre ( S ) max	0,035		
<b>Fy (ksi)</b>		<b>46</b>	<b>50</b>
<b>Fu (ksi)</b>		<b>62</b>	<b>62</b>
<b>Elongación (%) min.</b>		<b>21 (en 2")</b>	<b>21 (en 2")</b>

**PROPIEDADES PTEC® CUADRADA (A500 GRADO C) (Producido en Planta Bogotá)\***

PERFIL	H (mm)	B (mm)	e nominal (mm)	Peso (kg/m)	Area (cm <sup>2</sup> )	Ix = Iy (cm <sup>4</sup> )	Sx = Sy (cm <sup>3</sup> )	Zx (cm <sup>3</sup> )	J (cm <sup>4</sup> )
PTEC 26 mm x 26 mm x 2.0 mm	26	26	2.0	1.43	1.82	1.70	1.30	1.60	2.84
PTEC 26 mm x 26 mm x 2.5 mm	26	26	2.5	1.72	2.19	1.95	1.50	1.88	3.33
PTEC 26 mm x 26 mm x 3.0 mm	26	26	3.0	1.98	2.53	2.14	1.65	2.11	3.73
PTEC 30 mm x 30 mm x 2.0 mm	30	30	2.0	1.68	2.14	2.73	1.82	2.21	4.51
PTEC 30 mm x 30 mm x 2.5 mm	30	30	2.5	2.03	2.59	3.17	2.11	2.61	5.35
PTEC 30 mm x 30 mm x 3.0 mm	30	30	3.0	2.36	3.01	3.52	2.35	2.96	6.06
PTEC 40 mm x 40 mm x 2.0 mm	40	40	2.0	2.31	2.94	6.94	3.47	4.13	11.24
PTEC 40 mm x 40 mm x 2.5 mm	40	40	2.5	2.82	3.59	8.23	4.11	4.97	13.54
PTEC 40 mm x 40 mm x 3.0 mm	40	40	3.0	3.30	4.21	9.34	4.67	5.72	15.63
PTEC 50 mm x 50 mm x 2.0 mm	50	50	2.0	2.93	3.74	14.15	5.66	6.66	22.58
PTEC 50 mm x 50 mm x 2.5 mm	50	50	2.5	3.60	4.59	16.95	6.78	8.07	27.44
PTEC 50 mm x 50 mm x 3.0 mm	50	50	3.0	4.25	5.41	19.49	7.80	9.39	31.97
PTEC 60 mm x 60 mm x 2.0 mm	60	60	2.0	3.56	4.54	25.15	8.38	9.79	39.73
PTEC 60 mm x 60 mm x 2.5 mm	60	60	2.5	4.39	5.59	30.35	10.12	11.93	48.54



Fuente: Catálogo Corpacero.

## ANEXO C CATÁLOGO RUEDAS



**201-FDA GN (1042)**

							Código	Descripción	P.V.P.
80X35	108	72	105X80	80X60	9	90	29467	201/80 FDA GN CR	
100X35	128	83	105X80	80X60	9	110	29470	201/100 FDA GN	
125X38	158	101	105X80	80X60	9	125	29473	201/125 FDA GN	
160X40	190	127	135X105	105X80	11	150	29476	201/160 FDA GN	
200X50	240	156	140X110	105X80	11	200	29479	201/200 FDA GN	

**SISTEMA FRENO**

FDA: Dispositivo freno de doble acción. Bloqueo total y simultáneo del giro de la rueda y del giro axial del soporte.

Fuente: RUEDAS AFO.

## ANEXO D CATÁLOGO DE LA SELECCIÓN DEL ELECTRODO



CONSUMIBLES COMUNES  
PARA SOLDAR

# CARACTERISTICAS

WEST ARCO, cuenta con un metal de aporte para cada necesidad; en caso de no encontrar el indicado, consulte con nuestro departamento técnico

★ para pasar de psi a MPa (N/mm<sup>2</sup>) dividir por 1000 y multiplicar por 6.894757

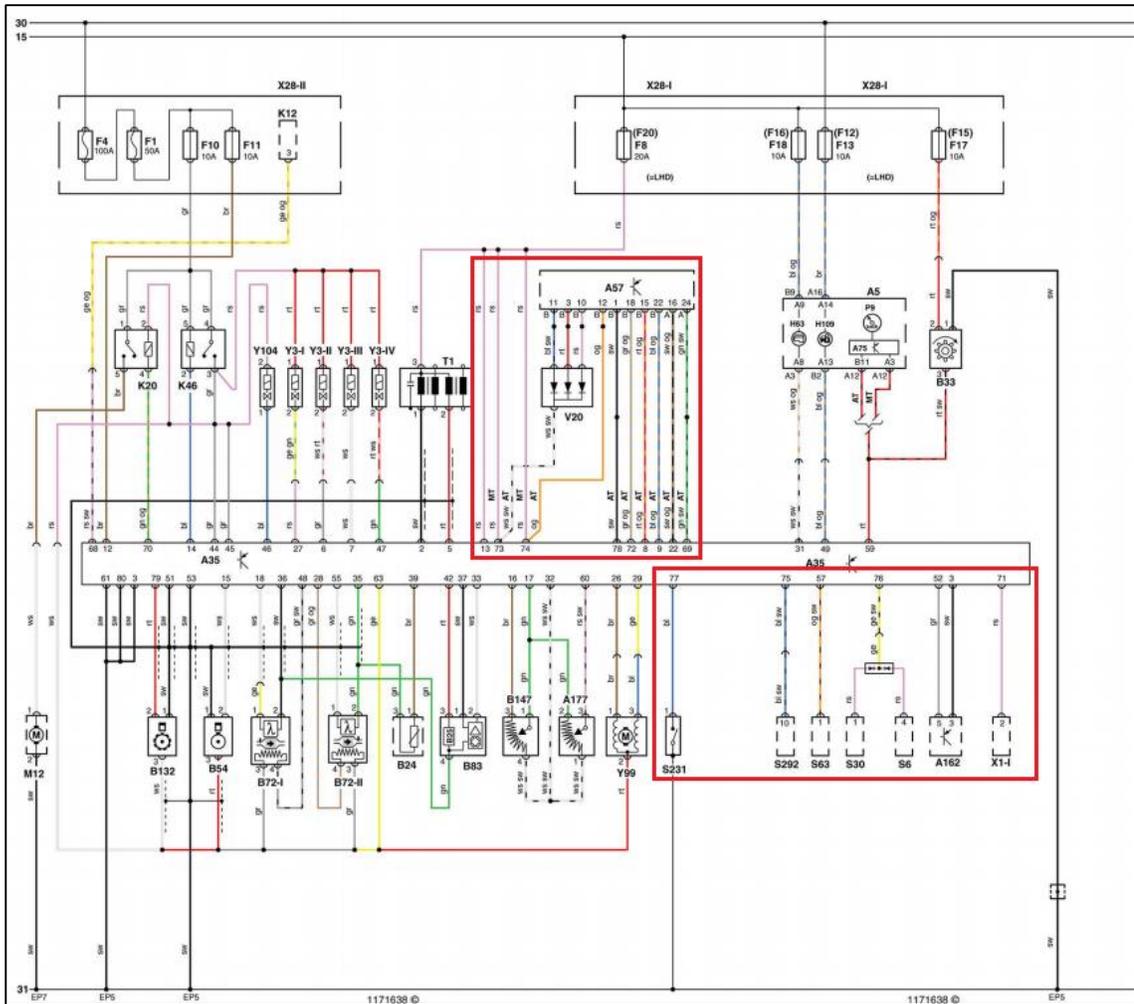
ac : Corriente Alterna

dcep: Corriente directa electrodo al positivo      dcaen: Corriente directa electrodo al negativo

Especificación	Clasificación AWS	Nombre WEST ARCO	Características y Aplicaciones	Resistencia a la Tracción (psi)	Limite de Fluencia (psi)	Elongación (%)	Resistencia al impacto Charpy con entalla en V		Posición para soldar	Tipo de Corriente	AMPERIOS			
							T en °C	Resistencia al impacto (J)			3/32"	1/8"	5/32"	3/16"
LA SOLDAR (S A5.1)	E6010	XL 610	Es un electrodo de alta penetración y rápida solidificación. Para soldar aceros de bajo carbono, lámina ordinaria y galvanizada, calderas, estructuras, tuberías de presión y acero fundido.	62.000 72.000	52.000 62.000	22 al 33	-29	27 a 100	TODAS	dcep	50-80	70-115	90-160	120-210
	E6010	ZIP 10T	Es un electrodo de muy buena penetración, con polvo de hierro, buena calidad radiográfica especialmente diseñado para oleoductos, gasoductos, construcciones navales, estructuras de acero y recipientes a presión.	62.000 72.000	52.000 62.000	22 al 33	-29	27 a 100	TODAS	dcep	50-80	70-120	90-155	120-180
	E6011	ACP 611SS	Se emplea para soldar todo tipo de aceros de bajo carbono en tuberías, estructuras, construcciones navales, recipientes a presión, etc. Especialmente pases de penetración.	63.000 74.000	52.000 60.000	27 al 35	-29	27 a 100	TODAS	ac o dcep	50-80	70-115	90-160	120-210
	E6013	SUPER SW 613	Construcciones de hierro en general, carpinterías metálicas con lámina delgada, fabricación de puertas, ventanas, rejas, ductos, ensamble de carrocerías y ornamentación en general.	60.000 74.000	48.000 62.000	22 al 28	20	40 a 110	TODAS	ac, dcep o dcaen	60-100	90-130	120-160	

Fuente: West Arco

## ANEXO E ESQUEMA ELÉCTRICO OBD2



Fuente: AUTOTOOLS LTDA.

## ANEXO F COTIZACIÓN DE AUTOTOOLS LTDA.



COTIZACION BANCO DIDACTICO CON  
MOTOR GASOLINA 1.25 L  
MARCA HYUNDAI - GRAND i 10  
INYECCION MULTIPUNTO - SECUENCIAL

VERSION - 2017



VISTA LATERAL FRONTAL MOTORES A GASOLINA



VISTA LATERAL TRASERA RADIADOR CON PROTECCIÓN



TABLERO DE INSTRUMENTOS PARA MOTOR GASOLINA  
CON CONTROL DE HORAS DE TRABAJO



CAJA DE CONEXIONES EXTERNA  
PARA LA PRUEBAS DE CONEXIONES GASOLINA

Autotools Ltda. Calle 72 A # 20-C-71 Tel 3476800 Fax 3478900 BOGOTÁ DC  
[www.autotools.com.co](http://www.autotools.com.co) - e-mail: [info@autotools.co](mailto:info@autotools.co)

1



VISTA DE CAJA DE FUSIBLES Y RELÉS INTERNA



VISTA DE CAJA DE FUSIBLES EXTERNA



VISTA INTERNA DE CAJA DE FALLAS Y DE LAS  
CONEXIONES DENTRO DE CAJA DE CONTROL



VISTA DE MANGUERA DE GASOLINA HACIA EL  
MANÓMETRO (MANGUERA ESPECIAL DE SEGURIDAD)



VISTA MÚLTIPLE ADMISIÓN Y TANQUE COMPENSACIÓN



VISTA DE PROTECCIONES DE SEGURIDAD



MOTOR 4 CILINDROS HYUNDAI



VISTA LATERAL DE BANCO DIDACTICO

Motor a gasolina completo, nuevo modelo 2017 - 2018 con manifiesto de importación, con todos los accesorios en perfecto funcionamiento montado sobre en un banco didáctico con rodachinas y apto para funcionar en cualquier momento como si se encontrara montado en el vehículo. Permite diagnóstico con escáner multimarcas, original de la marca o genérico básico de OBD2.

Con los siguientes accesorios nuevos: alternador, batería, soporte móvil con rodachinas, tablero con instrumentos de medición, radiador, ventilador, protector frontal para el radiador, protectores de partes en movimiento, motor arranque, bomba de inyección, tanque de combustible con tapa de llenado y sellado para evitar evaporación, inyección electrónica multipunto secuencial, interruptor de encendido convencional con llave, tubo de escape con silenciador, filtros de gasolina, aceite y aire, líquido refrigerante, sin eje de salida y sin caja de cambios.

El tamaño del motor ofrecido es desde 1.250 CC de un vehículo comercializado en Colombia marca Hyundai, también se pueden ofrecer otras marcas y cilindrajes así como motores Diesel Common Rail o Gasolina Inyección Directa, de vehículos con alta comercialización Colombia. Posee sistema de diagnóstico OBD2 con sistema CAN-BUS, sistema de control de emisiones completo con sensor de oxígeno y catalizador.

Instrumentos de medición didácticos que supera los controles de un vehículo convencional: Indicador de presión de aceite, indicador de temperatura de agua, indicador de voltaje y carga del alternador, indicador de RPM o tacómetro, presión de combustible y tacómetro, todo montado en un tablero de instrumentos de control con interruptor de encendido con llave.

Estos instrumentos garantizan una mejor comprensión de la información del motor durante el funcionamiento, pues el tablero convencional "ORIGINAL" del vehículo NO permite visualizar realmente la operación, además los manómetros individuales evitan el uso de ciertas herramientas las cuales se reemplazan con la información por ellos indicada, como Vacuómetro, Medidor Presión Combustible, Amperímetro. Recuerden que los tableros "ORIGINALES" del vehículo son para el conductor y solo terminan ofreciendo testigos de aviso y la velocidad del vehículo que para este caso no aplica en absoluto.

ACCESORIOS:

- \* Montado en banco didáctico con protecciones de seguridad y rodachinas.
- \* Gabinete con llave donde se encuentra la ECU, el generador de fallas y otros dispositivos de control.
- \* Manuales de servicio del vehículo en formato CD con ayudas didácticas para presentación.
- \* Cajón de almacenamiento para herramientas y sistema master de alimentación de energía.
- \* Con caja de generación de fallas para simulación de problemas del sistema electrónico.
- \* Con conector de diagnóstico y caja para revisión de protocolos de comunicación.
- \* Con caja de conexiones para pruebas con Multímetro u Osciloscopio.

#### CALIDAD:

- \* Cumple con las normas internacionales de calidad para equipos electrónicos.
- \* Capacitación de operación y mantenimiento a instructores.
- \* Motor comercial en Colombia.
- \* Autotools Ltda., tiene amplia experiencia en el suministro de estos motores se han suministrado más de 60 unidades.

#### GARANTÍA:

- \* Garantía de (1) un año por defectos de fabricación.
- \* Garantía de suministro de repuestos por dos (2) años.

#### VALORES:

- \* Valor de venta totalmente nuevo de \$ 35'000.000 + IVA
- \* Valor de alquiler semanal \$ 2'000.000 + IVA.

#### COTIZO.

A handwritten signature in black ink, appearing to read 'Jimmy Montoya', with a stylized, cursive script.

ING. JIMMY MONTOYA  
GERENTE TECNICO  
AUTOTOOLS LTDA

Fecha: Lunes 20 Nov 2017

ANEXO G  
CÓDIGOS DE FALLA

ANEXO H  
PLANOS

 Fundación Universidad de América	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

## AUTORIZACIÓN PARA PUBLICACIÓN EN EL REPOSITORIO DIGITAL INSTITUCIONAL LUMIERES

Nosotros MARIA CLAUDIA BASTIDAS LÓPEZ y SERGIO NICOLÁS ROMERO ROMERO en calidad de titulares de la obra DISEÑO DE UN BANCO DIDÁCTICO PARA PRUEBAS DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA, elaborada en el año 2017, autorizamos al **Sistema de Bibliotecas de la Fundación Universidad América** para que incluya una copia, índice y divulgue en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres, la obra mencionada con el fin de facilitar los procesos de visibilidad e impacto de la misma, conforme a los derechos patrimoniales que nos corresponden y que incluyen: la reproducción, comunicación pública, distribución al público, transformación, en conformidad con la normatividad vigente sobre derechos de autor y derechos conexos (Ley 23 de 1982, Ley 44 de 1993, Decisión Andina 351 de 1993, entre otras).

Al respecto como Autores manifestamos conocer que:

- La autorización es de carácter no exclusiva y limitada, esto implica que la licencia tiene una vigencia, que no es perpetua y que el autor puede publicar o difundir su obra en cualquier otro medio, así como llevar a cabo cualquier tipo de acción sobre el documento.
- La autorización tendrá una vigencia de cinco años a partir del momento de la inclusión de la obra en el repositorio, prorrogable indefinidamente por el tiempo de duración de los derechos patrimoniales del autor y podrá darse por terminada una vez el autor lo manifieste por escrito a la institución, con la salvedad de que la obra es difundida globalmente y cosechada por diferentes buscadores y/o repositorios en Internet, lo que no garantiza que la obra pueda ser retirada de manera inmediata de otros sistemas de información en los que se haya indexado, diferentes al Repositorio Digital Institucional – Lumieres de la Fundación Universidad América.
- La autorización de publicación comprende el formato original de la obra y todos los demás que se requiera, para su publicación en el repositorio. Igualmente, la autorización permite a la institución el cambio de soporte de la obra con fines de preservación (impreso, electrónico, digital, Internet, intranet, o cualquier otro formato conocido o por conocer).
- La autorización es gratuita y se renuncia a recibir cualquier remuneración por los usos de la obra, de acuerdo con la licencia establecida en esta autorización.
- Al firmar esta autorización, se manifiesta que la obra es original y no existe en ella ninguna violación a los derechos de autor de terceros. En caso de que el trabajo haya sido financiado por terceros, el o los autores asumen la responsabilidad del cumplimiento de los acuerdos establecidos sobre los derechos patrimoniales de la obra.
- Frente a cualquier reclamación por terceros, el o los autores serán los responsables. En ningún caso la responsabilidad será asumida por la Fundación Universidad de América.
- Con la autorización, la Universidad puede difundir la obra en índices, buscadores y otros sistemas de información que favorezcan su visibilidad.

Conforme a las condiciones anteriormente expuestas, como autores establecemos las siguientes condiciones de uso de nuestra obra de acuerdo con la **licencia Creative Commons** que se señala a continuación:

	FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA	Código:
	PROCESO: GESTIÓN DE BIBLIOTECA	Versión 0
	Autorización para Publicación en el Repositorio Digital Institucional – Lumieres	Julio - 2016

	Atribución- no comercial- sin derivar: permite distribuir, sin fines comerciales, sin obras derivadas, con reconocimiento del autor.	<input type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial: permite distribuir, crear obras derivadas, sin fines comerciales con reconocimiento del autor.	<input checked="" type="checkbox"/>
	Atribución – no comercial – compartir igual: permite distribuir, modificar, crear obras derivadas, sin fines económicos, siempre y cuando las obras derivadas estén licenciadas de la misma forma.	<input type="checkbox"/>

Licencias completas: [http://co.creativecommons.org/?page\\_id=13](http://co.creativecommons.org/?page_id=13)

Siempre y cuando se haga alusión de alguna parte o nota del trabajo, se debe tener en cuenta la correspondiente citación bibliográfica para darle crédito al trabajo y a sus autores.

De igual forma como autores autorizamos la consulta de los medios físicos del presente trabajo de grado así:

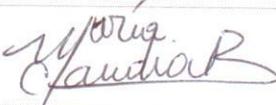
AUTORIZAMOS	SI	NO
La consulta física (sólo en las instalaciones de la Biblioteca) del CD-ROM y/o Impreso	x	
La reproducción por cualquier formato conocido o por conocer para efectos de preservación	x	

Información Confidencial: este Trabajo de Grado contiene información privilegiada, estratégica o secreta o se ha pedido su confidencialidad por parte del tercero, sobre quien se desarrolló la investigación. En caso afirmativo expresamente indicará (indicaremos), en carta adjunta, tal situación con el fin de que se respete la restricción de acceso.	SI	NO
		X

Para constancia se firma el presente documento en Bogotá D.C., a los 18 días del mes de Febrero del año 2018.

#### LOS AUTORES:

##### Autor 1

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
MARIA CLAUDIA	BASTIDAS LÓPEZ
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1019103200	

##### Autor 2

<b>Nombres</b>	<b>Apellidos</b>
SERGIO NICOLÁS	ROMERO ROMERO
<b>Documento de identificación No</b>	<b>Firma</b>
1010228001	