

UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA  
Facultad de Ingeniería  
Departamento de Ingeniería Mecánica

# DISEÑO DE GUÍAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DEL CURSO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Trabajo presentado por Luis Pedro Pérez Gutiérrez para optar por el grado académico de  
Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2012







DISEÑO DE GUÍAS PARA PRÁCTICAS DE  
LABORATORIO DEL CURSO DE MOTORES DE  
COMBUSTIÓN INTERNA



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ingeniería

# DISEÑO DE GUÍAS PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DEL CURSO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

Trabajo presentado por Luis Pedro Pérez Gutiérrez para optar por el grado académico de  
Licenciado en Ingeniería Mecánica

Guatemala

2012



Vo. Bo.

(f) 

Ing. Juan José Recinos (asesor)

Tribunal Examinador

(f) 

Ing. Victor Hugo Ayerdi

(f) 

Ing. Manuel Ruano

(f) 

Ing. Raúl Loarca

Fecha de aprobación: Guatemala, 04 de diciembre de 2012



## PREFACIO

A través de los años, la Universidad del Valle de Guatemala ha mostrado ser una fuente de conocimiento tanto teórica como técnica. Este trabajo es la culminación de un capítulo que definitivamente marcó mi vida, ya que en este tiempo conocí a personas increíbles de las que aprendí mucho en diversos aspectos. Al mismo tiempo, el trabajo abarca los temas que más me han interesado desde pequeño: la mecánica, los motores y el poder ayudar a los demás.

El trabajo demuestra la realización de una investigación de una serie de temas de diversas clases con el fin de ayudar a los demás estudiantes de una carrera que me encantó seguir. En el trabajo se abarcan temas que se dieron en el curso de Motores de Combustión Interna, pero al momento de hacer las prácticas de laboratorio, carecían de estructura y temas a abarcar. Mejorar la experiencia dentro del laboratorio fue una de las premisas a considerar durante la realización del trabajo.

Para el lector, quisiera mencionar que el trabajo comprende temas y conceptos que para un Ingeniero Mecánico serán usuales o conocidos, pero la intención puesta a la redacción fue para que cualquier persona con o sin conocimiento de mecánica avanzada, pueda entenderlo y de ser posible realizar las prácticas. Ya que actualmente en Guatemala el porcentaje de la población que recibe estudios superiores es mínima, se hizo las prácticas para mejorar la formación del lector y pueda tener una mejor formación profesional.

Quisiera agradecerle a todas las personas involucradas en la elaboración de la investigación del trabajo, al departamento de Ingeniería Mecánica: al Ing. Victor Hugo Ayerdi, al Ing. Juan José Recinos, a Estela Morales, y a Dany Escobar; a las personas que me atendieron y ayudaron a realizar las cotizaciones; a todas esas personas que me apoyaron durante las noches de elaboración del trabajo las cuales me motivaron a terminarlo: Sara, Kathy, Coqui, el personal de Helados Sarita, etc., gracias a ustedes logré terminarlo; a mis compañeros de la carrera, que hicieron de recibir clases una experiencia increíble; a los amigos que siempre me apoyaron desde el colegio les digo: ¡¡¡Al fin!!! A esas personas que no creyeron que lo lograría les digo, que sí se puede, sólo es cuestión de dedicarse y ponerle muchas ganas y como dice el dicho “el que siembra cosecha”. Uno de los agradecimientos que más se merecen es al Departamento de Física, ya que a través de estos cuatro años de auxiliatura pude tener un amplio conocimiento de lo que es ayudar a las personas en un laboratorio. Un gran agradecimiento a mis papás,

hermanos, amigos incondicionales, a Mafercita y personas a quienes considero familia, por haberme apoyado y aguantado en lo largo del transcurso de mi vida universitaria. A esas personas que quiero mucho pero que ya no están a mi lado, les quiero agradecer por haberlas compartido y hacer de mí la persona que soy. Y sobre todo quisiera agradecer a Dios, la Virgen y demás Santos en quienes confío y apoyo.

Espero que este trabajo los motive a ser mejores personas y con sólo el hecho de haber ayudado a alguien, me será suficiente. Para finalizar, una frase que me motivó: *“Se dice que la sabiduría es el esfuerzo por conocer, no sé... yo me esfuerzo por conocer y no me considero sabio, sólo un aprendiz.”*

Luis Pedro Pérez Gutiérrez

## CONTENIDO

PREFACIO.....	vii
LISTA DE TABLAS.....	xi
LISTA DE FIGURAS.....	xiii
RESUMEN .....	xv
I. INTRODUCCIÓN .....	1
II. LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA.....	3
A. Seguridad e higiene industrial .....	3
1. Seguridad en el laboratorio.....	3
B. Equipo y Herramienta .....	10
1. Equipo sugerido.....	10
2. Herramienta .....	11
III. DISEÑO DE PRUEBAS Y GUÍAS DE LABORATORIO .....	13
IV. ESTADO DEL MOTOR .....	15
A. Aceite .....	15
B. Bielas Centrales.....	16
C. Cigüeñal .....	17
D. Cilindros .....	18
E. Culata .....	19
F. Eje de levas .....	19
G. Pistones.....	20
V. DISEÑO DEL BANCO DE TRABAJO.....	23
A. Diseño del banco de pruebas.....	24
VI. CONCLUSIONES .....	25
VII. RECOMENDACIONES .....	27
VIII. BIBLIOGRAFÍA .....	29

IX. APÉNDICE .....	35
A. Apéndice A: Guías de laboratorio .....	35
1. Práctica No. 1: Seguridad en equipo y limpieza .....	35
2. Práctica No. 2: Motor de ciclo Otto, ciclo Diesel y componentes .....	40
3. Práctica No. 3: Verificación de condición, desgaste y fallas.....	49
4. Práctica No. 4: Armado de motor y puesta en marcha .....	52
5. Práctica No. 5: Afinación del motor .....	56
6. Práctica No. 6: Elaboración de plan de mantenimiento.....	59
B. Apéndice B: Hojas para mediciones para el desarrollo de las guías de laboratorio.....	62
C. Apéndice C: Planos del banco de pruebas.....	72
D. Apéndice D: Cálculos.....	74
1. Análisis por pandeo debido a fuerzas de compresión .....	75
2. Análisis por flexión debido a fuerzas de corte .....	77
3. Esfuerzos principales.....	78
4. Esfuerzos en soldaduras.....	82

## LISTA DE TABLAS

1. Señales de advertencia de un peligro .....	6
2. Señales de obligación y protección personal .....	7
3. Mediciones de biela .....	16
4. Mediciones de muñones cigüeñal.....	17
5. Mediciones cilindros.....	18
6. Mediciones Eje de Levas.....	20
7. Mediciones de los pistones .....	21
8. Holgura de aceite .....	21
9. Esfuerzos normales y cortantes .....	80
10. Resultados esfuerzos principales y cortantes máximos.....	81
11. Esfuerzos von Mises y Factores de seguridad. ....	82
12. Características de los cordones de soldadura .....	83
13. Posición centroide .....	83
14. Momentos de inercia .....	85
15. Segundo momento de inercia .....	85
16. Resultados esfuerzos y factor de seguridad.....	86



## LISTA DE FIGURAS

1. TALLER DE MOTORES.....	5
2. LÍMITES DE TALLER.....	5
3. VISTA GENERAL DEL TALLER DE MOTORES .....	5
4. SEÑAL DE PELIGRO.....	6
5. SEÑAL DE RIESGO ELÉCTRICO .....	6
6. SEÑAL DE RIESGO DE CAÍDAS AL MISMO NIVEL .....	6
7. SEÑAL DE PROHIBICIÓN - PROHIBIDO FUMAR .....	7
8. PROTECCIÓN OBLIGATORIA DE LA VISTA .....	7
9. PROTECCIÓN OBLIGATORIA DE LOS PIES.....	7
10. PROTECCIÓN OBLIGATORIA DE LAS MANOS .....	8
11. SEÑALES RELATIVAS A LOS EQUIPOS DE LUCHA CONTRA INCENDIOS - EXTINTOR.....	8
12. SEÑAL DE SALVAMENTO O SOCORRO - VÍA DE SOCORRO.....	8
13. ESTADO DEL ACEITE .....	15
14. MEDICIÓN PARA BIELA .....	16
15. BIELA CENTRAL .....	16
16. CIGÜEÑAL.....	17
17. CIGÜEÑAL.....	17
18. CILINDROS .....	18
19. MEDICIÓN PARA CILINDROS.....	18
20. CULATA.....	19
21. EJE DE LEVAS .....	19
22. MEDICIÓN PARA EJE DE LEVAS.....	20
23. ESTADO ACTUAL DE PISTONES .....	20
24. MEDICIÓN DE PISTONES .....	20
25. DISEÑO FINAL DE BANCO DE PRUEBAS.....	24
26. EJEMPLO HERRAMIENTA ORDENADA Y LIMPIA .....	37
27. LEVANTAMIENTO CORRECTO DE PIEZAS PESADAS .....	38
28. SECCIÓN TRANSVERSAL DE UN MOTOR DE CUATRO TIEMPOS ENCENDIDO POR CHISPA.....	41
29. SECUENCIA DE DESMONTAJE DE CULATA .....	46
30. CONDICIONES DE UNA MANGUERA .....	47
31. EMPLEO PLASTIGAGE .....	50
32. INSTALACIÓN DE ANILLOS DE UN PISTÓN .....	53

33. INSTALACIÓN DE CILINDROS.....	53
34. EJEMPLO DE APRIETE DE CULATA .....	54
35. DIAGRAMA DE FUERZAS.....	74
36. DIAGRAMA DE FUERZAS DEL ELEMENTO .....	74
37. DIAGRAMA DE CUERPO LIBRE.....	74
38. CARACTERÍSTICAS DE COLUMNAS IDEALES .....	75
39. DIAGRAMA DE FUERZAS Y MOMENTOS .....	78
40. DIAGRAMA DE SECCIONES A Y B.....	79
41. DIAGRAMA ESFUERZOS SECCIONES A Y B .....	79
42. VISTA BIDIMENSIONAL DE UN ELEMENTO CON ESFUERZOS PLANOS .....	80
43. ELEMENTOS CON DIMENSIONES .....	82
44. CENTROIDES DE SOLDADURA .....	84

## RESUMEN

El proyecto tiene como objetivo principal el complementar las clases teóricas del curso de Motores de Combustión Interna, al brindarle guías para el desarrollo de prácticas de laboratorio que se asemejen a la realidad. Para esto se desea realizar el análisis del estado actual de un motor diesel y determinar su viabilidad para poder utilizarlo o no. Consecuentemente, se realizará el diseño de la estructura donde va a ser situado el motor a utilizar para las prácticas.

Las guías están elaboradas con el fin de aprovechar los recursos del laboratorio. Al mismo tiempo fueron redactadas de una manera sencilla para facilitar su realización y comprensión de los conceptos del curso. Esto con el fin de poder resolver dudas, que la persona que las realice, conozca los componentes básicos del motor formando un criterio de los procedimientos a seguir en la realización de los procesos de mantenimiento. En total se redactaron 6 guías ordenadas de tal manera que abarquen los procedimientos generales para comprobar el estado de un motor de combustión interna de cuatro tiempos.

Para el diseño del banco de prueba, se contó con un motor diesel de un pickup Toyota Hilux, modelo 1997. Dicho motor se encontraba en desuso y se procedió a realizar un análisis previo para determinar la razón del estado en que estaba. Al desarmar el motor, se determinó que necesitaba servicio mayor y que falla fue debido a la falta de mantenimiento preventivo.

Teniendo definido el motor a utilizar, se procedió a tomar medidas para el diseño del banco de pruebas. Debido al peso del motor, se escogió un diseño capaz de soportar el estrés y es adaptable a mejoras deseadas. Uno de los principales criterios para el diseño fue que el diseño fuera económico y práctico.



# I. INTRODUCCIÓN

El motor de combustión interna es utilizado en diversas áreas de la industria y vida cotidiana. Dicha maquinaria es una manera de generar potencia para realizar trabajos. El Ingeniero Mecánico debe conocer los fundamentos básicos que involucran su mantenimiento y funcionamiento.

La Universidad del Valle de Guatemala, recientemente estableció el laboratorio para el curso de Motores de Combustión Interna. En el laboratorio se afianzan los temas teóricos y se complementan por medio de la práctica de éstos. Las prácticas del laboratorio se describen brevemente en el capítulo VI. Diseño de pruebas y guías de laboratorio, las cuales se detallan en el Apéndice A: Guías de laboratorio.

Para poder realizar las prácticas se necesitó de un motor para usar en el laboratorio como material didáctico. La máquina fue inspeccionada como se observa en el capítulo IV: Estado del motor. Para poder darle el correcto uso, fue necesario el diseño de un banco para la realización de pruebas. Dentro del diseño se presentan los parámetros y restricciones que definen las pruebas. Cabe mencionar que el diseño realizado es adaptable para futuras modificaciones dependiendo de las necesidades del laboratorio.

El conjunto de estas investigaciones, incorporado con el diseño del banco de pruebas, tiene como fin el aportar material para la realización del laboratorio de curso de Motores de Combustión Interna y contribuirle a la universidad un apoyo para la formación de ingenieros.

## A. Objetivos

### 1. *Generales*

- Realizar el diseño y planos de un banco de trabajo para prácticas con un motor de combustión interna.
- Desarrollar guías de prácticas de laboratorio para el curso de Motores de Combustión Interna.

## ***2. Específicos***

- Realizar una guía de procedimientos de trabajo que soporte los procedimientos de Motores de combustión Interna.
- Establecer el diseño y dimensiones óptimas para el banco de prueba de un motor de diesel.
- Efectuar el diagnóstico y reparación de un motor diesel para uso didáctico.

## II. LABORATORIO DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

El ingeniero debe poseer un balance entre los conceptos teóricos y los prácticos para poder solucionar problemas de manera más eficiente. El laboratorio de motores de combustión interna tiene como función el reforzar los conceptos enseñados en la clase teórica por medio de prácticas en ambiente controlado, para presentarle al realizador problemas similares a los de la vida profesional. Al mismo tiempo, tiene como propósito que el estudiante obtenga la experiencia básica para poder realizar correctamente un análisis del estado actual de un motor y proponer soluciones de una manera rápida y eficaz.

Para dictar apropiadamente el laboratorio de un curso, es necesario contar con equipo, material y herramientas adecuadas. En este sentido, la seguridad juega un papel muy importante, ya que de hacer las acciones de manera incorrecta, se pueden ocasionar accidentes con consecuencias severas y lesiones musculo-esqueléticas.

### A. Seguridad e higiene industrial

En la vida profesional, uno de los objetivos principales que se tiene es el salvaguardar la vida, la preservación de la salud y la integridad física de los trabajadores. Esto se consigue a través de mecanismos encaminados para proporcionar las condiciones de trabajo adecuadas, así como capacitación y adiestramiento constante sobre la prevención de incidentes y accidentes laborales.

Se puede definir a la seguridad industrial como <<Conjunto de normas y principios encaminados a prevenir la integridad física del trabajo, así como el buen uso y cuidado de las maquinarias, equipos y herramientas de la empresa>> (Anónimo, 2009). Debido a que el ingeniero mecánico se encuentra rodeado de peligros y accidentes en la industria, por esta razón se dedica un capítulo a la seguridad industrial.

**1. Seguridad en el laboratorio** Se define la señalización de seguridad y salud en el trabajo como <<una indicación que, referida a un objeto, actividad o situación determinadas, proporcione una indicación o una obligación relativa a la seguridad o la salud en el trabajo mediante un signo en forma de panel, un color, una alarma luminosa o acústica, una comunicación verbal o un lema gestual, según proceda.>> (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2009)

Debido a que la mayoría de las prácticas del laboratorio de motores de combustión interna serán realizadas en el taller de máquinas y herramientas, dicho taller debe de cumplir con las normas básicas de seguridad e higiene industrial.

Para poder trabajar, se necesita un área de trabajo que es proporcional al elemento donde se vaya a trabajar. Las dimensiones de los locales de trabajo deberán permitir que los trabajadores realicen su trabajo sin riesgos para su seguridad y salud y en condiciones ergonómicas aceptables.

Previo a la realización del análisis del laboratorio, se define lo que son los límites cromáticos y lo que son las señales en forma de panel.

**a. Límites cromáticos.** Línea (recta) que separa la zona de los colores admitidos de la de los colores no admitidos sobre el diagrama de cromaticidad de la Comisión Internacional de Iluminación [CIE] (CIE 45.15.200) (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2009)

**b. Señales en forma de panel.** La señalización en el laboratorio de motores y mecánica es necesaria, ya que se dan situaciones de peligro en las que es indispensable que el personal reciba una determinada información relativa a la seguridad y exponiendo el tipo de peligro del lugar. Su empleo es complementario de las medidas de seguridad adoptadas, tales como el uso de resguardos o dispositivos de seguridad, protecciones personales, salidas de emergencia, etc. (Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo, 2009).

**c. Estado actual del laboratorio.** El laboratorio de motores de combustión interna recientemente sufrió una remodelación, la cual se refleja en los límites cromáticos del área de trabajo. Al mismo tiempo se tienen unas señales de advertencia ubicadas en el lugar. Dichas modificaciones y señales se muestran en las siguientes ilustraciones.

Ilustración 1: Taller de motores



Ilustración 2: Límites de taller



Ilustración 3: Vista general del taller de motores






En dichas ilustraciones se puede observar la falta de límites cromáticos adecuados, ya que no fueron modificados con la realización de la remodelación del taller. Al mismo tiempo, se observa la presencia de algunas señales de advertencia como lo son las de riesgo eléctrico. Se encontró la señal de prohibición de fumar, la cual es necesaria ya que debido a la naturaleza del laboratorio y del uso de químicos inflamables, se es prohibido el fumar. La señal de salvamento de ruta de escape se puede observar, la cual indica que está bien orientada. Con base en estas situaciones detectadas, se concluye que son necesarias otras señales como lo son las señales de obligación, extintores y demás. Dichas señales son detalladas a continuación.

**d. Tipos de señales en un taller.** Existen distintas clasificaciones y formas de señales, de acuerdo a su uso y nivel de peligro que pueda presentarse.

**1) Señales de advertencia.** Forma triangular. Pictograma negro sobre fondo amarillo (El amarillo debe cubrir el 50% de la superficie de la señal), con bordes negros. Las que con mayor frecuencia se utilizan en un taller de mecánica se muestran en la Tabla 1

**Tabla 1: Señales de advertencia de un peligro**

<p><b>Materiales inflamables:</b> En este tipo de laboratorios y locales, se utilizan a menudo disolventes y pinturas que responden a éste tipo de riesgo.</p>	<p><b>Ilustración 4: Señal de peligro</b></p> 
<p><b>Riesgo eléctrico:</b> Esta señal debe situarse en todos los armarios y cuadros eléctricos del lugar.</p>	<p><b>Ilustración 5: Señal de riesgo eléctrico</b></p> 
<p><b>Riesgo de caídas al mismo nivel:</b> Cuando existan obstáculos por el suelo difíciles de evitar, se colocará en un lugar bien visible la señal correspondiente.</p>	<p><b>Ilustración 6: Señal de riesgo de caídas al mismo nivel</b></p> 

**2) Señales de prohibición.** Forma redonda. Pictograma negro sobre fondo blanco, bordes y banda (transversal descendente de izquierda a derecha atravesando el pictograma a 45° respecto a la horizontal) rojos (el rojo deberá cubrir como mínimo el 35% de la superficie de la señal).



Siempre que se utilicen materiales inflamables, la señal de triangular de advertencia de este peligro debe ir acompañada de aquella que indica expresamente la prohibición de fumar y de encender fuego, que se muestra en la Ilustración 4.

**Ilustración 7: Señal de prohibición - Prohibido fumar**




**3) Señales de obligación:** Forma redonda. Pictograma blanco sobre fondo azul (el azul deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal). En la Tabla 2 se muestran algunos ejemplos.

**Tabla 2: Señales de obligación y protección personal**

<p><b>Protección obligatoria de la vista:</b> Se utilizará siempre y cuando exista riesgo de proyección de partículas a los ojos.</p>	<p><b>Ilustración 8: Protección obligatoria de la vista</b></p> 
<p><b>Protección obligatoria de los pies:</b> De uso en aquellos casos en que exista riesgo de caída de objetos pesados, susceptibles de provocar lesiones de mayor o menor consideración en los pies y sea necesaria la utilización de calzado de seguridad.</p>	<p><b>Ilustración 9: Protección obligatoria de los pies</b></p> 

Continuación Tabla 2: Señales de obligación y protección personal

<p><b>Protección obligatoria de las manos:</b> Esta señal debe exhibirse en aquellos lugares de trabajo donde se realicen operaciones que comporten riesgos de lesiones en las manos (cortes, dermatitis de contacto, etc.) y no se requiera una gran sensibilidad táctil para su desarrollo.</p>	<p><b>Ilustración 10: Protección obligatoria de las manos</b></p> 
---	---

**4) Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios:** Forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo rojo (el rojo deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).

Ilustración 11: Señales relativas a los equipos de lucha contra incendios - Extintor



**5) Señales de salvamento o socorro:** Forma rectangular o cuadrada. Pictograma blanco sobre fondo verde (el verde deberá cubrir como mínimo el 50% de la superficie de la señal).

Ilustración 12: Señal de salvamento o socorro - Vía de socorro



**e. Protección en el laboratorio.** Las medidas de protección que deben existir en el laboratorio de mecánica son:

- Fuente lavaojos
- Extintores, adecuados a la sustancia inflamada, los más prácticos son los de CO<sub>2</sub>.

- Mantas contraincendios
- Guantes en función a los productos químicos.
- Anteojos o pantallas para protección de los ojos.
- Protección respiratoria, empleando las máscaras con cartuchos para gases y vapores homologados.
- Ropa adecuada.
- Elementos varios para el control de derrames, cubos con arena para controlar incendios.

**f. Manejo de productos químicos y deshechos.** En el laboratorio se utiliza con frecuencia productos químicos tales como aceites, lubricantes, combustibles, pinturas y disolventes. Algunos de estos productos pueden ser peligrosos, y ser clasificados como nocivos, fácilmente inflamables, irritantes, etc.

Para su correcta manipulación y almacenamiento, es imprescindible que el usuario sepa identificar los distintos productos peligrosos a través de la señalización que establece las distintas categorías de sustancias peligrosas, que se indican a continuación:

- |                              |                                     |
|------------------------------|-------------------------------------|
| • Explosivos                 | • Inflamables                       |
| • Corrosivos                 | • Muy tóxicos                       |
| • Irritantes                 | • Tóxicos                           |
| • Extremadamente inflamables | • Carcinógenos                      |
| • Fácilmente inflamables     | • Peligrosos para el medio ambiente |

La eliminación segura de los residuos no recuperables, se debe llevar a cabo bajo las indicaciones del fabricante del producto. Previo a esto, se debe de clasificar y depositar en contenedores apropiados.

En el reciclado se pretende reutilizar el residuo generado, ya sea en el mismo o en otro proceso, en calidad de materia prima. Esto se puede aplicar en desechos como el aceite ya utilizado. Éste se puede envasar y vender a una recicladora de aceite u otra empresa.

**g. Prevención y extinción de incendios.** Los incendios más frecuentes en ocurrir, son los clasificados como clase B, los cuales son definidos como: fuego de líquidos o de sólidos licuables (ceras, parafinas, grasas, alcohol, gasolina). (Laborda Grima, Recalde Ruiz, Tolsa Martínez, & Marqués Giménez, 2006)

Para la prevención de incendios es necesario tomar en cuenta las siguientes recomendaciones:

- Almacenar los productos inflamables y combustibles aislados y alejados de las zonas de trabajo
- Utilizar recipientes herméticamente cerrados, tanto para almacenamiento, transporte y depósito de residuos.
- Prohibición de fumar y de introducir agentes que puedan generar llamas o chispas.
- Instalaciones eléctricas adecuadas.

En caso de que se produzca un incendio, las acciones iniciales deben orientarse a tratar de controlar y apagar el fuego rápidamente, utilizando los agentes extintores adecuados. Se recomienda para los incendios clase B, un extintor de polvo convencional o un extintor de dióxido de carbono (CO<sub>2</sub>)

## **B. Equipo y herramienta**

Debido a que el curso de motores de combustión interna es una clase que posee una parte práctica, es necesario el equipo siguiente para realizar las prácticas fundamentales de eficiencia y avance tecnológico

### **A. Equipo sugerido**

- 1 Motor con carburador y encendido convencional
- 1 Motor con sistema de inyección de gasolina multipunto y con encendido electrónico integral
- 1 Motor diesel turboalimentado
- 1 Equipo de limpieza de piezas.
- 1 Pistola de vacío
- 1 Aspirador de humos de escape
- 1 Carro de trabajo portaherramientas
- 2 Bancos de trabajo con su respectiva prensa
- 1 Dinamómetro de potencia
- 1 Tacómetro láser
- 1 Analizador de gases gasolina ORSAT
- 1 Analizador de humos y gases para motores Diesel (Opacímetros)

- 1 Equipo de herramientas neumáticas
- Llaves de impacto
- 1 Compresor de aire comprimido
- 1 Lámpara estroboscópica para motores gasolina y diesel
- 1 Probador de inyectores para motores (Gasolina / Diesel)
- 1 Esmeril de banco de dos piedras
- Probador de fuga de cilindros
- Medidor de compresión para motores Diesel y Gasolina
- Mármol de precisión

B. **Herramienta.** Las herramientas son tan fundamentales como el equipo, ya que éstas son con las que se realizan la mayoría de acciones necesarias para el análisis del estado de un motor y la realización de las prácticas. Sin éstas, las inspecciones, el mantenimiento adecuado a las máquinas sería imposible. Tanto el ingeniero encargado de mantenimiento, como los técnicos a cargo, deben de conocer la herramienta a utilizar.

- Llaves mixtas en pulgadas y milímetros (juego de 0-1" y de 8-24mm)
- Juego de copas en milímetros y pulgadas con encastre o raíz de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ", de un rango de 0-1" y de 8-24mm.
- Manerales con raíz de  $\frac{1}{2}$ " y  $\frac{3}{4}$ ".
- Torcómetro de raíz de  $\frac{1}{2}$ " para motores Gasolina y Diesel (50, 100, 200 y 500 N-m)
- Destornilladores planos y en cruz. (0-1")
- 1 Compresor de resortes para válvulas
- 1 Compresor para anillos
- 1 Tijera de desmontar y montar anillos
- Conjunto de sets de galgas de un rango de 0.02-1milímetros y de 0.0015-0.025 pulgadas.
- Martillos de diferentes usos y trabajos (Martillo de bola, golpe seco y mazo)
- 2 Juegos de extractores de pernos
- 1 juego de limas (bastardas, semifinas y finas)
- Reloj comparador con base magnética.
- 1 Regla de planitud de superficies
- Dinamómetro para resortes.

- Manómetros de fluidos de bajo y alto rango
- Soportes
- Conjunto de micrómetros comparadores de exteriores e interiores. Sets de 0 a 4 pulgadas y sets de 0 a 100mm.
- Juego de llaves torx de un rango de T-10 a T-50.
- Juego de llaves Allen de un rango de 0 a 1" y de 0 a 10mm.
- Juego de todo tipo de alicates
- Tijeras y navajas
- Juego de punzones numéricos y convencionales

#### *Material de consumo*

- Lija de agua
- Trapo cosido
- Combustible (regular o kerosén, dependiendo del motor a inspeccionar)
- Juego de brochas
- Aceite de motor
- Plastigage
- Recipientes resistentes a los efectos del combustible
- Tuercas de diversas medidas
- Pernos de diversas medidas y tipo
- Mangueras de presión.
- Thinner
- Esponjas verdes.

Se utilizará lo necesario y en cantidad suficiente para ser ejecutadas las prácticas por los estudiantes.

### III. DISEÑO DE PRUEBAS Y GUÍAS DE LABORATORIO

El curso de Motores de Combustión Interna no ha tenido prácticas de laboratorio estructuradas debido a que no se contaba con el equipo y herramienta para hacerlo. Actualmente la universidad cuenta con equipo básico para realizar prácticas de laboratorio.

Se dispusieron a hacer guías para el laboratorio que fueran básicas y que cubrieran temas importantes. Dichas prácticas se resumen en 6, las cuales son repartidas a lo largo de todo el ciclo. Las guías fueron elaboradas con el fin de que el estudiante pueda realizar el análisis de un motor desde la inspección de su estado actual, hasta repararlo y afinarlo para su correcto funcionamiento para prolongarle la vida útil.

Las guías abarcan cuatro temas centrales: seguridad en el lugar de trabajo, desmontaje e inspección del motor, puesta en marcha y afinación, y la elaboración de un plan de mantenimiento. Las guías se pueden catalogar en la clasificación previa, teniendo así la práctica 1 en la seguridad del lugar de trabajo; las prácticas 2-3 como la realización del análisis del estado del motor; las prácticas 3-5, clasificada como armado, puesta en marcha y afinación; y finalmente la práctica 6 como la rutina de mantenimiento a seguir.

La Práctica No. 1: Seguridad en equipo y limpieza, se elaboró con el objetivo que el estudiante sepa los peligros que existen en el laboratorio y como protegerse para evitar que éste cause algún daño hacia su persona. Para poder evitar algún accidente, se tuvo como objetivo el explicar el uso correcto de las herramientas.

El objetivo de la Práctica No. 2: Motor de ciclo Otto, ciclo Diesel y componentes, es que el estudiante conozca las diferencias entre un motor de ciclo Diesel y uno de ciclo Otto. Para esto se tiene como objetivo la verificación del estado actual del motor, seguido del desmontaje e inspección. Esto con el fin que el lector conozca los componentes básicos para el funcionamiento del motor y pueda realizar un análisis preliminar del estado en que se encuentra la maquinaria.

Para darle seguimiento a la práctica No. 2, se decidió hacer la Práctica No. 3: Verificación de condición, desgaste y fallas. Esto con el objetivo de poder analizar más detalladamente el estado actual del motor y poder determinar las posibles fallas que tenga el motor. Dentro de los procedimientos a realizar, se tiene la medición de holguras y comparaciones con las especificaciones que dice el manual del fabricante

Habiendo analizado el estado del motor, se procede a armar y a ponerlo en marcha. El estudiante debe de armarlo según los ajustes establecidos en el manual del fabricante. Asegurando así que el estudiante conozca dichos procedimientos y pueda determinar si se están llevando a cabo de la manera correcta o no. Con este objetivo se hizo la Práctica No. 4: Armado de motor y puesta en marcha.

Uno de los aspectos necesarios cuando reconstruye un motor es la afinación. La afinación tiene como fin el eliminar aquellas imperfecciones en los ajustes obtenidos del armado del motor. La Práctica No. 5: Afinación del motor, tiene como objetivo que el estudiante pueda realizar la afinación según lo establecido por el manual del fabricante.

Para finalizar, es importante darle seguimiento al estado de cualquier maquinaria. El darle su servicio y mantenimiento es muy importante para poder prolongar su tiempo entre fallos. Muchas veces esto no es tomado en cuenta y se utiliza el mantenimiento correctivo en lugar del mantenimiento preventivo. La Práctica No. 6: Elaboración de plan de mantenimiento tiene como objetivo que el estudiante aplique los conocimientos del mantenimiento y pueda aplicarlos en una maquinaria de uso diario.

Las prácticas elaboradas, se pueden ver detalladas en el Apéndice A: Guías de laboratorio.

## IV. ESTADO DEL MOTOR

El tener un motor a utilizar es necesario en la elaboración del banco de pruebas y las prácticas. Para esto se utilizó el motor 3L de un Pickup Diesel Toyota Hilux modelo '97. Dicho automóvil fue adquirido por la universidad, y fue permitido el uso para esta tesis. El motor fue desmontado y desarmado para establecer las causas de fallo. Utilizando el manual de servicio del motor, se inspeccionaron las piezas del motor. Basado en el análisis de las piezas, se determinó el alcance necesario del servicio mayor, y piezas a reemplazar. Esto para poder poner el motor en marcha y utilizarlo para futuras pruebas. Cuando se desarmó el motor, se observó que el motor ya había sido trabajado con anterioridad.

### A. Aceite

Debido a su falta de uso y de servicio, el aceite depositado en el cárter, se encontraba en un estado fangoso. El aceite se encontraba con propiedades de un aceite altamente viscoso, lo cual impedía la lubricación adecuada. Esto implica la falta de cambio y la falta de servicio realizado al motor.

Ilustración 13: Estado del aceite



## B. Bielas Centrales

Las bielas centrales se encontraban en buen estado físico, aunque comparando las mediciones obtenidas por medio de un micrómetro con los valores dados por el manual de servicio del fabricante como se mira en la Tabla 3 se observó desgaste. Las medidas se realizaron en el cigüeñal. Para esto se obtuvieron 2 medidas ortogonales entre sí, en las posiciones de los muñones de las bielas, como lo indica la Ilustración 14. Se determinó que a pesar que las bielas poseían medidas similares, se encontraban ligeramente bajo el límite del intervalo designado por el fabricante, por lo que se decidió a reemplazar las tejas como medida preventiva. Esto implica que hubo un desgaste en las tejas de bielas por parte de la falta de lubricación adecuada. Haciéndole una inspección de las bielas, se puede notar que las tejas usadas fueron de otra forma a la de las bielas, por lo que fueron ajustadas a éstas. Debido a que la Universidad no posee actualmente la herramienta necesaria, se mandó a una reconstructora de motores a que realizarán las medidas de rectitud de las bielas.

Ilustración 14: Medición para biela

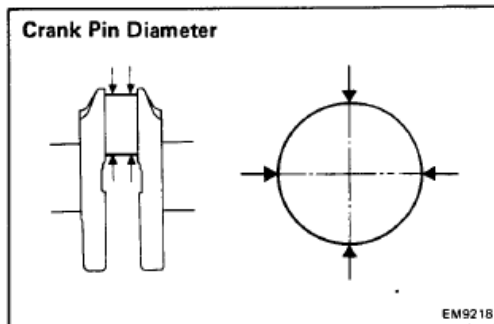


Ilustración 15: Biela central



Tabla 3: Mediciones de biela

Biela	Medición (in)				Fabricante (in)	Aceptar o reemplazar
1	2.1549	2.1549	2.1545	2.1550	2.1553-2.1557	Reemplazar
2	2.1550	2.1550	2.1550	2.1555		Reemplazar
3	2.1550	2.1548	2.1550	2.1550		Reemplazar
4	2.1544	2.1544	2.1550	2.1540		Reemplazar

### C. Cigüeñal

Por simple inspección el cigüeñal no presentaba daños significativos, por lo que se procedió a obtener las mediciones de los muñones de éste, con la ayuda de un micrómetro y compararlos así con los datos del fabricante. Se midió de acuerdo al manual de servicio del fabricante, el cual indicaba que se debían realizar 2 medidas ortogonales en las posiciones indicadas la Ilustración 17, asegurando así la correcta medición del diámetro de los muñones del cigüeñal y evitar mediciones erróneas. Con los datos obtenidos en la Tabla 4, se puede concluir que el cigüeñal no posee mayor desgaste en las tejas centrales del cigüeñal, pero debido a que el manual indica que la deformación gradual es mayor a la permitida de 0.0008 pulgadas, hay que rectificar o reemplazar el cigüeñal.

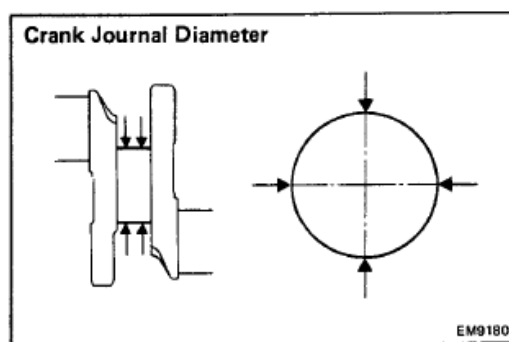
Tabla 4: Mediciones de muñones cigüeñal

Muñón	Medición (in)				Fabricante (in)	Aceptar o rectificar
1	2.4310	2.4310	2.4320	2.4310	2.4309-2.4313	Rectificar
2	2.4310	2.4310	2.4305	2.4310		Rectificar
3	2.4310	2.4310	2.4305	2.4310		Rectificar
4	2.4320	2.4310	2.4310	2.4310		Rectificar
5	2.4310	2.4310	2.4310	2.4310		Rectificar

Ilustración 16: Cigüeñal



Ilustración 17: Cigüeñal



### D. Cilindros

Los cilindros presentaban rastros de óxido y de haber estado en la intemperie, ya que se encontró pino en estos. Poseían señales de falla del sistema de lubricación, debido a que se miraban indicadores de desgaste ocasionado por la fricción. Para obtener las mediciones, se realizaron las medidas según la Ilustración 19 con telescopios y se usó un micrómetro para comparar el resultado. Las mediciones se realizaron en la parte superior de los cilindros y a 90° de la primera medida, como lo indica el manual del fabricante. Éste también indica que la medida máxima es de los cilindros debe ser 3.7886 pulgadas. Debido a que las mediciones se encuentran cerca del límite máximo especificado por el manual, se debe mandar a rectificar.

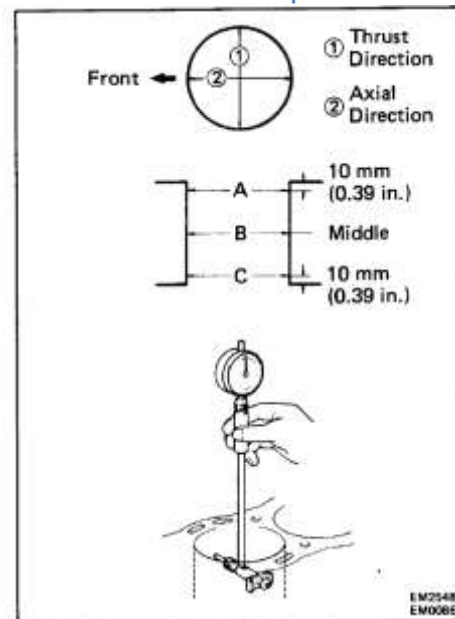
Tabla 5: Mediciones cilindros

Cilindro	Medidas (in)						Fabricante, (in)	Aceptable-Rectificar
	Superior		Medio		Inferior			
1	3.7812	3.7812	3.7814	3.7800	3.7808	3.7804	Rectificar	
2	3.7815	3.7807	3.7820	3.7818	3.7800	3.7810	Rectificar	
3	3.7810	3.7808	3.7810	3.7817	3.7810	3.7810	Rectificar	
4	3.7813	3.7803	3.7812	3.7810	3.7807	3.7814	Rectificar	

Ilustración 18: Cilindros



Ilustración 19: Medición para cilindros



## E. Culata

Debido a que la universidad no posee instrumentos para realizar las mediciones de planitud y poder compararlas con los datos del fabricante, se investigó la razón por la cual se tenía realizar el servicio. Al inspeccionarla, se determinó que la razón de falla fue que sufrió una entrada de agua, la cual es evidente en los cilindros 2 y 4. Se procedió a mandar a rectificar con todos sus componentes internos.

Ilustración 20: Culata



## F. Eje de levas

El eje de levas se analizó preliminarmente con un vernier como lo indica la Ilustración 22, y poseía una ligera desalineación de 0.0003 pulgadas lo cual está dentro del intervalo establecido por el fabricante. Para tener una mayor certeza en la medición de desalineación, se procedió a medirlo en una reestructora de motores. Los resultados se muestran a continuación en la Tabla 6.

Ilustración 21: Eje de levas



Ilustración 22: Medición para eje de levas

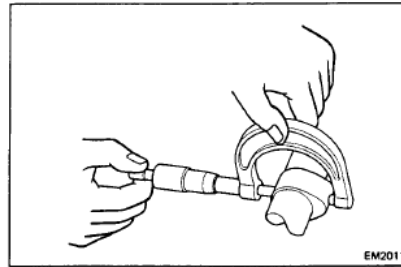


Tabla 6: Mediciones eje de levas

Lóbulo		Medida (in)	Fabricante (in)	Fabricante mínimo (in)	Aceptar o Reemplazar
<b>Admisión</b>	1	2.1380	2.1374-2.1382	2.1177	Aceptar
	2	2.1380			Aceptar
	3	2.1375			Aceptar
	4	2.1276			Aceptar
<b>Escape</b>	1	2.1656	2.1650-2.1657	2.1453	Aceptar
	2	2.1656			Aceptar
	3	2.1657			Aceptar
	4	2.1650			Aceptar

## G. Pistones

Los pistones presentaban diversos indicadores de desgaste no uniforme. Indicando la falla del sistema de lubricación y de sellos de anillos, ya que presentaban inicios de desgaste. De los 4 pistones del motor, se observó que 2 de ellos, poseían daños serios en la cara del pistón. La guía del fabricante establece que los pistones se deben de medir entre 2.2153-2.2177 pulgadas desde la parte superior de la corona. La Ilustración 24 muestra la manera correcta para medir los pistones.

Ilustración 23: Estado actual de pistones



Ilustración 24: Medición de pistones

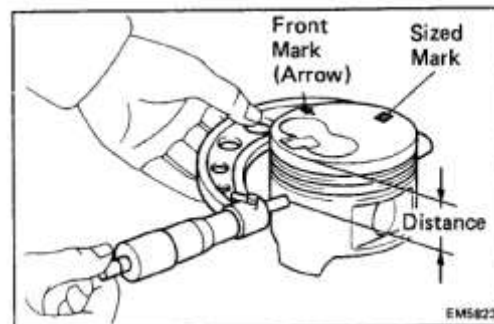


Tabla 7: Mediciones de los pistones

Pistón	Medida (in)	Fabricante (in)	Aceptar o Reemplazar
1	3.7766	3.7776-3.7779	Reemplazar
2	3.7707		Reemplazar
3	3.7758		Reemplazar
4	3.7754		Reemplazar

Para poder comprobar la holgura del aceite entre los pistones y los cilindros se restaron las mediciones de los cilindros con las obtenidas de los pistones. En el manual de reparación se especifica la rectificación de los cilindros si alguna medida de estos fuera superior a 0.0055 pulgadas.

Tabla 8: Holgura de aceite

Cilindro	Medidas (in)						Holgura máxima (in)	Aceptable-Rectificar
	Superior		Medio		Inferior			
1	0.0046	0.0046	0.0048	0.0034	0.0042	0.0038	0.0055	Aceptable
2	0.0108	0.0100	0.0113	0.0111	0.0093	0.0103		Rectificar
3	0.0052	0.0050	0.0052	0.0059	0.0052	0.0052		Rectificar
4	0.0059	0.0049	0.0058	0.0056	0.0053	0.006		Rectificar

Debido a que se van a reemplazar los pistones, se obviaron las mediciones de anillos y bulón del pistón ya que se reemplazarán.



## V. DISEÑO DEL BANCO DE TRABAJO

Para poder realizar el banco de pruebas, se usó el motor de un pickup Hilux 4x4 modelo 97. El pickup fue adquirido por la universidad y se dispuso a usar el motor con fines didácticos ya que actualmente el laboratorio sólo cuenta con motores de ciclo Otto. El motor fue limpiado como se describió en el capítulo anterior. Tomando en cuenta la configuración física de éste y los posibles requerimientos que pudiera tener, se analizaron diversos casos para obtener un mejor análisis en el diseño del banco.

Para poder trabajar con mayor facilidad un motor, es necesaria la utilización de una estructura donde asentar el motor y que el motor pueda ser desmontado y operado. La estructura debe de soportar tanto el motor, como los componentes necesarios para la operación correcta de éste. Al mismo tiempo, debe de poder ser movida para el fácil manejo y ser práctica para futuras modificaciones. Sobre todo, el banco de prueba debe de ser económico y viable. La complejidad de la estructura dependerá de los parámetros a medir. El diseño debe ser económico, funcional, viable, y sobretodo práctico. Un factor determinante para el diseño fue que el banco de pruebas debe de ser movable, ya que el motor será funcional.

Debido al vehículo de donde se obtuvo el motor, se decidió hacer un banco de pruebas de manera que se asemejara al chasis del vehículo. Se tomaron en cuenta las siguientes ventajas y desventajas del diseño del chasis del carro.

- Posee mejor tracción en las superficies en todas las condiciones del camino, especialmente en climas mojados e invernales.
- Mejor adaptado para remolcar.
- Distribución balanceada en cargas axiales.
- Reducción del efecto en el tironeo en la dirección.
- Emparejo del desgaste de llantas.

Desventajas:

- Costos de adquisición.
- Disminución de velocidad máxima.
- Incremento de 5 a 10 % en consumo de combustible
- Control de viraje no claro.

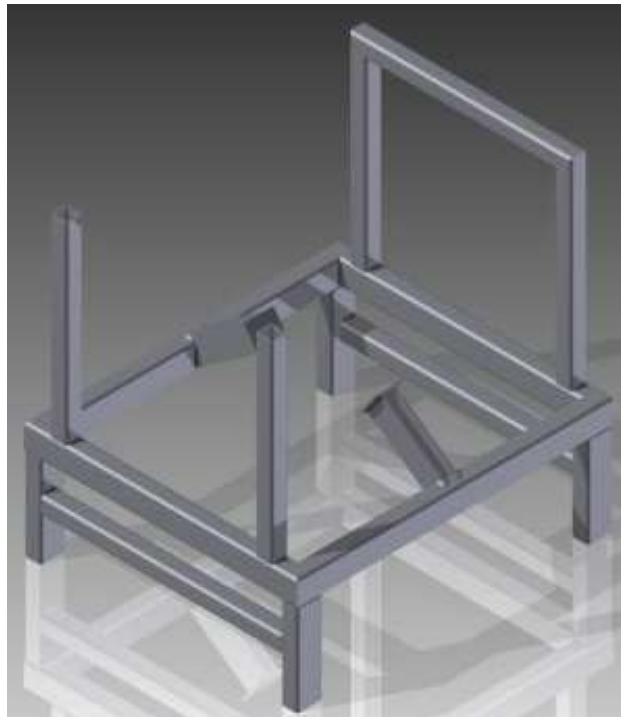
- Menor velocidad en arranque comparado con vehículos de transmisión delantera. (Reimpell, Stoll, & Betzler, 2001)

### **A. Diseño del banco de pruebas.**

Habiendo medido las dimensiones entre cargadores del motor, se procedió a determinar la distancia total del radiador. Se escogió tubería rectangular de acero de dimensiones de 3x2x3/16". Al mismo tiempo, se le incluyeron rodos de 6" hechas de material capaz de amortiguar las vibraciones producidas por el motor. El banco de pruebas va a tener 2 rodos giratorios y 2 rodos fijos.

Debido a que el motor era de ciclo diesel, una de las consideraciones tomadas fue el peso estimado de 440 lbs del motor. Para poder realizar el diseño, se utilizó el programa Autodesk Inventor® 2011. El diseño se dejó hecho para futuras mejoras y adaptaciones. Adjunto en el Apéndice C: Planos del banco de pruebas, están los planos de fabricación del diseño final.

**Ilustración 25: Diseño final de banco de pruebas**



## VI. CONCLUSIONES

- Los componentes críticos para el diseño del banco de pruebas poseen un factor de seguridad mínimo de 7.98 en las soldadura y un desplazamiento máximo de  $1.41 \times 10^{-3}$  pulgadas, lo que demuestra que el diseño del banco cumple con todos los requisitos mecánicos.
- Basándose en las cifras y criterios establecidos por el fabricante, se descarta la reparación del motor analizado, ya que el alcance del desgaste y los altos costos hacen que no sea factible su reparación.
- Las prácticas de laboratorio están hechas para que el estudiante realice los procedimientos básicos en el análisis de un motor y pueda determinar las razones de falla y evitarlas para mejorar el desempeño del motor. No están hechas con el objetivo que el estudiante pueda realizar el trabajo de un mecánico automotriz.
- La realización del diseño de un banco de prueba, dependerá del motor y uso que se le vaya a dar. El banco de pruebas elaborado es uno básico, el cual se puede mejorar dependiendo de las necesidades del laboratorio. El diseño realizado en este trabajo no estará completo hasta realizarle pruebas necesarias del comportamiento físico, aunque los resultados teóricos sean satisfactorios.



## VII. RECOMENDACIONES

- El laboratorio debe tener la herramienta adecuada para el análisis de estado del motor. Al mismo tiempo debe de tener maquinaria capaz de extracción y manejo de gases de escape para poder realizar pruebas de motor.
- Las prácticas de laboratorio de un motor implican un alto riesgo, por lo que se recomienda la realización de pruebas con el motor encendido en un cuarto separado o en su defecto, a una distancia segura.
- Para mejorar el orden y realización del laboratorio, se recomiendan grupos de 3 a 4 integrantes por motor.
- Debido a que hay prácticas de laboratorio que son extensas, se debe tomar en cuenta el tiempo a realizar. Dichas prácticas deberán ser tres períodos repartidos por semana.
- Para poder llevar a cabo pruebas con el motor encendido, es necesario tener un dinamómetro de eje y una lámpara estroboscópica. El diseño elaborado puede complementarse con un banco de soporte para una caja de velocidades y ser acoplado a la salida del motor. De esta manera expande la capacidad del diseño de pruebas.
- La realización de una estructura para la caja de velocidades del carro, brindaría una expansión para la realización de guías de laboratorio, abarcando distintas disciplinas de estudio.



## VIII. BIBLIOGRAFÍA

- 160SX. (26 de Enero de 2007). *Cylinder block for V6 Diesel*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2011, de Wikipedia, the free encyclopedia: [http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cylinder\\_block\\_for\\_V6\\_Diesel.jpg](http://en.wikipedia.org/wiki/File:Cylinder_block_for_V6_Diesel.jpg)
- American Industrial Hygiene Association. (28 de Agosto de 2011). *What is a Industrial Hygienist?* Recuperado el 28 de Agosto de 2011, de AIHA - American Industrial Hygiene Association: <http://www.aiha.org/aboutaiha/Pages/WhatIsanIH.aspx>
- American Institute of Steel Construction. (22 de Junio de 2010). *Specification for Structural Steel Buildings*. Chicago, Illinois, Estados Unidos.
- Anónimo. (13 de Enero de 2009). *¿Qué es la seguridad industrial? - Definición de seguridad industrial (Segunda parte)*. Recuperado el 8 de Agosto de 2011, de Seguridad Industrial - Apuntes de seguridad industrial, higiene industrial, seguridad ocupacional: [http://seguridadindustrialapuntes.blogspot.com/2009/01/qu-es-la-seguridad-industrial-definicion\\_13.html](http://seguridadindustrialapuntes.blogspot.com/2009/01/qu-es-la-seguridad-industrial-definicion_13.html)
- Arturo. (31 de Marzo de 2004). *Pasos básicos para la afinación de un auto*. Recuperado el 29 de Septiembre de 2011, de <http://www.purotuning.com/foros/showthread.php/346-Pasos-b%C3%A1sicos-para-la-afinaci%C3%B3n-de-un-auto>
- Auto Part Distributors Ltd. (13 de Septiembre de 2011). *2LT/3L Cylinder Head for Toyota Diesel Engine*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2011, de Auto Part Distributors Ltd. : [http://apdnz.en.ec21.com/2LT\\_3L\\_Cylinder\\_Head\\_for--1446570\\_1446571.html](http://apdnz.en.ec21.com/2LT_3L_Cylinder_Head_for--1446570_1446571.html)
- Avallone, E. A., Baumeister III, T., & Ali M., S. (2007). *Marks' Standard Handbook for Mechanical Engineers*. New York: McGraw-Hill Companies, Inc.
- Beer, F. P. (2010). *Mecánica vectorial para ingenieros : estática*. México: McGraw-Hill.
- bhrescobar. (31 de Enero de 2007). *How to build an Engine test bed?* Recuperado el 9 de Julio de 2011, de <http://cr4.globalspec.com/thread/5087/How-to-Build-an-Engine-Test-Bed>

Brockhoff, I. (31 de Diciembre de 2006). *Head D15A3*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2011, de Wikipedia, the free encyclopedia: [http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Head\\_D15A3.JPG](http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Head_D15A3.JPG)

Budynas, R. G., & Keith, N. J. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de Shigley*. México D.F.: McGraw-Hill Interamericana.

Celis, E. (Agosto de 2007). *Funcionamiento de un motor de 4 tiempos*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2011, de [automecanico.com](http://automecanico.com): <http://automecanico.com/auto2002/motor4.html>

dr.croxwell. (29 de Agosto de 2011). *Apriete de culata, torque pernos de motor*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2011, de [http://www.todomotores.cl/mecanica/apriete\\_culata.htm](http://www.todomotores.cl/mecanica/apriete_culata.htm)

El moto taller. (28 de Septiembre de 2011). *El moto taller mecánico*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2011, de <http://elmototaller.webs.com/empleodeplastigage.htm>

El moto taller. (28 de Septiembre de 2011). *Medición de tolerancias de aceite*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2011, de El moto taller mecánico: <http://elmototaller.webs.com/empleodeplastigage.htm>

ElectriAuto. (5 de Julio de 2009). *Sistemas de ayuda de arranque para motores Diesel*. Recuperado el 21 de Septiembre de 2011, de | ElectriAuto | Electricidad Básica, Electrónica y Mecánica aplicada a tu Automóvil: <http://www.electriauto.com/electronica/diesel/sistemas-de-ayuda-de-arranque-para-motores-diesel/>

electromanuals.org. (27 de Julio de 2003). *Desmontaje Culata (I)*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2011, de <http://www.electromanuals.org/manuales/coches/Mazda3ManualdeTaller/esicont/es/engine/A02/html/B3E011010100E01.html>

Gere, J. M. (2006). *Mecánica de Materiales*. México D.F.: International Thomson Editores S.A. de C.V.

- Gerencie.com. (12 de Junio de 2010). *Que es un accidente de trabajo*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2011, de <http://www.gerencie.com/que-es-un-accidente-de-trabajo.html>
- González Tahuite, L. (Agosto de 2005). *Guía del laboratorio de motores de combustión interna para la escuela de Ingeniería Mecánica*. Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- González, J. G. (11 de Octubre de 2004). *Mantenimiento preventivo*. San Luis Potosí, San Luis Potosí, México.
- Hernández, J. (6 de Septiembre de 2007). *Guía N° 4 Encendido convencional*. Copiapó, Copiapó, Chile.
- Hernández, J. (6 de Septiembre de 2007). *Guía N° 3 de Mecánica Automotriz*. Copiapó, Copiapó, Chile. Recuperado el 18 de Septiembre de 2011, de <http://www.etp.uda.cl/areas/electromecanica/MODULOS%20CUARTO/SISTEMAS%20AUXILIARES%20DEL%20MOTOR/Gu%C3%ADa%20N%C2%BA%202.0%20Alimentaci%C3%B3n%20Inyecci%C3%B3n.pdf>
- ifranzani. (30 de Julio de 2008). *Medir compresión del motor*. Recuperado el 27 de Septiembre de 2011, de psicofxp.com: <http://www.psicofxp.com/forums/en-dos-ruedas.529/799597-medir-compresion-del-motor.html>
- Instituto Nacional de Seguridad e Higiene en el Trabajo. (30 de Noviembre de 2009). *Guía Técnica sobre señalización de seguridad y salud en el trabajo*. Recuperado el 28 de Agosto de 2011, de <http://www.insht.es/InshtWeb/Contenidos/Normativa/GuiasTecnicas/Ficheros/senal.pdf>
- Integrated Publishing, Inc. (28 de Septiembre de 2011). *Fig. 5-38 Piston Ring Installation*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2011, de [http://www.tpub.com/content/waterpumps/TM-10-4320-309-14/css/TM-10-4320-309-14\\_176.htm](http://www.tpub.com/content/waterpumps/TM-10-4320-309-14/css/TM-10-4320-309-14_176.htm)

Ivan. (9 de Marzo de 2009). *MECÁNICA DEL AUTOMÓVIL: Sistema de distribución*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2011, de <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/03/sistema-de-distribucion.html>

Kreith, F. (1999). *Mechanical Engineering Handbook*. Boca Ratón: CRC Press LLC.

Laborda Grima, R., Recalde Ruiz, D. L., Tolsa Martínez, R., & Marqués Giménez, N. (15 de Abril de 2006). *Manual de seguridad para operaciones en talleres mecánicos y de motores térmicos*. Recuperado el 29 de Agosto de 2011, de <http://www.sprl.upv.es/pdf/manualmecanica.pdf>

Loarca, R. (26 de Octubre de 2010). *Seguridad en el taller de máquinas y herramientas*. Guatemala, Guatemala, Guatemala.

LordClio. (25 de Marzo de 2011). *Common*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de <http://www.clubclio.com/mecanica/common.htm>

Massachusetts Institute of Technology. (23 de Septiembre de 2011). *Sloan Automotive Laboratory*. Recuperado el 23 de Septiembre de 2011, de <http://web.mit.edu/sloan-auto-lab/>

MECANICOWEB. (2011). *Los Inyectores Diesel*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de Mecanicoweb La Página de Mecánica: <http://www.oocities.org/mecanicoweb/26a.htm>

Ministerio de Trabajo y asuntos sociales. (14 de Abril de 1997). *Disposiciones mínimas de seguridad y salud en los lugares de trabajo*. Recuperado el 29 de Agosto de 2011, de Prevención Autónomos: [http://www.prevencion-autonomos.com/datos/archivos/doc\\_205ca72481daa8fa8c8243fd3a96caba.pdf](http://www.prevencion-autonomos.com/datos/archivos/doc_205ca72481daa8fa8c8243fd3a96caba.pdf)

Mohr, C., Delgado, R., Asenjo, C., & Almendras, R. (3 de Noviembre de 2008). *Sistema de Inyección Monopunto*. Recuperado el 17 de Septiembre de 2011, de <http://www.scribd.com/doc/19022854/Inyeccion-monopunto>

Mortys. (3 de Noviembre de 2010). *Diagnosís y averías más frecuentes en el sistema de frenos*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2011, de <http://www.bmwfaq.com/f31/todo-sobre-las-averias-en-los-frenos-mucha-informacion-559179/>

- MS Motor Service International GmbH. (2011 de Septiembre de 28). *Pistones, Productos*. Recuperado el 28 de Septiembre de 2011, de <http://www.ms-motor-service.es/content2.asp?area=hauptmenue&site=mssprodukte&cls=05&pcat=4&pID=63&upID=4>
- paritarios.cl. (27 de Julio de 2011). *ACCIDENTES DEL TRABAJO: Causa, Clasificación y Control*. Recuperado el 26 de Septiembre de 2011, de Paritarios.cl \ El Portal de la Seguridad, la Prevención y la Salud Ocupacional de Chile: [http://www.paritarios.cl/especial\\_accidentes.htm](http://www.paritarios.cl/especial_accidentes.htm)
- Pulkrabek, W. W. (1997). *Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine*. New Jersey: Prentice Hall.
- Recinos, J. J. (12 de Mayo de 2011). *Lubricating Oil Analyzing and Quality Follow-up*. Guatemala, Guatemala, Guatemala.
- Reglamento Técnico Centroamericano. (Noviembre de 2006). *Productos de petróleo. Aceite combustible diesel. Especificaciones*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2011, de [http://servicios.minec.gob.sv/REGLAMENTOS\\_HIDRO/PRODUCTOS%20DE%20PETROLEO/ESPECIFICACIONES%20PRODUCTOS/RTCA\\_75\\_02\\_17\\_06.pdf](http://servicios.minec.gob.sv/REGLAMENTOS_HIDRO/PRODUCTOS%20DE%20PETROLEO/ESPECIFICACIONES%20PRODUCTOS/RTCA_75_02_17_06.pdf)
- Reimpell, J., Stoll, H., & Betzler, J. W. (2001). *The Automotive Chassis: Engineering Principles*. Gran Bretaña: Reed Elsevier and Professional Publishing Ltd.
- Robert, S. (Octubre de 2008). *Mecanismos Básicos de Desgaste en Sistemas Lubricados*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2011, de Revista Machinery Lubrication en Español - ¡La Edición en Español de la Revista de Lubricación Líder en el Mundo!: [http://www.machinerylubrication.com/sp/mecanismos-basicos\\_de\\_desgaste.asp](http://www.machinerylubrication.com/sp/mecanismos-basicos_de_desgaste.asp)
- Siero's Valley. (2007). *Sistema de inyección en motores diesel*. Recuperado el 16 de Septiembre de 2011, de Sistema: <http://members.fortunecity.es/100pies/mecanica/inyeccion1.htm>
- Spray. (26 de Febrero de 2009). *MECÁNICA DEL AUTOMÓVIL: Sistema de Lubricación*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2011, de <http://mecanicayautomocion.blogspot.com/2009/02/engrase-indice-introduccion-aceites.html#Elementos>

Toyota Motor Corporation. (Enero de 1999). 2L-T, 3L Engine Repair Manual Supplement.

Universidad de Salamanca. (25 de Abril de 2005). Sistema de Encendido. Salamanca, Salamanca, España. Recuperado el 20 de Septiembre de 2011, de <http://dim.usal.es/eps/mmt/docencia/alumnos/trabajosdemotores/SISTEMADEENCENDIDO.ppt>

Vauxhaull Club Mexico. (20 de Septiembre de 2010). *Sistema de Enfriamiento*. Recuperado el 15 de Septiembre de 2011, de [http://www.vauxhallclub.com.mx/taller/sistema\\_enfriamiento.htm](http://www.vauxhallclub.com.mx/taller/sistema_enfriamiento.htm)

Yamaha-Motors. (2009). *Yamaha Technology 2009: Crossplane crankshaft*. Recuperado el 13 de Septiembre de 2011, de Technology | Yamaha Technology 2009: Crossplane crankshaft: [http://www.yamaha-motor.ch/german/designcafe/en/about\\_design/Technology/?Component=tcm:71-308391&PageTitle=Yamaha%20Technology%202009:%20Crossplane%20crankshaft](http://www.yamaha-motor.ch/german/designcafe/en/about_design/Technology/?Component=tcm:71-308391&PageTitle=Yamaha%20Technology%202009:%20Crossplane%20crankshaft)

## IX. APÉNDICE

### Apéndice A: Guías de laboratorio

#### Práctica No. 1: Seguridad en equipo y limpieza

Duración: 1 semana

#### Objetivos

- Determinar el nivel de riesgo en el laboratorio.
- Conocer el procedimiento correcto para la utilización del equipo a utilizar.
- Establecer los procedimientos a seguir durante un accidente.

Se puede definir **accidente de trabajo** como: aquel accidente que tiene relación con el desarrollo de las actividades laborales del empleado. Es aquel accidente que ha sucedido mientras el trabajador desarrollaba una actividad laboral. (Gerencie.com, 2010)

Los accidentes ocurren porque la gente comete actos incorrectos o porque los equipos, herramientas, maquinarias o lugares de trabajo no se encuentran en condiciones adecuadas. El principio de la prevención de los accidentes señala que todos los accidentes tienen causas que los originan y que se pueden evitar al identificar y controlar las causas que los producen. (paritarios.cl, 2011)

Los accidentes de trabajo son indicadores inmediatos y más evidentes de una mala condición de trabajo y, dada su frecuencia y gravedad, la lucha contra los accidentes es siempre el primer paso de toda actividad preventiva.

#### Causas directas

- **Origen humano (acción insegura):** cualquier acción o falta de acción de la persona que trabaja, lo que puede llevar a la ocurrencia de un accidente.
- **Origen ambiental (condición insegura):** cualquier condición del ambiente laboral que puede contribuir a la ocurrencia de un accidente.

No todas las acciones inseguras producen accidentes, pero la repetición de un acto incorrecto puede producir un accidente.

No todas las condiciones inseguras producen accidentes, pero la permanencia de una condición insegura en un lugar de trabajo puede producir un accidente. (paritarios.cl, 2011)

### **Causas básicas**

Origen humano: explican por qué la gente no actúa como debiera.

*No saber:*

- Desconocimiento de la tarea (por imitación, por inexperiencia, por improvisación y/o falta de destreza).

*No poder:*

- Permanente: Incapacidad física (incapacidad visual, incapacidad auditiva), incapacidad mental o reacciones psicomotoras inadecuadas. Temporal: adicción al alcohol y fatiga física.

*No querer:*

- **Motivación:** apreciación errónea del riesgo, experiencias y hábitos anteriores.
- **Frustración:** estado de mayor tensión o mayor agresividad del trabajador.
- **Regresión:** irresponsabilidad y conducta infantil del trabajador.
- **Fijación:** resistencia a cambios de hábitos laborales.

**Origen ambiental:** Explican por qué existen las condiciones inseguras.

- Normas inexistentes.
- Normas inadecuadas.
- Desgaste normal de maquinarias e instalaciones causados por el uso.
- Diseño, fabricación e instalación defectuosa de maquinaria.
- Uso anormal de maquinarias e instalaciones.
- Acción de terceros.

### **Seguridad en equipo y herramienta**

El lugar de trabajo es una fuente de accidentes de trabajo, si la seguridad no es tomada en cuenta. Esto se debe a la mala utilización de herramientas, ya sean manuales o accionadas por motor. Las herramientas más utilizadas en el laboratorio son: martillos, destornilladores,

llaves, pinzas y alicates. Para evitar accidentes en el uso de éstas herramientas, se tienen las siguientes medidas preventivas:

**Se usarán solo para el trabajo que han sido diseñadas.**

- Cada herramienta se utilizará de la manera en que debe utilizarse.
- Utilización de gafas protectoras cuando haya peligro de proyección de partículas.
- Utilización de guantes al manipular herramientas cortantes y productos calientes.
- Mantenimiento periódico (reparación, afilado, etc.)
- Revisión periódica del estado de mangos, recubrimientos aislantes, etc.
- Almacenamiento en cajas o paneles adecuados, donde cada herramienta tenga su lugar.

**Ilustración 26: Ejemplo herramienta ordenada y limpia**



(Imagen obtenida de (Loarca, 2010))

- Retirar de la zona de trabajo la herramienta y material que no esté en uso y no se necesite.
- Usar solamente el equipo y la herramienta necesaria para la jornada.
- Evitar el apoyo de materiales en el piso utilizando bastidores con diferentes niveles, tarimas de madera, barras de apoyo y/o contenedores.
- Colocar cada cosa en su lugar después de haber sido utilizada.

**Higiene y seguridad personal**

- Prohibido el fumar, beber y comer en el área de trabajo.
- No guardar comida o bebidas en el laboratorio.
- Utilizar la ropa adecuada. En caso de usar bata, mantenerla todo el tiempo cerrada.
- No llevar pulseras, cadenas o demás objetos colgantes que puedan mancharse o quedar enganchados.

- Llevar zapatos adecuados.
- Mantener el pelo recogido si se tiene el pelo largo.
- Levantar correctamente los objetos pesados

Para el correcto levantamiento de piezas pesadas, se debe de posicionar de frente a la pieza y colocar los pies de manera que estos rodeen a la pieza. Enseguida, agarrarla firmemente y levantar la pieza con las rodillas. Esto evitará lesiones en la columna y ayudará a la disminución de accidentes. (Loarca, 2010)

**Ilustración 27: Levantamiento correcto de piezas pesadas**



(Imagen obtenida de (Loarca, 2010))

#### **Precauciones de seguridad:**

En todo momento hay que seguir estas reglas debido a que estos peligros se encuentran cuando se trabaja en el laboratorio.

- El monóxido de carbono (CO) es un gas incoloro, inodoro, pero letal; procurar tener buena ventilación cuando se encienda algún motor de combustión interna.
- Verificar el nivel de aceite del motor antes de la prueba
- Verificar el nivel de refrigerante del radiador.
- NO usar la lámpara de tiempo muy cerca del ventilador, su luz produce la ilusión óptica de estar quierro y causar un accidente.
- Nunca mirar directamente al carburador.
- NO tocar las superficies calientes como múltiple de salida, radiador, mangueras, conversor catalítico, etc.

- NO colocar herramienta sobre la batería. Puede causar cortos o dañarla internamente.
- El ácido de la batería produce quemaduras. Si se tiene contacto, neutralizarlo con soda o bicarbonato de calcio y abundante agua.
- Altos voltajes existen en el sistema secundario, usar pinzas aisladas para cualquier desconexión que se requiera.
- El hidrógeno producido por la batería es explosivo

### *Materiales a usar*

Materiales	Maquinaria y equipo	Herramientas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wipe</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Equipos</li> <li>• Manuales del fabricante</li> <li>• Reglamento del laboratorio</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Tipos de herramientas con mayor riesgo de uso.</li> </ul>

### *Procedimiento a seguir*

El encargado de laboratorio o profesor, deberá dar a conocer las normas y reglamentos básicos para evitar accidentes y establecer los procedimientos a seguir en caso de una eventualidad.

El estudiante deberá entregar un reporte con 10 situaciones donde no se cumplan dichas normas. Las situaciones deberán ir debidamente justificadas. Al mismo tiempo, el estudiante deberá buscar las señalizaciones necesarias para un laboratorio

El estudiante deberá leer las normativas del uso de taller y firmar una carta de compromiso asegurando que su comportamiento va ser el adecuado a la realización de la práctica y aceptar la decisión del instructor.

## Práctica No. 2: Motor de ciclo Otto, ciclo Diesel y componentes

Duración: 3 semanas

### Objetivo general

- Que el estudiante comprenda el funcionamiento mecánico de un motor de combustión interna.

### Objetivos específicos

- Establecer la diferencia entre motor de ciclo Otto y motor de ciclo Diesel.
- Conocer la construcción mecánica del motor y arreglo de componentes del motor.
- Determinar las condiciones de estado del motor.

### Materiales a usar

Materiales	Maquinaria y equipo	Herramientas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wipe</li> <li>• Líquido penetrante (WD40)</li> <li>• Guantes de cuero</li> <li>• Recipiente donde depositar aceite</li> <li>• Recipiente donde lavar piezas</li> <li>• Combustible</li> <li>• Thinner</li> <li>• Esponjas verdes</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 motores gasolina</li> <li>• Motor Diesel</li> <li>• Manual del fabricante</li> <li>• Extractor de filtro de aceite</li> <li>• Extractor de polea</li> <li>• Extractor de válvulas</li> <li>• Pinzas para desmontar anillos de pistón.</li> <li>• Compresímetro</li> <li>• Lámpara estroboscópica.</li> <li>• Multímetro digital</li> <li>• Mármol de precisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego de llaves mixtas milimétricas</li> <li>• Juego de copas milimétricas</li> <li>• Extensión mediana, larga</li> <li>• Maneral raíz ½"</li> <li>• Ratchet raíz ½"</li> <li>• Juego de alicates</li> <li>• Juego de destornilladores planos</li> <li>• Juego de destornilladores en cruz</li> <li>• Martillos de diferentes tipos.</li> <li>• Regla de planitud</li> </ul>

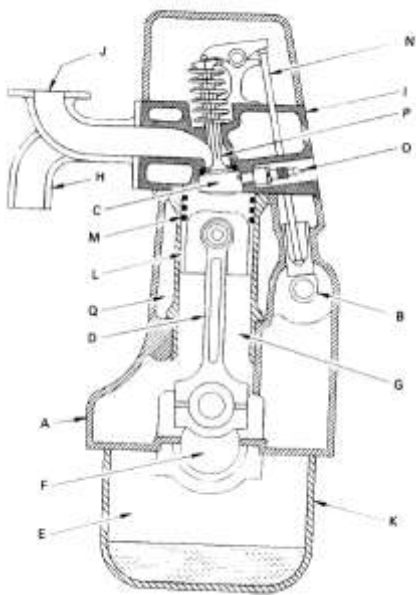
## Motor de combustión interna

El motor de combustión interna se puede definir como: «Es un motor de calor que convierte la energía química de un combustible en energía mecánica, usualmente disponible por la salida de un eje de rotación.» (Pulkrabek, 1997). La energía química del combustible es convertida en energía térmica por medio de la combustión u oxidación con el aire dentro de la cámara de combustión. Se utilizarán motores de combustión interna de dos tipos: Otto y Diesel. Se caracteriza por ser encendido por chispa eléctrica (SI, por sus siglas en inglés). El motor cíclico Otto es el motor convencional de gasolina que se utiliza en el automovilismo, aerodinámica, y en aplicaciones varias.

El motor diesel, llamado así en honor al ingeniero Rudolf Diesel, fue desarrollado en 1892. Una de sus características principales es que suele consumir combustibles gasóleos y es encendido por la autoignición del combustible debido a un incremento de presión en la cámara de combustión. Denominado CI, por sus siglas en inglés. Se emplea en instalaciones generadoras de electricidad, en sistemas de propulsión naval, en camiones, autobuses y algunos automóviles.

Ambos tipos de motores se pueden fabricar en modelos de dos y cuatro tiempos.

**Ilustración 28: Sección transversal de un motor de cuatro tiempos encendido por chispa**



(A) bloque, (B) eje de levas, (C) cámara de combustión, (D) biela, (E) cárter del cigüeñal, (F) cigüeñal, (G) cilindro, (H) múltiple de escape, (I) culata, (J) múltiple de entrada, (K) cárter de aceite, (L) pistón, (M) anillos de pistón, (N) varilla de empuje, (O) bujía, (P) válvula, (Q) camisa de agua. (Pulkrabek, 1997)

## PRECAUCIÓN

- En esta práctica se debe tener precaución del buen manejo y cuidado de piezas pesadas.
- Algunas piezas poseen distintos tipos de cabeza y deben utilizarse la herramienta adecuada.
- Tener cuidado con los elementos roscados ya que se pueden barrer la cabeza por exceso de esfuerzo.

### *Parte A: Verificación de estado del motor*

#### Procedimiento a seguir

Para realizar la práctica se requerirá que los estudiantes realicen una lista de los componentes que diferencian a los tipos de motores. Después de esto, determinar si un motor diesel se puede convertir en uno a base de gasolina.

El estudiante deberá colocar en su área de trabajo las herramientas y equipo necesario que el catedrático indique. Esto para optimizar el desarrollo de la práctica.

Para verificar la condición mecánica de un motor se necesitan procedimientos establecidos:

- **Inspección visual:** para la realización de una inspección visual se necesita una observación detallada de cada elemento superficial que compone el motor, con el objetivo de determinar fugas visibles y palpables que indiquen las condiciones del motor. Al mismo tiempo, determinar grietas o cualquier otro desperfecto que posea el motor.
- **Inspección práctica:** Ésta es la más importante, debido a que se aplicarán herramientas y análisis técnico para determinar la condición del motor.

#### **Medición de compresión**

Para que los cilindros produzcan potencia uniforme, sus compresiones deben ser semejantes dentro de ciertos límites. Es muy importante la comparación entre cilindros, como saber la compresión actual. Los factores influyentes en la prueba son la temperatura del motor, la viscosidad del aceite y la velocidad de giro del motor, se debe esperar algo de variación con respecto a las presiones especificadas.

## Motores Otto

1. Identificar adecuadamente el motor a inspeccionar, seleccionar los datos y valores del fabricante, determinando el año, marca, serie y cilindrada del motor. Identificar los datos en el manual del fabricante y seleccionar los valores extremos de la presión de compresión.
2. De ser posible, encender el motor y ponerlo a temperatura normal de funcionamiento (85°C aprox. o lo que recomiende el fabricante)
3. Seguidamente extraer todos los cables de alta tensión de las bujías. **MUY IMPORTANTE:** atención al orden en que están conectados los cables de alta tensión para luego conectarlos en la misma posición.
4. Con un ratchet de raíz ½" y una copa extractora de bujías, desenroscar las bujías y colocar el compresímetro de lectura directa en el orificio de la culata donde se insertan cada una de las bujías o candelas.
5. Para medir la compresión de cada uno de los cilindros, se acciona por medio del switch, el motor de arranque (por otra persona) durante unos segundos con el acelerador a fondo.
6. Anotar la lectura máxima de compresión y el número de ciclos necesarios para obtener la lectura. Repetir la prueba en los cilindros restantes, dando vuelta al motor con el mismo número de ciclos que fueron necesarios para obtener la lectura máxima en el cilindro número uno.
7. Comparar los datos obtenidos de las mediciones de todos los cilindros con las especificaciones del fabricante. Elaborar un diagnóstico de lo observado basado en lo siguiente:
  - **Normal:** La compresión crece rápida y uniformemente hasta llegar a la compresión especificada en todos los cilindros.
  - **Fuga en los anillos del pistón:** La compresión es baja en el primer golpe, pero tiende a subir en los siguientes. No alcanza la presión deseada en el cilindro.

La presión leída en el compresímetro debe ser igual para todos los cilindros y coincidir con la establecida por el fabricante del motor, se permite una diferencia de 2 bar entre cilindros para motores de gasolina (cuando no se tenga el dato del valor de compresión dado por el

fabricante, se puede usar como norma general el valor de relación de compresión del motor sumándole 1, es decir, para un motor que tenga una relación de compresión de 10:1 se tendrá un valor de presión a medir en el manómetro de 11).

### **Motores Diesel**

1. Se aplican los pasos 1 y 2 de los motores Otto.
2. Usando un ratchet de raíz  $\frac{1}{2}$ " y una copa adecuada, remover bujías de precalentamiento, los tapones fusibles o los inyectores para poder conectar el probador de compresión.

Algunos motores se prueban a través del agujero del tapón fusible, otros en el agujero de las bujías de precalentamiento, en tanto que otros a través del agujero del inyector. Los compresímetros pueden estar equipados con adaptadores de atornillar o de presión, asegurarse de seguir las especificaciones del motor y las instrucciones del fabricante.

3. Seguir los pasos del 5 al 7 para todos los cilindros.

### **Preguntas:**

1. ¿Por qué se miden las compresiones con el motor a temperatura normal de operación?
2. ¿Cuál es el objetivo de comprar las mediciones entre cilindros?
3. ¿Cuál es el objetivo de revisar la presión de compresión de los cilindros?

### ***Parte B: Desarmado e inspección del motor***

Este procedimiento tiene como finalidad el conocer los pasos básicos para el desmontaje de un motor y así diagnosticar las posibles fallas de éste o el estado de funcionamiento que tenía antes de ser desarmado. Al mismo tiempo, el tener una idea de las herramientas necesarias y su uso en el diagnóstico y reparación del motor.

Para el desmontaje de una pieza, se tiene que tener en cuenta el sentido de la rosca del tornillo. Se tienen 2 tipos de sentido de rosca: izquierda y derecha. En los tornillos de rosca derecha, se enrosca a favor de las manecillas del reloj y se afloja o desenrosca en contra de las manecillas del reloj.

## Procedimiento a seguir

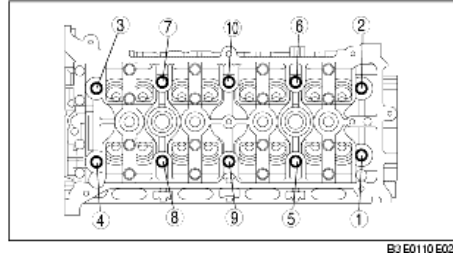
### Motores Otto

Después de la preparación del equipo, herramienta y materiales a utilizar, se siguen los siguientes pasos para el desmontaje de un motor de ciclo Otto.

1. Utilizando la información del paso 1 de la parte A, se procede a seleccionar los valores de comparación.
2. Desconectar los cables de la batería o fuente de poder. **¿Cuál cable debe ser desconectado primero? ¿Por qué?**
3. Con la ayuda del ratchet de raíz  $\frac{1}{2}$ ", buscar una copa adecuada para quitar el filtro de aire y su ducto. Descargar la presión del combustible en los motores con inyección, y descargar los tubos de suministro y retorno de combustible en los motores carburados.
4. Desconectar el subgrupo de alambres del motor y el cable de tierra.
5. Desconectar el cable de aceleración
6. Desconectar las bujías de sus cables, conectores eléctricos y mangueras de vacío en el distribuidor. **Marcar su posición.**
7. Desmontar el distribuidor utilizando juego de llaves mixtas.
8. Drenar el aceite y el refrigerante del motor. Desmontar el filtro de aceite del motor con la ayuda del extractor del filtro. **Cuidado con el aceite.** Éste puede salpicar, se debe colocar periódico en el piso y colocar un recipiente adecuado para la operación. El tiempo de drenaje variará dependiendo del estado del aceite.
9. Desmontar la bomba de alimentación de agua. Utilizando el juego de llaves mixtas.
10. Desmontar mangueras y el radiador con la ayuda de alicates y destornilladores.
11. Con la ayuda del maneral de raíz  $\frac{1}{2}$ ", juego de copas y el juego de llaves, desmontar múltiple de escape y múltiple de admisión.
12. Desmontar tapadera de válvulas.
13. Sincronizar el tiempo del motor (cigüeñal con el eje de levas) con la ayuda de la lámpara estroboscópica.
14. Extraer la unidad tensora de la faja (polea loca) con la ayuda del maneral de raíz de  $\frac{1}{2}$ ", con la copa adecuada y el extractor de polea.
15. Extraer la faja dentada, cadena o engranajes.

16. Desmontar la cabeza de cilindros siguiendo el orden especificado por el manual del fabricante con la ayuda de un maneral de raíz  $\frac{1}{2}$ " y la copa adecuada.

**Ilustración 29: Secuencia de desmontaje de culata**



17. Con la ayuda de un ratchet de raíz  $\frac{1}{2}$ " y la copa adecuada, remover los tornillos, desmontar el volante y retirarlo del motor. Extraer el retenedor y limpiar su alojamiento.
18. Desmontar el cárter con la ayuda del juego de llaves mixtas. Para el desmontaje de los pistones con sus bielas se utiliza el ratchet de raíz  $\frac{1}{2}$ " y marcar la posición de cada elemento desmontado. Al mismo tiempo, desmontar las tejas de bielas y marcar o indicar su posición de manera no permanente para futuros análisis.
19. Utilizando el maneral de raíz  $\frac{1}{2}$ " y la copa adecuada, desmontar el cigüeñal y sus cojinetes.
20. Desmontar el tapón semicircular.
21. Usar el maneral de raíz  $\frac{1}{2}$ " y la copa adecuada para desmontar el eje de levas. Marcar la posición de las tejas.
22. Limpiar y proporcionar mantenimiento básico al equipo y herramienta utilizada.
23. Limpiar y ordenar área de trabajo.

### **Motores diesel**

Se toman en cuenta los pasos anteriores con la diferencia que:

- En donde se sincroniza el tiempo, también se sincroniza la bomba de inyección.
- Desconectar las bujías de precalentamiento.

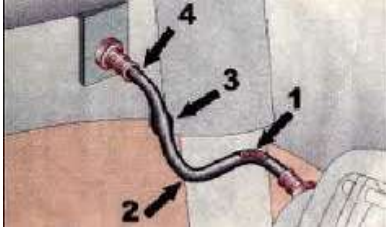
### **Inspección**

**Todas las inspecciones a realizar se harán con la utilización del manual del fabricante,** el cual establece las mediciones o ajustes de los componentes así como los pasos a seguir.

## Motores Otto

1. Verificar el funcionamiento del termostato con la ayuda de un multímetro.
2. Verificar el estado de la bomba de agua.
3. Verificar estado del radiador y las mangueras. Buscar grietas o fugas.

Ilustración 30: Condiciones de una manguera



(1) Cortes, (2) Flexibilidad,  
(3) Protuberancias, (4) Grietas

Imagen obtenida de (Mortys, 2010)

4. Inspeccionar la deformación de la culata con la ayuda del mármol de precisión y regla de planitud.
5. Inspección en los balancines, articulaciones esféricas, en busca de grietas, asperezas, quemaduras, muescas o desgaste.
6. Inspección del eje de balancines.
7. Inspección de la faja dentada, cadena o tren de engranajes de distribución en busca de grietas.
8. Inspeccionar el tensor de la faja.
9. Inspeccionar la deformación de la superficie del bloque de cilindros, el diámetro de los cilindros.
10. Inspeccionar la bomba de aceite según lo establece el fabricante.
11. Inspeccionar el desgaste de los anillos, pistón, tejas de biela y centrales.
12. Inspeccionar el cigüeñal, midiendo los lóbulos para determinar desgaste.
13. Inspeccionar los ductos de lubricación.
14. Inspeccionar el eje de levas.

## Motores diesel

Después de los pasos anteriores, se debe de:

- Verificar las bujías de precalentamiento.

**NOTAS:**

- Para poder examinar ciertas partes del motor, es necesario limpiarlas con esponjas verdes y agua caliente.

***Consultar el manual del fabricante por cualquier procedimiento adicional.***

### Práctica No. 3: Verificación de condición, desgaste y fallas

Duración: 2 semanas

#### Objetivo general

- Que el estudiante pueda realizar el análisis y determinar el estado de componentes.

#### Objetivos específicos

- Utilizar correctamente los instrumentos de medición para la verificación de condición del motor.
- Realizar el diagnóstico del estado de un motor.

#### Materiales a usar

Materiales	Maquinaria y equipo	Herramientas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wipe</li> <li>• Líquido penetrante (WD40)</li> <li>• Recipiente donde lavar piezas</li> <li>• Brochas</li> <li>• Plastigage</li> <li>• Juego de empaques de motor</li> <li>• Refrigerante</li> <li>• Sellador de tornillos (loctite)</li> <li>• Combustible</li> <li>• Esponjas verdes</li> <li>• Thinner</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 motores gasolina</li> <li>• Motor Diesel</li> <li>• Manual del fabricante</li> <li>• Compresor de aire</li> <li>• Tijeras para desmontar los anillos del pistón</li> <li>• Juego de micrómetros tanto de pulgadas</li> <li>• Juego de telescopios</li> <li>• Torquímetro</li> <li>• Compresor de anillos</li> <li>• Calibrador de válvulas</li> <li>• Calibrador de bujías.</li> <li>• Regla y juego de galgas</li> <li>• Mármol de precisión</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego de llaves mixtas milimétricas</li> <li>• Juego de copas milimétricas</li> <li>• Extensión mediana, larga</li> <li>• Maneral raíz ½"</li> <li>• Ratchet raíz ½"</li> <li>• Juego de alicates</li> <li>• Juego de destornilladores planos</li> <li>• Juego de destornilladores en cruz</li> <li>• Martillos de diferentes tipos.</li> <li>• Regla de planitud</li> </ul>

Antes de empezar la práctica, se tiene que tener en cuenta que los instrumentos de medición tienen un uso determinado y un límite de medición. El tratar de sobrepasar el límite puede llevar a tener mediciones incorrectas y a la pérdida de la calibración del instrumento. El estudiante deberá traer un cuadro comparativo con los diferentes tipos de desgaste.

### *Procedimiento a seguir*

El encargado del laboratorio deberá indicarle la aplicación de las medidas de seguridad personal, del equipo que se requieren para el armado y mediciones de ajuste para el motor. Dependiendo del motor que se esté trabajando, en algunos el fabricante recomienda que a los tornillos de sujeción se les unte sellador, todas las mediciones se realizaran como lo establece el manual del fabricante, así como en el armado y apriete de los tornillos.

Previo a las mediciones, se deberá de limpiar las piezas con agente desengrasante. Y de acuerdo a las instrucciones del catedrático.

### **Medición de ajustes**

1. Medir la deformación de la superficie plana del bloque de cilindros con la ayuda de la regla y las galgas de medición.
2. Utilizando telescopios y un micrómetro adecuado, medir diámetro de cilindros.
3. Con la ayuda de un micrómetro, medir diámetro de bancadas centrales.
4. Colocar el cigüeñal en el bloque de cilindros y medir la holgura de aceite en los cojinetes centrales. Para esto se necesita cortar tiras de plastigage de igual longitud que el ancho de los muñones centrales y colocarlos sobre estos longitudinalmente, respecto del cigüeñal. Montar cuidadosamente las tapaderas de bancada y apretar los tornillos con el torquímetro, según orden y torque especificado por el fabricante. Luego aflojar las bancadas con el ratchet o maneral de raíz  $\frac{1}{2}$ " con la copa adecuada, y retirarlas de su lugar, observar y medir la holgura. Imagen obtenida de (El moto taller, 2011)

Ilustración 31: Empleo plastigage



5. Verificar el juego axial del cigüeñal con micrómetros adecuados y con calibrador de hojas. (según el fabricante)
6. Medir la holgura de aceite de los cojinetes de biela de la misma manera que el paso 4.
7. Medir la holgura de los extremos de los anillos con el calibrador.
8. Medir la holgura de los anillos en los pistones con los calibradores de anillos.
9. Medir la presión de resortes de válvulas.
10. Revisar el asiento de válvula en busca de algún desgaste.
11. Medir el vástago de válvula con el micrómetro.

El estudiante debe llenar las hojas del Apéndice B para entregar como reporte.

**NOTAS:**

***Consultar el manual del fabricante por cualquier procedimiento adicional.***

## Práctica No. 4: Armado de motor y puesta en marcha

Duración: 4 semanas

### Objetivo general

- Que el estudiante pueda armar un motor y ponerlo en marcha

### Objetivos específicos

- Determinar los ajustes necesarios para el funcionamiento adecuado del motor.
- Conocer los pasos necesarios antes de poner en marcha un motor.

### Materiales a usar

Materiales	Maquinaria y equipo	Herramientas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wipe</li> <li>• Líquido penetrante (WD40)</li> <li>• Juego de empaques de motor</li> <li>• Refrigerante</li> <li>• Sellador de tornillos (loctite)</li> <li>• Combustible</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 2 motores gasolina</li> <li>• Motor Diesel</li> <li>• Manual del fabricante</li> <li>• Compresor de aire</li> <li>• Tijeras para desmontar los anillos del pistón</li> <li>• Compresor de anillos</li> <li>• Torquímetro</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Juego de llaves mixtas milimétricas</li> <li>• Juego de copas milimétricas</li> <li>• Extensión mediana, larga</li> <li>• Maneral raíz ½"</li> <li>• Ratchet raíz ½"</li> <li>• Juego de alicates</li> <li>• Juego de destornilladores planos y en cruz</li> <li>• Martillos de diferentes tipos.</li> <li>• Cepillo de alambre.</li> <li>• Extractores de válvula</li> </ul>

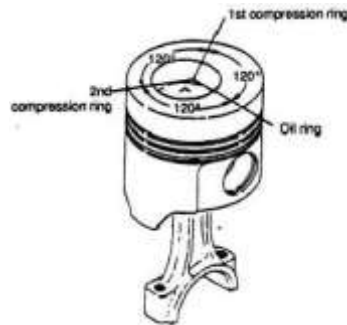
### Parte A: Armado del motor

Con las piezas que conforman el motor limpias, se procede a armar el motor.

### Procedimiento a seguir

1. Instalación del cigüeñal en las tejas centrales y torquarlo usando el torquímetro, según lo especificado por el manual del fabricante.
2. Instalación de anillos en el pistón. Conforme el fabricante lo especifique.

**Ilustración 32: Instalación de anillos de un pistón**



(Imagen obtenida de (Integrated Publishing, Inc., 2011))

3. Montar los pistones en la cabeza de cilindros usando el compresor de anillos como se muestra en la imagen.

**Ilustración 33: Instalación de cilindros**

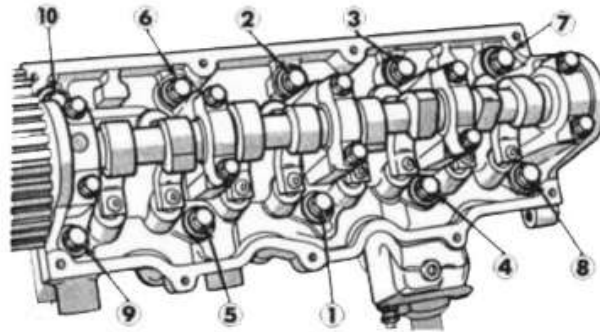


Imágenes obtenidas de (MS Motor Service International GmbH, 28)

4. Torquear cada cojinete de biela con el cigüeñal según lo especifica el fabricante utilizando el torquímetro.
5. Colocar tapadera frontal y posterior del bloque.
6. Utilizando el juego de llaves o el ratchet con la copa adecuada. Montar bomba de aceite, cebada con lubricante limpio.
7. Montar cárter.
8. Utilizando el juego de llaves y el ratchet de raíz ½" con su copa adecuada, montar volante. Torquearlo con el torquímetro según especificación de fábrica.
9. Armar la culata.

10. Instalación de empaque de culata.
11. Torquear la culata según especifica el manual del fabricante (ver Ilustración 34).
12. Instalar eje de levas, sus auxiliares y los elementos de sincronización.
13. Utilizando galgas de válvulas, calibrar válvulas según especificaciones del fabricante.
14. Montar tapadera de válvulas.
15. Instalar bomba de agua.
16. Instalar mangueras y radiador.
17. Instalar filtros de aceite, de aire, de combustible, el lubricante y el refrigerante.
18. Conectar las conexiones eléctricas.
19. Instalar los cables del acumulador iniciando por el positivo.
20. Limpiar y proporcionar mantenimiento básico al equipo y herramienta.

Ilustración 34: Ejemplo de apriete de culata



(Imagen obtenida de (Integrated Publishing, Inc., 2011) (dr.croxwell, 2011))

### Preguntas

1. ¿Cuál es la importancia de medir los ajustes del motor? Si la lubricación mejora conforma la tecnología está avanzando.
2. ¿Qué lubricante según gráfica de viscosidades es preferible, el monogrado o el multigrado? ¿Por qué?

### *Parte B: Puesta en marcha del motor*

Para evitar accidentes en el arranque de un motor, se deben de tener en cuenta las normas de seguridad y evitar poner en riesgo al practicante y la estructura.

## Procedimiento a seguir

### **Motores Otto**

1. Revisar niveles de refrigerante, lubricante y agua destilada para el acumulador.
2. Revisar el orden de encendido.
3. Revisar bujías
4. Revisar la tasa de distribuidor de chispa
5. Revisar conexiones eléctricas.
6. Revisar el sistema de alimentación de combustible.
7. Revisar el sistema de mangueras.
8. Arrancar el motor.
9. Después de haber realizado los pasos anteriores, determinar el buen funcionamiento del motor.
10. Apagar el motor.
11. Limpiar y proporcionar mantenimiento básico al equipo y herramienta utilizada.
12. Limpiar y ordenar el área de trabajo.

### **Motores Diesel**

Todos los pasos anteriores y los siguientes:

1. Revisar trampa de agua para los motores diesel.
2. Revisar el sistema de bujías de precalentamiento para motores diesel.

El estudiante debe de hacer un reporte del estado detallado completo del motor, indicando causas y tipos de fallo. Debe incluir marco teórico, imágenes detallando el estado del motor, hojas de mediciones obtenidas, y conclusiones si es viable la reparación del motor (de ésta ser posible).

### **NOTAS:**

***Consultar el manual del fabricante por cualquier procedimiento adicional.***

## Práctica No. 5: Afinación del motor

Duración: 1 semana

### Objetivo general

- Que el estudiante pueda afinar el motor para su mejor desempeño.

### Objetivos específicos

- Conocer los componentes necesarios para la afinación de un motor de combustión interna.
- Determinar la secuencia de afinación.

### Materiales a usar

Materiales	Maquinaria y equipo	Herramientas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Wipe</li> <li>• Lubricante</li> <li>• Refrigerante</li> <li>• Agua destilada</li> <li>• Lija</li> <li>• Filtro de aire</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Motor Otto o Diesel</li> <li>• Calibrador de galga</li> <li>• Calibrador de bujía</li> <li>• Extractor de filtro de aceite</li> <li>• Multímetro digital</li> <li>• Manual del fabricante</li> <li>• Galgas calibradoras de válvulas.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Ratchet de raíz de ½"</li> <li>• Juego de destornilladores planos y de cruz.</li> <li>• Juego de llaves milimétricas y en pulgadas.</li> <li>• Copa para extraer bujías raíz de ½"</li> </ul>

Los motores requieren de una afinación cada seis meses (aproximadamente) para mantenerlos en buen estado. En términos generales, la afinación consiste en algunos procedimientos muy estándares de cambios de piezas y líquidos, hay otros de ajuste. Una afinación consiste en lo siguiente:

- Lavado de inyectores
- Cambio de filtro de gasolina
- Cambio de filtro de aire
- Cambio de bujías
- Revisión y corrección de tiempo básico de encendido

- Limpieza de cámara de filtro de aire

La afinación del motor corrige las anomalías que se encuentran cuando se arma el motor. Al mismo tiempo, se asegura que el motor esté funcionando en su mejor configuración posible. La afinación forma parte del mantenimiento del motor, especialmente de las partes que más rápidamente se desgastan por el uso. Además se hace porque permite disminuir la cantidad y calidad de los gases tóxicos que un motor emite. (Arturo, 2004)

### *Procedimiento a seguir*

#### **Motores Otto**

1. Calibración de válvulas con las galgas de válvulas.
2. Revisión o cambio de filtro de aire, de aceite y de combustible
3. Revisión de cables de bujías por medio de la medición de resistencia de los cables o con equipo especial, si es necesario, se cambian.
4. Revisión de tasa de distribución se observa que no tenga grietas, desgaste excesivo. Determinar cambio.
5. Revisar estado de bujías
6. Cambio de lubricante.
7. Revisión de refrigerante
8. Revisión del tapón de presión del radiador.
9. Revisión de presión o fugas dentro del sistema de enfriamiento.
10. Revisión del nivel de electrolito dentro del acumulador.
11. Utilizando la lámpara estroboscópica, revisar la sincronización del encendido. El motor debe de estar a temperatura de funcionamiento del motor.

#### **Motor Diesel**

Los motores diesel, por lo general, son más sucios esto se debe al tipo de combustible usado y sus características dadas por el ciclo en que operan.

1. Limpiar el exterior del motor. Es necesario limpiarlos para poder revisarlos correctamente. El proceso de limpieza, pueda que sea necesario de una serie de repeticiones para lograr limpiarlo completamente.
2. Cambiar el aceite del motor removiendo el tornillo de abajo del cárter con una llave adecuada. Utilizando el extractor, cambiar el filtro de aceite.

3. Revisar el nivel del medio de enfriamiento
4. Revisar componentes flojos (tornillos, tubos, conexiones, soportes y pedestales del montaje)
5. Revisar el sistema de admisión de aire, sus componentes y conexiones.
6. Revisar el sistema de escape.
7. Realizar servicio al sistema de combustible, tubería, bomba, filtro de combustible, trampa de agua.
8. Quitar, probar y calibrar los inyectores si es necesario.
9. Realizar una prueba de compresión al motor con la ayuda del compresímetro.
10. Ajustar la holgura de las válvulas del motor.
11. Revisar el eslabonamiento del acelerador, asegurarse que puede moverse a todo lo largo de su carrera y no se atore en algún lugar.

Los pasos presentados, son los elementos básicos de una afinación. Seguido de esto, hay que realizar las actividades de desarmar, calibrar y limpiar conforme lo establece el manual de servicio del fabricante.

Para comprobar esto, el estudiante debe de entregar un reporte con las mediciones de antes y después de la afinación.

### **Preguntas**

- ¿Por qué se debe afinar conforme el manual de servicio del fabricante?
- ¿Por qué es importante limpiar el aceite que cubre el bloque del motor diesel?

### **NOTAS:**

***Consultar el manual del fabricante por cualquier procedimiento adicional.***

## Práctica No. 6: Elaboración de plan de mantenimiento

Duración: 1 semana

### Objetivo general

- Elaborar un plan de mantenimiento.

### Objetivos específicos

- Optimizar la vida útil de un motor evitando gastos innecesarios.
- Prolongar el mejor desempeño del motor.

### Materiales a usar

Materiales	Maquinaria y equipo	Herramientas
<ul style="list-style-type: none"> <li>• Calendario</li> <li>• Papel y lápiz (o computadora)</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Manual del fabricante</li> <li>• Información de proveedores.</li> </ul>	

Existen distintos tipos de mantenimiento. En este caso se usará el mantenimiento productivo total.

### ¿Qué es el mantenimiento preventivo?

La finalidad del mantenimiento preventivo es: Encontrar y corregir los problemas menores antes de que estos provoquen fallas. El mantenimiento preventivo puede ser definido como una lista completa de actividades, todas ellas realizadas por: usuarios, operadores, y mantenimiento. Para asegurar el correcto funcionamiento de la planta, edificios. Máquinas, equipos., vehículos, etc. (González, 2004)

Bajo la premisa que el mantenimiento preventivo se diseña con la idea de prever y anticiparse a los fallos de las máquinas y equipos, se diseña el programa con frecuencias calendario o uso del equipo. Esto con el fin de realizar cambios de sub-ensambles, cambio de partes, reparaciones, ajustes, cambios de aceite y lubricantes, etc.

El mantenimiento preventivo se refiere a las acciones, tales como: remplazos, adaptaciones, restauraciones, inspecciones, evaluaciones, etc. Hechas en períodos de tiempo por calendario o uso de los equipos. (Tiempos dirigidos).

## Beneficios

- Reduce las fallas y tiempos muertos.
- Incrementa la vida de los equipos e instalaciones.
- Ahorro

Existen tres alternativas a la implementación del plan de mantenimiento

- No hacer nada
- Solo reparar fallas
- Contratar todos los mantenimientos preventivos

## *Procedimiento a seguir*

1. Determinar las metas y objetivos del mantenimiento. Para esto basarse en el manual del fabricante. Ej: Reducir fallas en 70%, Reducir consumo en 20%, Incrementar tiempo entre mantenimientos.
2. Establecer los requerimientos para el mantenimiento preventivo. Explicar que tan extenso va a ser el programa. Indicar qué debe incluir y dónde.
  - Se debe determinar que inspecciones, ajustes y/o calibraciones, o cambio de partes en base a frecuencia y/o uso. (Mantenimiento preventivo tradicional)
  - Inspecciones periódicas de monitoreo.
  - Lecturas de temperatura, presión y volumen. O cualquier otro subsistema (Inyección, aire acondicionado, frenos, eléctrico, llantas, etc.)
3. Establecer cómo se va a medir el progreso del mantenimiento.
  - Debe establecerse la medición para poder monitorear su mantenimiento y mejorar el sistema. **Preguntas:** ¿Qué importancia tiene el haber establecido las mediciones a obtener, previo a este paso? ¿Qué es una tabla de criterios?
4. Establecer los procedimientos detallados o listados de rutinas.
5. Determinar que la frecuencia de aplicación de la rutina. Tomar en cuenta que se pueden realizar varias tareas de mantenimiento de manera simultánea. Determinar qué tipo de intervalo entre mantenimiento: Calendario o por uso.
6. Implementarlo

**Preguntas:**

- ¿Por qué es importante el buscar los servicios de mantenimiento previos a la implementación?
- ¿Qué sistema o componente cree que será el que tenga mayor frecuencia de realizar mantenimiento?
- ¿Cree usted que es importante el saber la razón de la falla?
- ¿Por qué se debe buscar un listado de los proveedores?

## Apéndice B: Hojas para mediciones para el desarrollo de las guías de laboratorio

Motor

Descripción:

---

---

---

---

---

---

---

---

Especificaciones técnicas	
Fabricante	
Modelo	
Cilindros	
Diámetro del Pistón    mm	
Recorrido                    mm	
Volumen efectivo        cm <sup>3</sup>	

Relación de compresión	
Orden de encendido	
Potencia      PS/RPM  HP/RPM	
Torque        kpm/RPM  Ft lbs/RPM	

PS = Pferdestärke = Caballos de Fuerza

Verificación de motor

Inspección visual de componentes del motor:

---

---

---

---

---

---

---

---

---

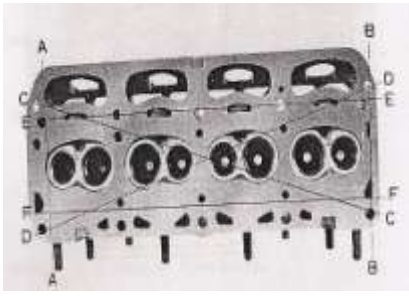
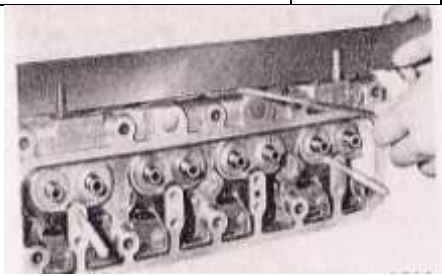
---

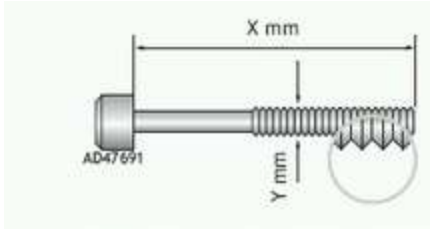
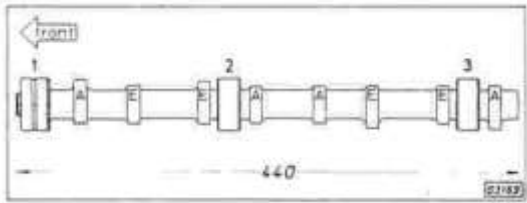
Recomendaciones:

---

---


---

		<h2>Planitud de culata</h2>			
Dato del fabricante		Datos medidos		Si $H \geq F$ Rectificar  Si $I \geq G$ Rectificar	Cantidad a rectificar será la mayor de $H$ o $I$  $H$ o $I \leq E$
Longitudinal y/o diagonal (F)	Transver sal (G)	Longitudi nal y/o diagonal (H)	Transvers al (I)		
		<h2>Planitud de culata</h2> <p>Manifold de Admisión y Escape</p>			
Dato del fabricante		Datos medidos		Si $H \geq F$ rectific ar  Si $I \geq G$ Rectific ar	Cantidad a rectificar será la mayor de $H$ o $I$  $H$ o $I \leq E$
Longitudinal o diagonal (F)	Transver sal (G)	Longitudi nal o diagonal (H)	Transver sal (I)		

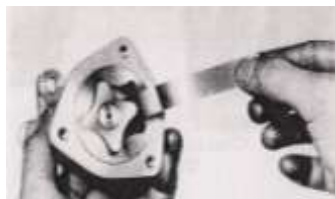
		<h2 style="text-align: center;">Tornillos de Culata</h2> <p style="text-align: center;">Estado, Longitud y Diámetro</p>							
	Nominal	1	2	3	4	5	6	7	8
Estado (Aceptable, Reemplazo)									
Longitud									
Diámetro rosca									
Diámetro vástago									
							<h2 style="text-align: center;">Eje de levas</h2> <p style="text-align: center;">Medición de muñones y bujes</p>		
	Muñones $\varnothing$ mm								
	1	2	3	4	5				
Datos del fabricante max/min									
Mediciones									
Conclusión									

		Muñones $\varnothing$ mm				
		1	2	3	4	
Datos del fabricante max/min						
Mediciones						
Conclusión						
<b>Verificación de válvulas y guías de válvulas</b>						
						
Datos del fabricante		Admisión				
		A (mm/in)	B $\varnothing$ (mm/in)	C $\varnothing$	D °	E (mm/in)
Válvulas de admisión	1					
	2					
	3					
	4					

Datos del fabricante		Escape							
		A (mm/in)	B Ø (mm/in)	C Ø (mm/in)	D °	E (mm/in)			
Válvulas de escape	1								
	2								
	3								
	4								
Guías de válvulas									
Admisión				Escape					
Ø	1	2	3	4	Ø	1	2	3	4
Dato del fabricante					Dato del fabricante				

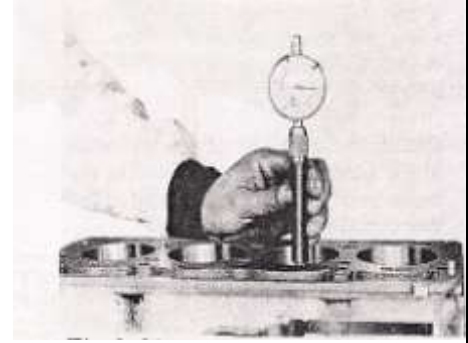
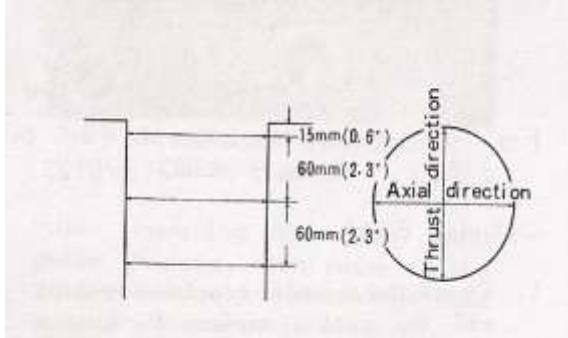
<b>Medición de cigüeñal</b>  Estado: _____					
Dato del fabricante  Max/min	<b>Medición de muñones de cigüeñal</b>				
	Centrales  $\varnothing$ (mm/in)			Biela  $\varnothing$ (mm/in)	
	Punto 1	Punto 2	Punto 1	Punto 2	
1	-	-	-	-	
2	-	-	-	-	
3	-	-	-	-	
4	-	-	-	-	
5	-	-	-	-	

## Verificación de bomba de aceite



Dato del fabricante			
Mediciones			
Comentarios			

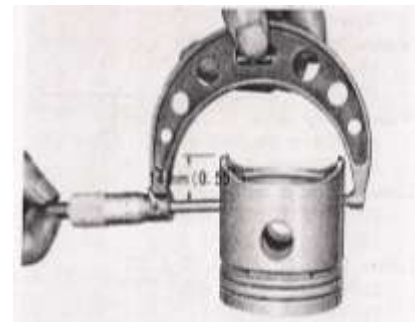
## Verificación de camisas y pistones



Cilindros	Medidas (mm/in)			
	Diámetro fabricante:			Fabricante diámetro máximo
	Superior	Medio	Inferior	
1	-	-	-	
2	-	-	-	
3	-	-	-	
4	-	-	-	

Distancia para la medición del diámetro del pistón  
(lo indicado por el manual del fabricante):

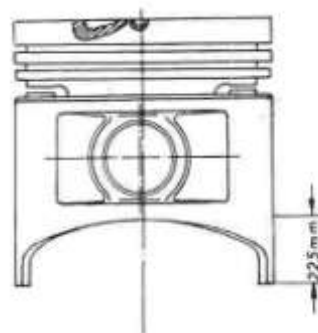
\_\_\_\_\_



Pistón	Mediciones de pistones	
	Diámetro fabricante (in/mm)	Medida (mm/in)
1		
2		
3		
4		

Distancia para la medición del diámetro del pistón (lo indicado por el manual del fabricante):

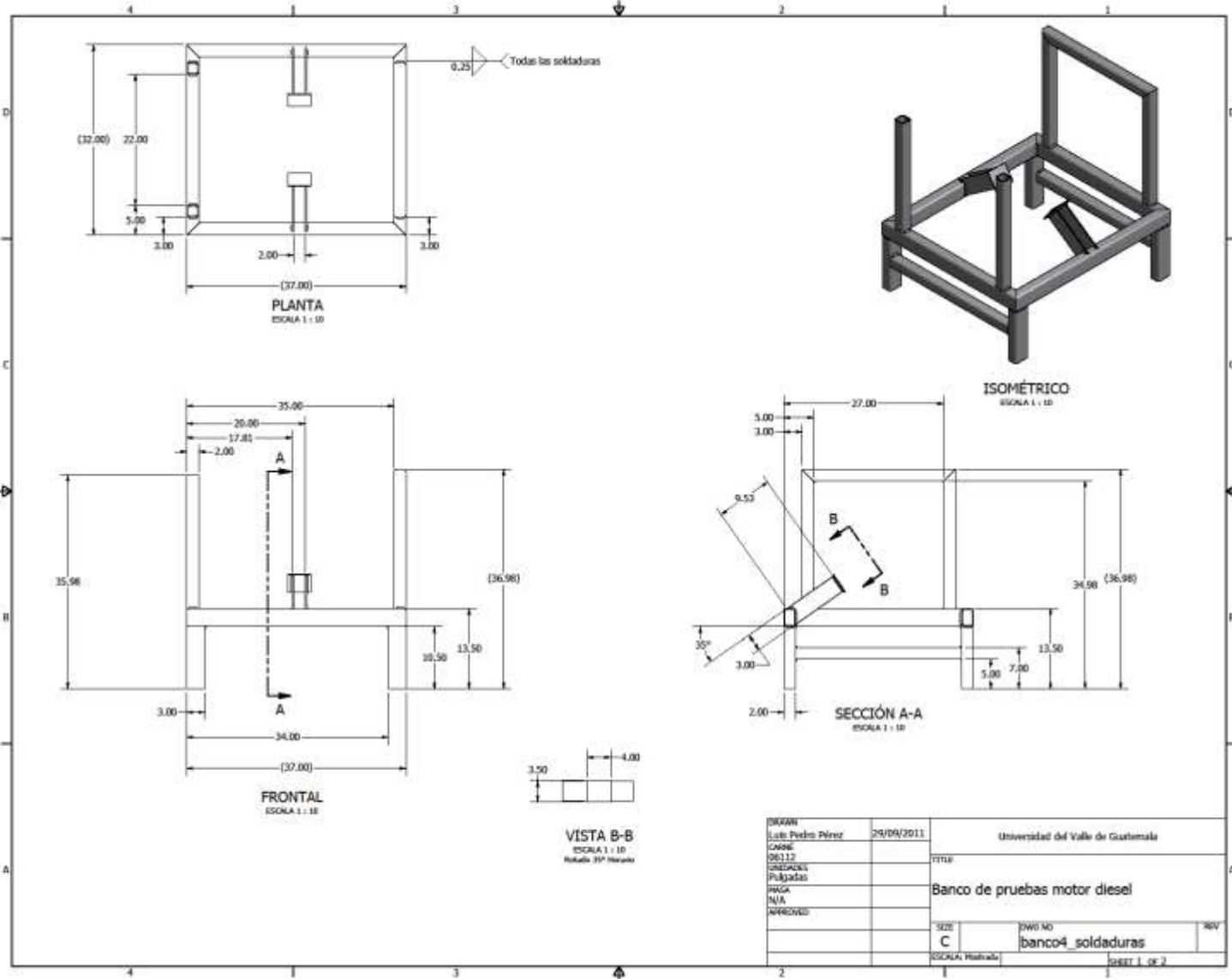
\_\_\_\_\_

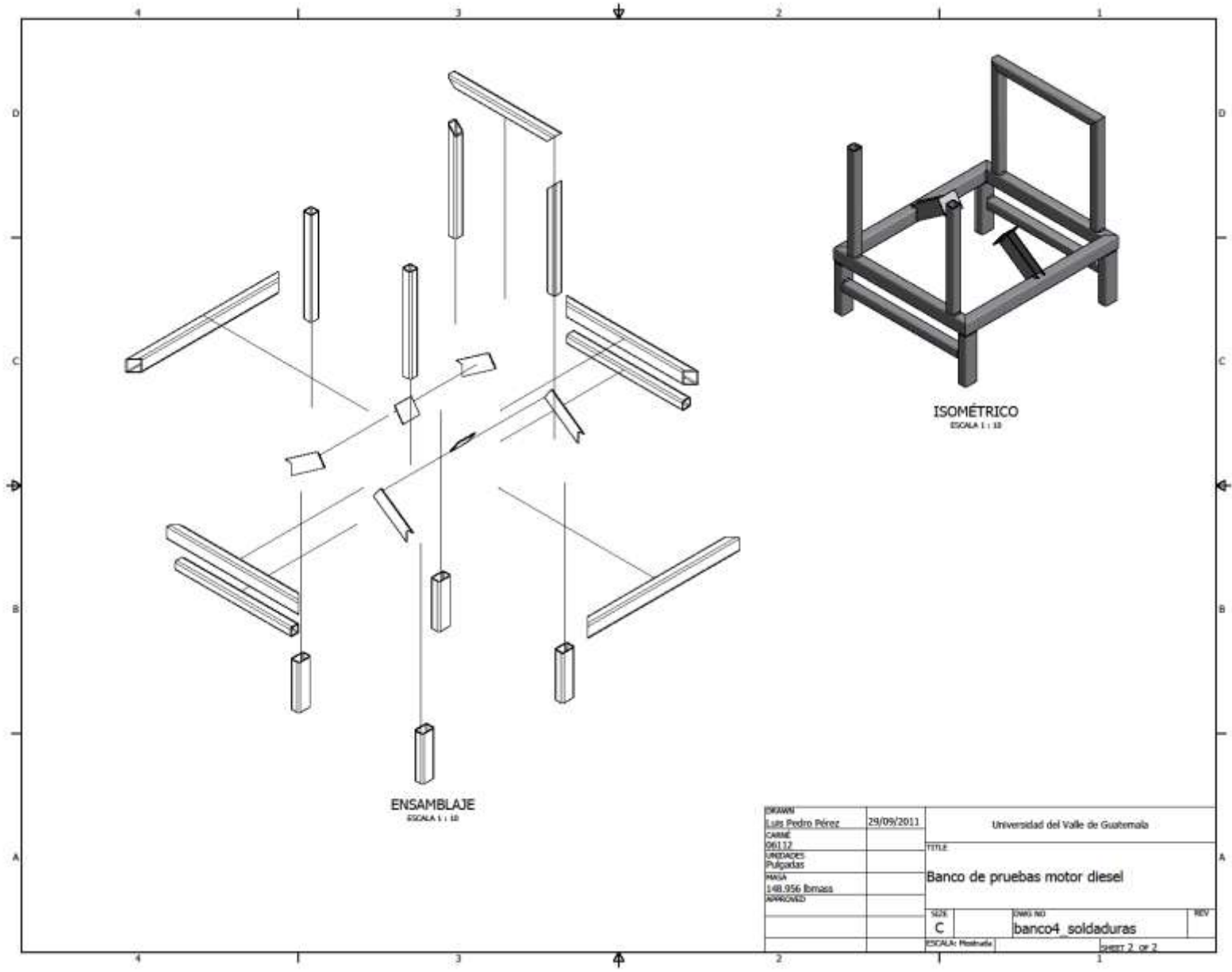


Datos del Fabricante	Pistones			
	1	2	3	4
Mediciones				

Conclusiones:

# Apéndice C: Planos del banco de pruebas



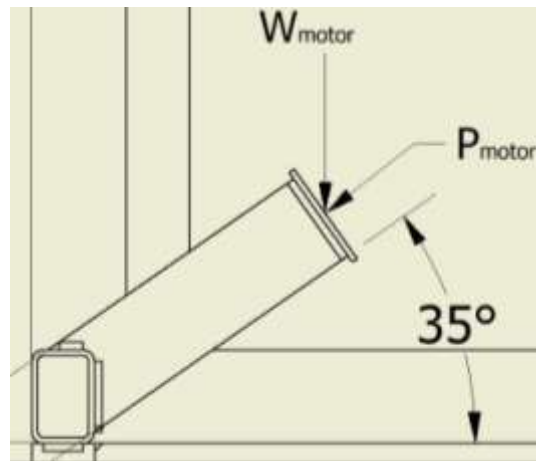


## Apéndice D: Cálculos

Para el análisis del banco de pruebas se analizan los elementos críticos que son las placas donde reposa el motor. Consultando con reconstructora e importadora de motores, se determinó que el peso del motor es de 200Kg (440lb aproximadamente). Se tomó en cuenta el peso del motor y la presión que éste ejercía sobre las placas del banco.

Para esto se realizó el diagrama de fuerzas como se observa en la Ilustración 35. Donde  $W_{\text{motor}}$  es la mitad del peso del motor 220lbf.

Ilustración 35: Diagrama de fuerzas



Para el análisis se decidió analizarlo bajo dos criterios: pandeo y flexión. Teniendo las restricciones de la configuración y dimensiones del sistema. Las dimensiones de los miembros consideradas para el análisis son 10"x3"x 3/16". Seguido de esto, se realizó el diagrama de cuerpo libre.

Ilustración 36: Diagrama de fuerzas del elemento

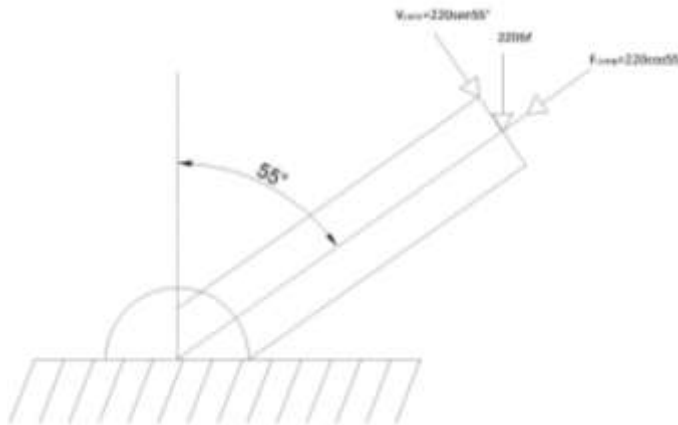
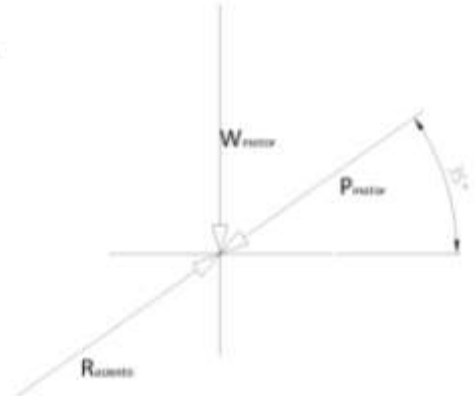


Ilustración 37: Diagrama de cuerpo libre



Utilizando relaciones trigonométricas se obtuvieron las siguientes componentes tomando en cuenta el número de placas de acero que van a soportar dicha carga va a ser la mitad del peso estimado del motor.

$$F_{comp} = 220 \cos 55^\circ = 126.18 \text{ lbf} \quad \text{Ecuación 1}$$

$$V_{corte} = 220 \sin 55^\circ = 180.21 \text{ lbf} \quad \text{Ecuación 2}$$

Teniendo así los componentes de fuerza  $F_{comp} = 126.18 \text{ lbf}$  y  $V_{corte} = 180.21 \text{ lbf}$ .

### Análisis por pandeo debido a fuerzas de compresión

Para el análisis de pandeo se tomó en cuenta el criterio de una columna empotrada libre, donde se definen las características críticas para columnas. Los criterios se pueden observar en la Ilustración 38(b).

Ilustración 38: Características de columnas ideales





(a) Columna articulada-articulada	(b) Columna empotrada-libre	(c) Columna empotrada-empotrada	(d) Columna empotrada-articulada
$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2}$	$P_{cr} = \frac{4\pi^2 EI}{L^2}$	$P_{cr} = \frac{2.046 \pi^2 EI}{L^2}$
			
$L_e = L$	$L_e = 2L$	$L_e = 0.5L$	$L_e = 0.699L$
$K = 1$	$K = 2$	$K = 0.5$	$K = 0.699$

Imagen obtenida de (Gere, 2006)

Obteniendo las siguientes condiciones.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{4L^2} \quad \text{Ecuación 3}$$

$$L_e = 2L \quad \text{Ecuación 4}$$

$$K = 2 \quad \text{Ecuación 5}$$

Definiendo así la carga crítica  $P_{cr}$ , la longitud efectiva  $L_e$ , y el factor de longitud efectiva  $K$ , como lo establece la Ecuación 3, Ecuación 4 y Ecuación 5 respectivamente.

Considerando a las placas como elementos de acero para construcción, se tiene la siguiente ecuación según la norma AISC 360-10 de la American Institute of Steel Construction. (American Institute of Steel Construction, 2010)

$$\frac{KL}{r} = \sqrt{\frac{KL}{r_o}^2 + \frac{K_i a_i^2}{r_i^2}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde  $K$  es el factor de longitud efectiva,  $L$  la longitud,  $r$  es el radio de giro,  $a$  es la distancia mínima entre superficies de los elementos,  $r_i$  es el radio mínimo de giro del componente individual y  $K_i$  es el factor de configuración. Debido a la configuración del sistema, se tiene que la longitud  $L$  se tomará de 10'',  $r_i$  tiene un valor de 3/32'',  $a_i$  tiene un valor de 10'', y  $K_i$  tiene un valor de 0.86.

Sustituyendo los valores anteriores en la Ecuación 6, se tiene la siguiente relación.

$$\frac{KL}{r} = 436.35$$

Teniendo en cuenta la relación previa, se necesita calcular el factor  $\lambda_p$  el cual se define de la siguiente manera.

$$\lambda_p = 4.71 \sqrt{\frac{E}{QF_y}} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde  $E$  es módulo de elasticidad del acero en kpsi,  $F_y$  es el esfuerzo de fluencia en kpsi y  $Q$  el factor de reducción neta del elemento esbelto.

Utilizando los valores del módulo de elasticidad  $E$  de 29,000 ksi, esfuerzo de fluencia de 30 ksi y factor de reducción neta de 1, se tiene que el factor  $\lambda_p$  es de 146.

Comparando el resultado de la Ecuación 6 con el resultado de la Ecuación 7 para obtener la ecuación adecuada para el cálculo del esfuerzo crítico, se tiene lo siguiente.

$$\frac{KL}{r} > \lambda_p \quad \text{Ecuación 8}$$

$$F_{cr} = 0.877F_e \quad \text{Ecuación 9}$$

Se obtiene el esfuerzo crítico debido a la carga sobre un elemento  $F_e$ , con la siguiente ecuación

$$F_e = \frac{\pi^2 E}{\left(\frac{KL}{r}\right)^2} = 1.503 \text{ksi} \quad \text{Ecuación 10}$$

El análisis no estaría completo sin el factor de seguridad, por lo que se necesita comparar las cargas aplicadas con la crítica. Teniendo un área transversal del elemento esbelto  $A_{elem}$  de  $56.25 \times 10^{-2} \text{in}^2$ , se realiza el siguiente análisis de un diagrama de fuerzas del elemento.

La carga  $P_{pand}$  aplicada sobre la sección transversal del elemento esbelto se define como:

$$P_{pand} = \frac{F_{comp}}{2} = 63lbf \quad \text{Ecuación 11}$$

Para poder comparar las cargas, se obtiene la carga crítica  $P_{crit}$  de 741.45lb con la Ecuación 12 y se compara con la carga aplicada  $P_{pand}$  por medio de la Ecuación 13, obteniendo así un factor de seguridad por pandeo  $n_{pand}$  de 11.76.

$$P_{crit} = F_{cr} * A_{elem} \quad \text{Ecuación 12}$$

$$n_{pand} = \frac{P_{crit}}{P_{pand}} \quad \text{Ecuación 13}$$

### Análisis por flexión debido a fuerzas de corte

El análisis de flexión se basa en la suposición que los elementos son vigas en voladizo. El peso es despreciable ya que comparado con la carga a soportar, los efectos provocados por éste son menores y no presentan mayor cambio en los resultados.

Antes de comenzar el análisis, se tiene que definir el momento de inercia de los elementos. Utilizando el momento de inercia y el teorema de ejes paralelos se tiene la Ecuación 14, donde  $t$  es el espesor del elemento (3/16"),  $h$  es la altura de éste (3"), y  $d$  es la distancia de separación entre el elemento y su centro de rotación inercial (0.7475"). Obteniendo una inercia  $I$ , de 1.47 in<sup>4</sup>.

$$I = 2 \ t * \frac{h^3}{12} + th * d^2 \quad \text{Ecuación 14}$$

El esfuerzo flexionante producido por un momento se define como lo muestra la Ecuación 15, donde el momento máximo es el momento ocasionado por la carga  $V_{corte}$  y la longitud estimada del miembro (10");  $c$  es la distancia del centroide a la superficie más lejana (1.5"); y el valor de la inercia  $I$  calculado anteriormente. El momento máximo  $M$  es de 1,802.1 lb-in.

$$\sigma_{flex} = \frac{Mc}{I} \quad \text{Ecuación 15}$$

Con la ecuación previamente descrita, se calcula el esfuerzo flexionante  $\sigma_{flex}$ , obteniendo un esfuerzo flexionante de 1,838.9 psi.

Para determinar el factor de seguridad, se tomó en cuenta el esfuerzo de fluencia  $F_y$  y con la Ecuación 16, se determinó que el factor de seguridad por flexión es de 16.32, indicando que el elemento no fallará por flexión.

$$n_{flex} = \frac{F_y}{\sigma_{flex}} \quad \text{Ecuación 16}$$

Para calcular la deflexión  $\delta_B$  producida en una viga por una carga  $V$  en el extremo de un voladizo de longitud  $L$ , se utiliza la Ecuación 17 de donde se obtiene una deflexión máxima de  $1.41 \times 10^{-3}$  pulgadas.

$$\delta_B = \frac{VL^3}{3EI} \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde  $E$  es el módulo de elasticidad, e  $I$  es el momento de inercia calculado anteriormente.

### Esfuerzos principales

Los esfuerzos principales son los esfuerzos normales máximos y mínimos que experimenta el elemento de la estructura. El siguiente análisis toma en cuenta el momento máximo ejercido por el motor de 1,668 lb-in. Al mismo tiempo se analiza la viga que sufre dicho momento de manera constructiva con el momento ejercido por la carga del motor.

Como se muestra en la Ilustración 39 y utilizando la Ecuación 18, se observa que la fuerza cortante  $V$  de 180.21 lbf va a ejercer un momento de 1,802.10 lb-in en sentido de las manecillas del reloj.

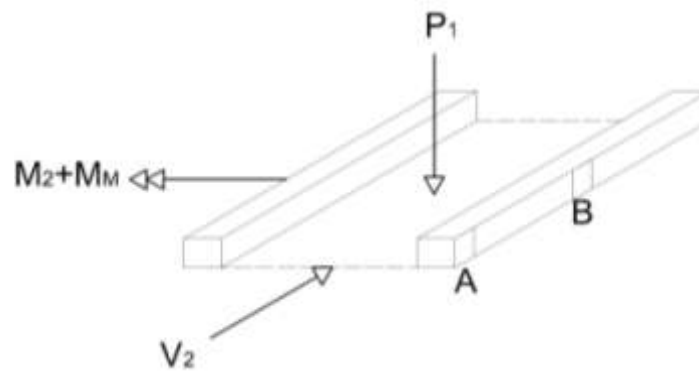
Ilustración 39: Diagrama de fuerzas y momentos



$$M_2 = V * x = 1,802.10 \text{ lb} \cdot \text{in} \quad \text{Ecuación 18}$$

Para poder realizar el análisis, se analizan 2 secciones A y B situadas en la base de la viga, como se muestra en la Ilustración 40, donde  $P_1$  es la fuerza axial de 126.18 lbf,  $V_2$  es la fuerza de corte de 180.21 lbf, y  $M_m$  es el momento máximo ejercido por el motor de 1,668 lbf-in. Cabe mencionar que el análisis de las secciones A y B es simétrico de la placa paralela del soporte.

Ilustración 40: Diagrama de secciones A y B

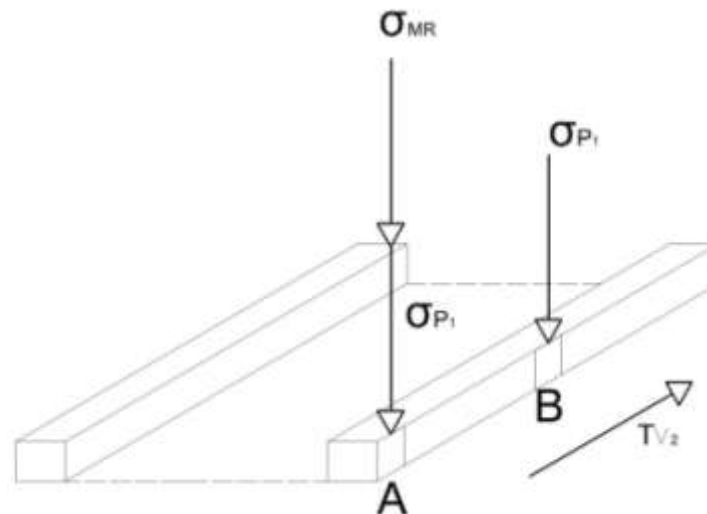


Como se observa en la ilustración, se determina que la carga  $P_1$  produce esfuerzo de compresión  $\sigma_{P_1}$  en todo el poste, afectando a las secciones A y B. El esfuerzo está dado por la Ecuación 19, tomando en cuenta que el área es la dada por la sección transversal de 3"x3/16".

$$\sigma_{P_1} = \frac{P_1}{2A} = 112.16 \text{ psi} \quad \text{Ecuación 19}$$

Para poder calcular los esfuerzos que sufren las secciones A y B, se hace un diagrama para determinar los esfuerzos sufridos por cada sección. La Ilustración 41 muestra que la sección A va a sufrir 2 esfuerzos  $\sigma_{P_1}$  y  $\sigma_{M_R}$ , donde  $\sigma_{M_R}$  es el esfuerzo obtenido por la suma de momentos  $M_2$  y  $M_m$ .

Ilustración 41: Diagrama esfuerzos secciones A y B



Habiendo establecido los esfuerzos que sufren las secciones, se suman los momentos obteniendo un momento  $M_R$  de 3,470.10lb-in.

Teniendo ya el momento resultante  $M_R$ , se calcula  $\sigma_{M_R}$  con la Ecuación 20, donde  $b$  es la distancia a la partícula más lejana de 3",  $I$  el momento de inercia de la sección transversal obtenido previamente con un valor de  $1.47\text{in}^4$ .

$$\sigma_{M_R} = \frac{M_R b}{2I} = 3,540.91\text{psi} \quad \text{Ecuación 20}$$

Habiendo calculado los esfuerzos normales, se procede a calcular el esfuerzo de corte  $\tau_{V_2}$  dado por la Ecuación 21 se obtiene un esfuerzo cortante  $\tau_{V_2}$  de  $160.19\text{psi}$ .

$$\tau_{V_2} = \frac{V_2}{A} = 160.19\text{psi} \quad \text{Ecuación 21}$$

Para poder analizar los esfuerzos, se sigue la notación estándar para el esfuerzo plano que se encuentran en la Ilustración 42, la cual muestra los esfuerzos ejercidos en una sección transversal rectangular de una viga.

Ilustración 42: Vista bidimensional de un elemento con esfuerzos planos

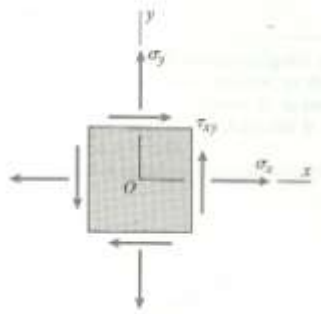


Imagen obtenida de (Gere, 2006)

Conforme los sentidos y direcciones que se tienen en la ilustración anterior, se tienen los esfuerzos  $\sigma_x$ ,  $\sigma_y$ , mostrados en la siguiente tabla:

Tabla 9: Esfuerzos normales y cortantes

Sección	$\sigma_x$ (Psi)	$\sigma_y$ (Psi)	$\tau_{xy}$ (Psi)
<b>A</b>	0	$\sigma_{P_1} + \sigma_{M_R} = -3,653.07\text{psi}$	0
<b>B</b>	0	$\sigma_{P_1} = -112.16\text{psi}$	$\tau_{V_2} = 160.19\text{psi}$

Con los resultados obtenidos en la Tabla 9, se calculan los esfuerzos principales planos  $\sigma_{1,2}$  con la Ecuación 22, y los cortantes máximos  $\tau_{max}$  para las secciones A y B, con las ecuaciones:

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x + \sigma_y}{2} \pm \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ecuación 22}$$

$$\tau_{max} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2} \quad \text{Ecuación 23}$$

$$\tau_{max} = \sqrt{\frac{(\sigma_x - \sigma_y)^2}{4} + \tau_{xy}^2} \quad \text{Ecuación 24}$$

Para obtener el esfuerzo cortante máximo en A, se utiliza la Ecuación 23 debido a que solo sufrirá esfuerzos de compresión, mientras que para los esfuerzos cortantes máximos en B se utiliza la Ecuación 24. Los resultados se muestran en la Tabla 10.

**Tabla 10: Resultados esfuerzos principales y cortantes máximos**

Sección	$\sigma_1$ (Psi)	$\sigma_2$ (Psi)	$\tau_{max}$ (Psi)
<b>A</b>	0	-3,653.07	1,826.54
<b>B</b>	113.69	-225.69	169.69

Para poder determinar si la estructura soportará dichos esfuerzos, se calcula el factor de seguridad utilizando la teoría de energía de distorsión para materiales dúctiles, la cual predice que la falla por fluencia ocurre cuando la energía de deformación total por unidad de volumen alcanza o excede la energía de deformación por unidad de volumen correspondiente a la resistencia a la fluencia en tensión o compresión del mismo material. (Budynas & Keith, 2008)

Para cada sección de análisis, se obtienen los esfuerzos planos sufridos. Se calculan los esfuerzos máximos de von Mises ( $\sigma'$ ), los cuales están dados por la Ecuación 25 y el factor de seguridad dado por la Ecuación 26. Donde  $F_y$  es el esfuerzo de fluencia del material, 30kpsi.

$$\sigma' = \sqrt{\sigma_x^2 - \sigma_x\sigma_y + \sigma_y^2 + 3\tau_{xy}^2} \quad \text{Ecuación 25}$$

$$n = \frac{F_y}{\sigma'} \quad \text{Ecuación 26}$$

Los resultados de dicho análisis se muestran en la Tabla 11.

Tabla 11: Esfuerzos von Mises y Factores de seguridad.

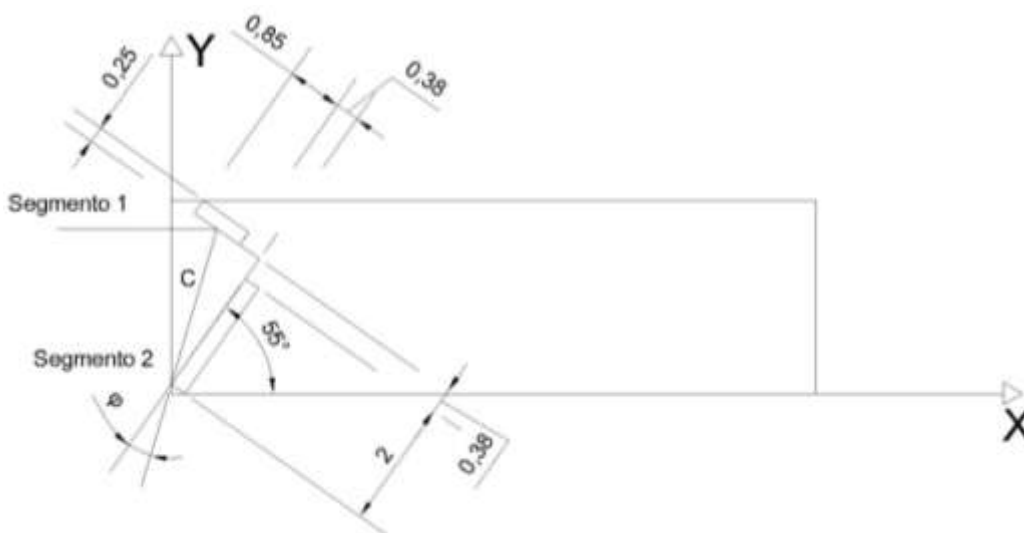
Sección	Esfuerzos de von Mises $\sigma'$ (Psi)	Factor de seguridad $n$
A	3,653.08	8.21
B	298.90	100.367

Como se observa, el material posee un factor de seguridad menor de 8.21 en la sección A, lo que demuestra que la estructura soportará dichos esfuerzos.

### Esfuerzos en soldaduras

Rotando el elemento de apoyo  $35^\circ$  a favor del sentido del reloj se tiene la ilustración 43, la cual muestra la configuración de los segmentos de soldadura 1 y 2, con sus respectivos ángulos. Se establecen los ejes X y Y los cuales sirven como referencia para calcular los centroides de los cordones de la soldadura, con respecto a la estructura, los cuales son necesarios para determinar los esfuerzos sufridos en la soldadura. En la siguiente ilustración se define C, como el vector que hay del extremo del segmento 2 al centroide del segmento 1, el cual es de 2.50", y el ángulo  $\phi$  es el formado entre el vector C, y el segmento 2. Para determinar el vector c, se utilizó el teorema de Pitágoras teniendo en cuenta las distancias de los demás catetos y utilizando la función trigonométrica tangente, se obtuvo el ángulo  $\phi$  que es equivalente a  $18.61^\circ$ .

Ilustración 43: Elementos con dimensiones



Cabe mencionar que existe una separación de 3/8" paralela al lado longitudinal de cada segmento, ya que se tiene como restricción debido al perfil utilizado en la estructura. Los detalles de las dimensiones de los cordones de soldadura se muestran en la Tabla 12.

Tabla 12: Características de los cordones de soldadura

Segmento	Ancho (in)	Largo (in)	A (in <sup>2</sup> )	x (in)	y (in)
1	0.25	0.85	0.50	0.57	0.82
2	0.25	2.00	0.21	0.70	2.40

En la Ilustración 44, se muestra las distancias a los centroides de cada segmento de soldadura  $G_1$  y  $G_2$ , respectivamente, el centroide del conjunto de soldaduras  $G$  con respecto a los ejes establecidos. Teniendo el vector  $C$ , se utilizan las funciones trigonométricas seno y coseno del ángulo formado por la suma de  $\phi$  y  $55^\circ$  para obtener las distancias  $x_1$  y  $y_1$ . Utilizando las ecuaciones 27 y 28 obtenidas de (Beer, 2010), se determina el centroide de los segmentos. Los resultados se muestran en la

Tabla 13.

$$x \quad A = \quad (xA)$$

Ecuación 27

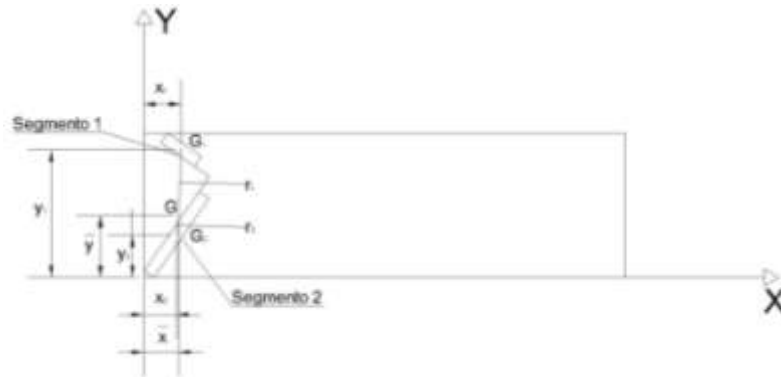
$$y \quad A = \quad (yA)$$

Ecuación 28

Tabla 13: Posición centroide

	x (in)	y (in)
<b>Centroide</b>	0.61	1.29

Ilustración 44: Centroides de soldadura



Habiendo determinado el centroide de los segmentos, se procede a determinar el momento de inercia necesario para el análisis de esfuerzos debido a los momentos sufridos en la estructura. Debido a que los elementos están rotados, se utilizan las siguientes ecuaciones, donde  $I_x$  e  $I_y$ , son los momentos de inercia del segmento con respecto al eje  $x$  y  $y$  respectivamente,  $\theta$  es el ángulo rotado de  $35^\circ$  en contra de las manecillas del reloj,  $I_{xy}$  es el producto de inercia con respecto a los ejes  $x$  y  $y$ ,  $b$  es el ancho del cordón de la soldadura y  $h$  es la longitud del cordón en el segmento a analizar. (Gere, 2006)

$$I_{x_n} = \frac{I_{x_n} + I_{y_n}}{2} + \frac{I_{x_n} - I_{y_n}}{2} \cos 2\theta - I_{xy_n} \sin 2\theta$$

Ecuación 29

$$I_{y_n} = \frac{I_{x_n} + I_{y_n}}{2} - \frac{I_{x_n} - I_{y_n}}{2} \cos 2\theta + I_{xy_n} \sin 2\theta$$

Ecuación 30

$$I_x = \frac{bh^3}{3}$$

Ecuación 31

$$I_y = \frac{hb^3}{3}$$

Ecuación 32

$$I_{xy} = \frac{bh^2}{4}$$

Ecuación 33

Con las ecuaciones anteriores, se obtienen los resultados mostrados en la Tabla 14.

Tabla 14: Momentos de inercia

Segmento	IX (in4)	IY (in4)	IXY (in4)	I <sub>x<sub>n</sub></sub> (in4)	I <sub>y<sub>n</sub></sub> (in4)
1	66.7x10 <sup>-2</sup>	1.04x10 <sup>-2</sup>	6.25x10 <sup>-2</sup>	57.1x10 <sup>-2</sup>	10.6x10 <sup>-2</sup>
2	5.12x10 <sup>-2</sup>	0.44x10 <sup>-2</sup>	1.13x10 <sup>-2</sup>	4.05x10 <sup>-2</sup>	1.51x10 <sup>-2</sup>

Habiendo obtenido los momentos de inercia se obtiene el segundo momento polar del área  $J_G$ , el cuál está definido por la Ecuación 34, donde A es el área de la soldadura,  $r_n$  es la distancia desde el centroide del segmento  $G_n$  al centroide G y J es el segundo momento polar del área del grupo de soldaduras.

$$J_G = I_x + I_y \quad r_n^2 = (x_n - x)^2 + (y_n - y)^2 \quad J = J_{G_1} + A_1 r_1^2 + (J_{G_2} + A_2 r_2^2)$$

Ecuación 34

Ecuación 35

Ecuación 36

Utilizando las ecuaciones antes descritas, se obtienen los siguientes resultados mostrados en la Tabla 15.

Tabla 15: Segundo momento de inercia

Segmento	$J_G$ (In <sup>4</sup> )	$r_n$ (in)	J (In <sup>4</sup> )
1	67.71x10 <sup>-2</sup>	4.74 x10 <sup>-1</sup>	11.10 x10 <sup>-1</sup>
2	5.56x10 <sup>-2</sup>	11.16 x10 <sup>-1</sup>	

Las soldaduras sufren un cortante primario  $\tau'$  ocasionado por las fuerzas cortantes V en el área total  $A_T$  el cual se observa en la Ecuación 37. Al mismo tiempo, el momento en el soporte produce un cortante secundario o una torsión de las soldaduras (Budynas & Keith, 2008). Dicho esfuerzo se muestra en la Ecuación 38, donde M es el momento máximo y r es la distancia desde el centroide del grupo de soldaduras hasta el punto en la soldadura de interés, en este caso, el centroide de cada segmento.

$$\tau' = \frac{V}{A_T}$$

Ecuación 37

$$\tau'' = \frac{Mr}{J}$$

Ecuación 38

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2}$$

Ecuación 39

$$n = \frac{S_{SY}}{\tau} = \frac{0.557S_Y}{\tau}$$

Ecuación 40

Habiendo obtenido los cortantes primarios y secundarios, se obtiene la magnitud del cortante utilizando la ecuación de Pitágoras como se muestra en la Ecuación 39. Para obtener el factor de seguridad, se utilizó el análisis del método convencional para el metal de aporte, se tiene la Ecuación 40 donde  $S_y$  es la resistencia a la fluencia del electrodo la cual es de 50ksi. Los resultados se muestran en la Tabla 16.

**Tabla 16: Resultados esfuerzos y factor de seguridad**

Segmento	$\tau'$ (psi)	$\tau''$ (ksi)	$\tau$ (ksi)	Resistencia a la fluencia (ksi)	Factor de seguridad (n)
<b>1</b>	252.92	1.482	1.504	50	18.78
<b>2</b>		3.489	3.498		7.98