

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA



**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS  
PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN  
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

PRESENTADO POR:

**DIEGO GERARDO ARRIOLA TRIGUEROS**

**MANUEL DE JESÚS AVALOS SOTO**

**HUGO HEMBERTO MIRANDA ALEMÁN**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, ABRIL 2018.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**

**RECTOR :**

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS**

**SECRETARIA GENERAL :**

**M.Sc. CRISTOBAL HERNÁN RÍOS BENÍTEZ**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

**DECANO :**

**ING. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**SECRETARIO :**

**ING. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DIRECTOR :**

**ING. RIGOBERTO VELÁSQUEZ PAZ**

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS  
PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN  
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Presentado por :

**DIEGO GERARDO ARRIOLA TRIGUEROS**

**MANUEL DE JESÚS AVALOS SOTO**

**HUGO HEMBERTO MIRANDA ALEMÁN**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. LUIS JOSÉ SALALÁ SANTOS**

San Salvador, abril 2018.

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**ING. LUIS JOSÉ SALALÁ SANTOS**



## **AGRADECIMIENTOS**

Ha sido un largo viaje, lleno de muchas dificultades y tristezas que solo con la ayuda de Dios se han podido sobrellevar, y sin duda alguna un caminar lleno de muchas alegrías y experiencias compartidas.

Agradecemos primeramente a Dios por traernos hasta este punto de nuestra formación profesional, por saber guiarnos en todo momento y brindarnos la inteligencia y discernimiento para la toma de decisiones.

A nuestros padres por su apoyo incondicional, por confiar plenamente en que cada uno de nosotros podría lograr lo que nos propusiéramos, y sobre todo por amarnos en todo momento y darnos esas palabras que nos motivaban a seguir adelante.

A todos nuestros hermanos(a) y familiares que de una u otra manera influyeron siempre en abono de nuestra formación.

A nuestras novias y amigos por su apoyo en todo momento, brindando esas palabras que impulsaban a dar lo mejor si cada día y hacer ver que, aunque las pruebas eran difíciles con la ayuda de Dios todo era posible.

Agradecemos a todo el personal de la unidad productiva de la Escuela de Ingeniería Mecánica, por instruirnos en cada tarea que debíamos realizar para la fabricación de nuestro proyecto y sobre todo por cada consejo que recibimos en bien de nuestra formación y aprendizaje para nuestra vida laboral.

Gracias a todos los docentes que durante toda la carrera pusieron su granito de arena compartiendo su conocimiento con todos nosotros y por preocuparse por formar excelentes profesionales y sobre todo excelentes personas para la sociedad.

A nuestro asesor Ing. Luis Salalá por apoyarnos en este trabajo de grado brindando su conocimiento y ayudando en la búsqueda de soluciones eficientes a los problemas que a lo largo de la ejecución de este proyecto se presentaron.

De manera muy especial dedicamos este triunfo a todas esas personas que marcaron nuestra vida amigos y familiares, y que ahora ya se encuentran en la presencia del Dios, pero que durante su vida terrenal nos apoyaron en todo momento y confiaron en nosotros.

¡GRACIAS TOTALES!!

Manuel, Diego y Hugo

# **Contenido**

SIMBOLOGÍA.....	i
INTRODUCCIÓN.....	iii
1. MARCO TEÓRICO.....	1
1.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO.....	1
1.2. Concepto de MCIA.....	1
1.2.1. Elementos de un MCIA.....	2
1.2.2. Términos importantes.....	3
1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA POR SU ESTRUCTURA CONSTRUCTIVA.....	5
1.3.1. Motor de dos tiempos.....	5
1.3.2. Motor de cuatro tiempos.....	7
1.4. CICLO TERMODINÁMICO.....	8
1.4.1. CICLO OTTO.....	10
1.5. BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES.....	12
1.5.1. Generalidades.....	12
1.5.2. Clasificación de Bancos de Prueba para motores de combustión.....	13
1.5.3. Normas para Ensayos.....	18
1.5.4. Componentes del Banco de Pruebas.....	19
1.6. PARÁMETROS A MEDIR.....	21
1.6.1. Régimen de giro angular.....	21
1.6.2. El par de torsión.....	23
1.7. CURVA PAR – VELOCIDAD.....	24
1.7.1. Curvas características de un MCI.....	24
1.7.2. SELECCIÓN DEL MODELO A UTILIZAR.....	27
1.8. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO.....	27
1.8.1. SISTEMAS DE CONTROL.....	27
1.8.2. Tipos de entradas.....	28
1.8.3. Tipos de Controladores.....	30
2. PROCESO DE DISEÑO.....	39
2.1. DISEÑO CONCEPTUAL.....	40
2.2. SELECCIÓN DEL MOTOR.....	40

2.2.1.	MOTOR KOHLER .....	42
2.2.2.	MOTOR HONDA .....	43
2.2.3.	SELECCIÓN FINAL.....	44
2.3.	SISTEMA DE FRENO .....	45
2.3.1.	SELECCIÓN DE FRENO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO .....	45
2.3.2.	TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN.....	49
2.3.3.	VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO.....	49
2.3.4.	MANGUERAS HIDRÁULICAS REFORZADA.....	50
2.4.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA .....	50
2.4.1.	SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR ACOPLÉ DIRECTO.....	50
2.4.2.	SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO MOTOR-FRENO .....	51
2.5.	SISTEMA DE SENSORES Y ACTUADORES .....	53
2.5.1.	SELECCIÓN DE SENSORES .....	53
2.5.2.	SELECCIÓN DE ACTUADOR .....	57
2.6.	ANÁLISIS DE VIBRACIONES .....	58
2.6.1.	ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN MOTOR KOHLER SH265 .....	64
2.7.	ANÁLISIS DE LA ESTRUCTURA .....	69
2.7.1.	ANÁLISIS DE CARGAS DE LA PLACA DE SOPORTE DE MOTOR.....	71
2.7.2.	ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA PLACA DE SOPORTE DEL MOTOR .....	75
2.7.3.	ANÁLISIS DE CARGAS DEL PERFIL ESTRUCTURAL .....	78
2.7.4.	ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL PERFIL ESTRUCTURAL .....	79
2.7.5.	ANÁLISIS DE LA SOLDADURA .....	82
2.8.	SISTEMA DE CONTROL.....	85
2.8.1.	DESCRIPCIÓN.....	85
2.8.2.	ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO .....	85
2.8.3.	DIAGRAMA DE BLOQUES .....	89
2.8.4.	ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONTROL .....	91
3.	PROCESO DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN .....	92
3.1.	FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA .....	92
3.2.	REHABILITACIÓN DEL FRENO HIDRÁULICO .....	94
3.3.	PROCEDIMIENTO DE ARMADO DEL FRENO .....	95
3.4.	FABRICACIÓN DE TAPADERAS DEL BANCO .....	96
3.5.	FABRICACIÓN DE ANCLAJES DEL BANCO.....	96
3.6.	FABRICACIÓN DEL SOPORTE DEL MOTOR DE PASOS .....	97

3.7.	SOLDADURA DE LAS PLACAS DE SOPORTE DEL MOTOR Y FRENO .....	97
3.8.	CORTE Y PERFORACIÓN DE PLACAS QUE SOPORTAN LA BANCADA .....	97
3.9.	COLOCACIÓN DE AISLADORES DE VIBRACIONES MECÁNICAS .....	98
3.10.	FABRICACIÓN DE LA TAPADERA DE MADERA PARA LA PARTE SUPERIOR DEL BANCO .....	98
3.11.	COLOCACIÓN DE ALIMENTACIÓN DE AGUA .....	99
3.12.	ALINEAMIENTO DEL ACOPLAMIENTO DEL FRENO Y EL MOTOR .....	99
3.13.	INSTRUMENTACIÓN DEL BANCO .....	100
3.14.	UBICACIÓN DEL EQUIPO .....	104
4.	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	105
5.	CONCLUSIONES .....	111
6.	RECOMENDACIONES .....	112
7.	BIBLIOGRAFÍA .....	113
8.	ANEXOS .....	115
	TABLAS .....	115
	PRESUPUESTO .....	120
	MANUAL DE OPERACIÓN .....	122
	GUÍA DE LABORATORIO .....	131
	CODIGO DEL MICROCONTROLADOR .....	135
	MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO .....	142
	PLANOS .....	153

## **INDICE DE ILUSTRACIONES**

Figura 1. Elementos de un MCI. ....	2
Figura 2. Esquema interno del cilindro del motor.....	3
Figura 3. Relación de compresión.....	4
Figura 4. Clasificación de los MCI.....	5
Figura 5. Motor con Ciclo Otto a dos tiempos carrera de admisión-compresión.....	5
Figura 6. Motor con ciclo Otto de dos tiempos carrera de expansión-escape de gases.....	6
Figura 7. Motor con Ciclo Otto de cuatro tiempos.....	7
Figura 8. Ejemplo de diagramas P-v para una máquina térmica y un frigorífico.....	9
Figura 9. Esquema de un ciclo Otto de 4 tiempos en un diagrama PV.....	10
Figura 10. Banco de pruebas para motores.....	13
Figura 11. Banco de pruebas para chasis.....	14
Figura 12. Ejemplo de Banco de Pruebas para motores acoplado directamente al eje.....	15
Figura 13. Ejemplo de Banco de Pruebas motor apagado.....	17
Figura 14. Instalación de un motor sobre un freno dinamométrico de tipo hidráulico.....	19
Figura 15. Tacómetro óptico.....	22
Figura 16. Freno de Prony.....	24
Figura 17. Curva Potencia, Par, Consumo específico vs RPM.....	26
Figura 18. La salida del sistema se debe a la interacción de la entrada con el proceso.....	28
Figura 19. Distintos tipos de entradas aplicadas a los sistemas de control.....	28
Figura 20. Elementos de los diagramas de bloque.....	29
Figura 21. Celda de Carga.....	33
Figura 22. Sensor Tacométrico.....	35
Figura 23. Tacómetro Efecto Hall.....	36
Figura 24. Potenciómetro.....	37
Figura 25. Sensor de Error.....	38
Figura 26. Motor de pasos.....	39
Figura 27. Propuesta de Banco de Pruebas.....	40
Figura 28. Motor Kohler SH265.....	43
Figura 29. Motor Honda GX 160.....	44
Figura 30. Curva de Freno Dinamométrico GO POWER D100.....	48
Figura 31. Tubería PVC de 1/2".....	49
Figura 32. Válvula de Bola.....	49
Figura 33. Manguera Hidráulica Reforzada, Fuente internet.....	50
Figura 34. Alineación correcta e incorrecta de un Sistema de Transmisión.....	51
Figura 35. Cable de acero acoplado a la válvula de mariposa del motor de combustión interna.....	58
Figura 36. Controlador EasyDriver V44 A3977.....	58
Figura 37. Montaje elástico de un motor alternativo.....	60
Figura 38. Modelado Estructural de Banco para Pruebas en motores.....	69
Figura 39. Miembros Críticos en Banco de Pruebas.....	70
Figura 40. Ubicación de las placas de soporte del motor.....	71
Figura 41. Diagrama de cuerpo libre de miembro estructural.....	72
Figura 42. Diagrama de cortante de Placa de Soporte.....	73
Figura 43. Diagrama de momento de la Placa de Soporte.....	74
Figura 44. Ubicación de las placas de soporte del motor.....	75
Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de Perfil Estructural.....	78
Figura 46. Esquema simplificado de Sistema de Control.....	86
Figura 47. Flujograma de control.....	88
Figura 48. Diagrama de bloques.....	89
Figura 49. Diagrama de Bloques para un sistema de control con realimentación (Lazo Cerrado).....	90
Figura 50. Esquema de conexión de Sistema de control.....	91
Figura 51. Esquema de la bancada.....	93

Figura 52. Estado del freno Hidráulico. ....	94
Figura 53. Soporte del motor de pasos. ....	97
Figura 54. Fabricación de tapaderas de madera del banco. ....	99
Figura 55. Alineamiento y nivelación del acoplamiento entre el eje del motor y el eje del freno .....	100
Figura 56. Soporte de sensor de las rpm. ....	100
Figura 57. Soporte del imán de las rpm. ....	101
Figura 58. Soporte de la celda de carga. ....	102
Figura 59. Circuito de control armado. ....	102
Figura 60. Caja de madera para el Circuito de control. ....	103
Figura 61. Montaje del circuito y fuente en la caja de madera. ....	103
Figura 62. Ubicación del banco. ....	104
Figura 63. Curva Par-Velocidad .....	108
Figura 64. Curva Potencia-RPM .....	109
Figura 65. Curvas del motor proporcionadas por el fabricante .....	109

## **INDICE DE TABLAS**

Tabla 1. Especificaciones Motor Kohler SH265 .....	42
Tabla 2. Especificaciones Motor Honda GX160 .....	43
Tabla 3. Dinamómetros Hidráulicos .....	46
Tabla 4. Especificaciones de Motor y Freno. ....	52
Tabla 6. Especificaciones de acoplamiento .....	53
Tabla 6. Especificaciones Técnicas de sensor de velocidad angular .....	54
Tabla 7. Especificaciones Técnicas de Celdas de Carga .....	56
Tabla 8. Especificaciones Técnicas Motor Xylotex 24H290-25-4B .....	57
Tabla 9. Datos obtenidos de hoja técnica Motor Kohler SH265 .....	64
Tabla 10. Resumen de datos de material aislante .....	65
Tabla 11. Rangos de Severidad de Vibración.....	67
Tabla 13. Resultados de Prueba.....	105

## SIMBOLOGÍA

$T$ : Temperatura

$V$ : Voltaje, velocidad promedio

$r$ : Relación de compresión de un motor.

$V_1$ : volumen en punto muerto inferior

$V_2$ : volumen en punto muerto superior.

$\eta$ : eficiencia térmica.

$y(t)$ : salida de un diagrama de bloques.

$k_p$ : constante de proporcionalidad.

$e(t)$ : señal de error.

$r(t)$ : señal de entrada de un sistema de control.

$F_y$  : fuerzas en el eje vertical.

$R_A$ : reacción en la placa soporte del motor.

$\theta$  : ángulo de deflexión de placa de soporte del motor.

$\frac{q}{EI}$  : ecuación de deformación de la placa de soporte del motor.

$M$ : momento o par.

$I$ : inercia de un cuerpo.

$\sigma$ : esfuerzo normal debido a flexión.

$\tau$ : esfuerzo cortante debido a torsión.

$V_{max}$ : cortante máximo.

$A$ : área.

$\sigma_{1,2}$ : esfuerzos principales.

$k_a$ : factor superficial en análisis estructural por carga variable.

$S_{se}$ : límite de fatiga teórico.

$n$ : factor de seguridad.

$R_A = R_B$ : reacciones.

$I_u$ : inercia centroidal.

$\bar{y}$ : centroide con respecto al eje y.

rpm: régimen de giro.

G(S): bloque funcional.

H(S): señal de realimentación.

C(S): salida controlada.

$\dot{x}$  : velocidad máxima permitida en vibraciones mecánicas del banco.

E: módulo de elasticidad.

$k_x$ : fuerza elástica.

A: amplitud.

HR: rolado en caliente.

W: peso de platina.

## INTRODUCCIÓN

El documento resume el procedimiento a llevar a cabo en el diseño, construcción e instalación de un banco de pruebas para motores de combustión interna que permita mejorar el aprendizaje de las nuevas generaciones y aportar en la parte práctica de la carrera.

Para la elaboración de un Banco de pruebas para motores de combustión interna, es necesario sentar las bases de varias áreas de la ingeniería mecánica como lo son: el análisis estructural, procesos de fabricación, la termodinámica, programación y motores de combustión interna. Además de profundizar un poco en el área de la automatización que es básica en todos los procesos de producción actuales.

El diseño se lleva a cabo en base a cálculos, así como el uso de herramientas de dibujo en software tipo CAD, hojas de cálculo, simulación de condiciones de operación de los componentes, flujogramas y diagrama de bloques.

La construcción incluyó diferentes áreas como lo son: procesos de torneado y fresado de piezas, corte y soldadura, procesos de pintura, restauración de equipos, entre otras actividades.

Los resultados de las pruebas muestran la tendencia de la curva Torque-velocidad del motor, la cual se compara con la curva proporcionada por el fabricante y se puede decir que los resultados se apegan bastante a los datos del fabricante. No obstante, cabe mencionar que se puede profundizar en el área de control automático para tener un mejor manejo del motor y generar datos con mayor grado de confiabilidad.

## 1. MARCO TEÓRICO

### 1.1. PRINCIPIOS DE FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA ALTERNATIVO

El motor de combustión interna ha evolucionado mucho desde los inicios hasta el día de hoy. Desde los comienzos de esta tecnología donde era desconocido por él, debido a que la máquina de vapor era más competente, hasta el día de hoy donde es el motor más utilizado del mundo para el transporte.

El motor de combustión interna ha mejorado en muchos aspectos: el rendimiento de los motores ha ido en aumento desde el orden del 10% que alcanzaban los primeros motores, hasta el 35% o 40% que se alcanzan hoy en día. El rendimiento de los motores no es el único aspecto que se ha mejorado, sino que, a base de nuevas tecnologías, diversas aplicaciones electrónicas, mejoras en los combustibles, materiales más ligeros y resistentes, etc., se han conseguido potencias elevadas en estos motores térmicos.

Con las nuevas tecnologías se ha mejorado también la vida útil de estos motores, donde hoy en día con la electrónica se intenta optimizar el motor suprimiendo algunas piezas móviles que pueden causar problemas. También de esta manera conseguimos que el mantenimiento del motor sea reducido considerablemente, haciendo de éstos, máquinas más accesibles y reducir costes en la producción y en su mantenimiento.

### 1.2. Concepto de MCIA<sup>1</sup>

Reciben este nombre por tratarse de un movimiento lineal de un pistón que cambia de sentido, y porque transforman la energía química contenida en los combustibles en energía mecánica, más concretamente en el movimiento de un eje.

---

<sup>1</sup> MCIA: Motor de Combustión Interna Alternativo

Los motores alternativos se dividen en dos grandes grupos: los motores de encendido por chispa y los motores de encendido por compresión.

Un motor de combustión interna, motor a explosión, es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la máquina en sí misma.

### 1.2.1. Elementos de un MCIA

En la figura 1 se representa un MCIA. El cilindro es la parte en cuyo interior se moverá el pistón con movimiento rectilíneo alternativo. El cilindro forma parte del bloque del motor o bloque de cilindros. El bloque forma parte de la bancada, formando la estructura principal del motor. En los motores de mayor tamaño, bloque y bancada forman dos piezas separadas, unidas entre ellas por medio de pernos.

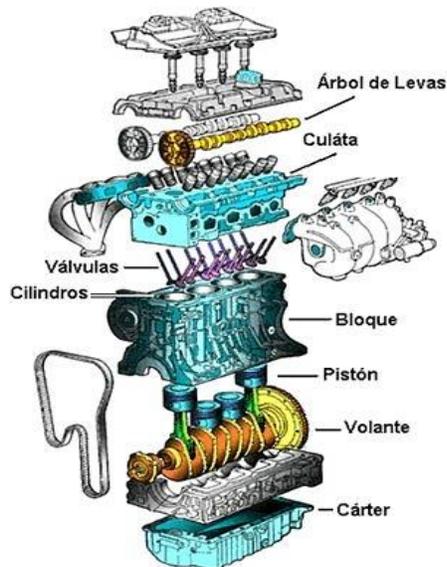


Figura 1. Elementos de un MCIA.

En la parte superior del bloque se encuentra la culata, que cierra al cilindro por la parte superior. El espacio comprendido entre el cilindro, el pistón y la culata es la cámara de combustión, en la cual se produce la combustión de la mezcla del combustible y del aire.

En los motores de encendido por chispa, la mezcla se produce en el carburador y entra por el colector de aspiración al cilindro a través de la válvula de aspiración. Una bujía se encarga de producir la chispa haga que dicha mezcla explosione. En los motores de encendido por compresión, lo que entra a través de la válvula de aspiración es aire, mientras que el combustible es introducido por medio del inyector, produciéndose la combustión.

El pistón incluye unos aros que impiden que los gases escapen entre éste y el cilindro. Cuando se produce la combustión, el pistón transmite el empuje de los gases a la biela, y ésta al cigüeñal, que, mediante la manivela, produce el movimiento rotativo del motor. El cigüeñal se encuentra apoyado en la bancada por medio de los cojinetes de bancada o cojinetes de apoyo.

Los gases producidos por la combustión salen al exterior por medio de la válvula de escape y del colector de escape. Las válvulas de aspiración y de escape están accionadas por la distribución. El eje de distribución o árbol de levas, accionado por el cigüeñal, hace que las levas actúen sobre el conjunto formado por los taqués, los empujadores, y los balancines. La válvula se mantiene en su asiento por el muelle mientras no esté accionada.

### 1.2.2. Términos importantes.

Para poder determinar los datos principales de un motor de combustión se utiliza la terminología que se obtiene a partir de la figura 2.

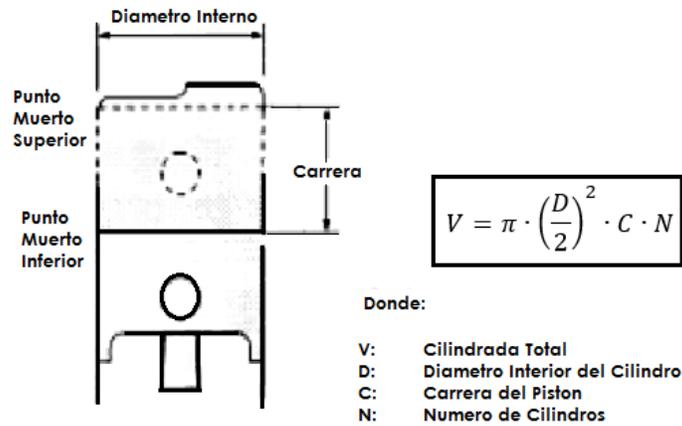


Figura 2. Esquema interno del cilindro del motor.

- *Punto muerto superior (PMS)*: Posición del pistón más próximo a la culata.
- *Punto muerto inferior (PMI)*: Posición del pistón más alejada de la culata.
- *Diámetro*: Se denomina diámetro de un cilindro al diámetro de la circunferencia del cilindro.
- *Carrera*: Es la distancia entre el PMS y el PMI. Es igual al doble del radio de giro de la manivela en el eje del cigüeñal.
- *Volumen total del cilindro*: Es el espacio comprendido entre la culata y el pistón cuando se encuentra en el PMI.
- *Volumen de la cámara de combustión*: Está comprendido entre la culata y el pistón cuando se encuentra en el PMS.
- *Cilindrada*: Es el generado por el pistón en su movimiento alternativo desde el PMS hasta el PMI.
- *Relación de compresión*: Es la relación que hay entre el volumen total del cilindro y el volumen de la cámara de combustión. En la figura 3 se observa como calcular esta relación.

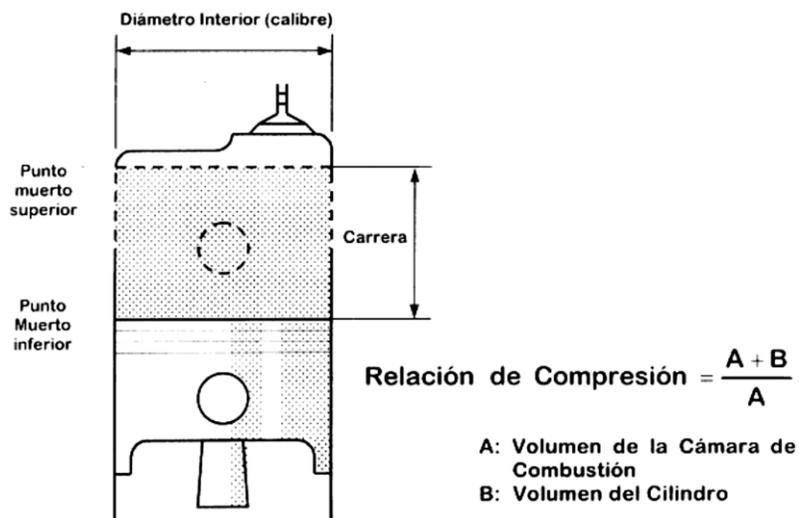


Figura 3. Relación de compresión.

### 1.3. CLASIFICACIÓN DE LOS MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA POR SU ESTRUCTURA CONSTRUCTIVA.

Los motores de combustión interna se pueden clasificar según el siguiente esquema.

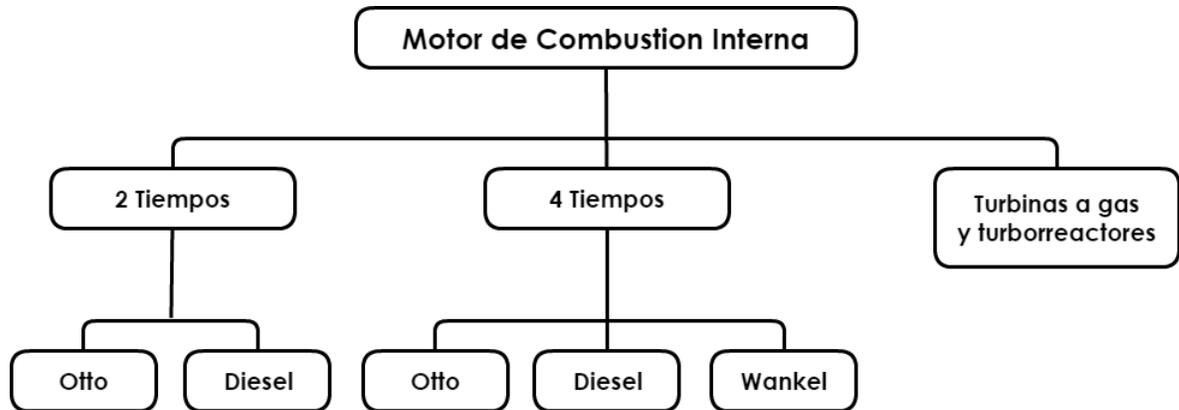


Figura 4. Clasificación de los MCI.

#### 1.3.1. Motor de dos tiempos.

El motor de dos tiempos fue el primer motor de combustión interna que se construyó. La fabricación, mantenimiento y funcionamiento es mucho más sencillo que el motor de cuatro tiempos.

La construcción de un motor de dos tiempos se basa en dos ciclos, el Otto y el Diésel. Siendo el Diésel el menos utilizado hoy en día.

##### 1.3.1.1. Ciclo Otto de 2 tiempos.

Las figuras 5 y 6 muestran las etapas de este ciclo, con la descripción de lo que sucede en cada una de ellas.

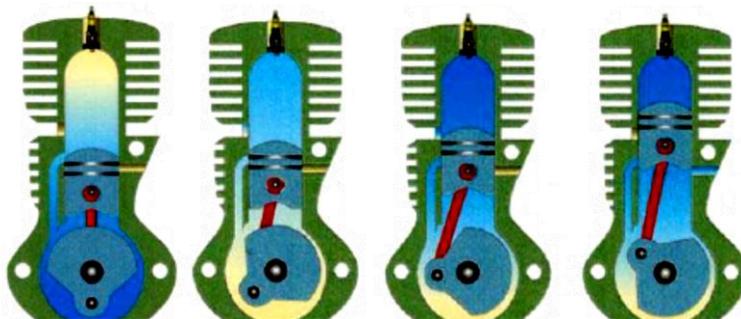


Figura 5. Motor con Ciclo Otto a dos tiempos carrera de admisión-compresión.

1er tiempo: Admisión – compresión: Cuando el pistón está en el punto más bajo, es decir en el Punto Muerto Inferior (PMI), empieza el proceso de admisión. La lumbrera de admisión deja pasar el carburante (aire y combustible) hacia el cilindro. Una vez aspirado el carburante el pistón va ascendiendo mientras comprime la mezcla.

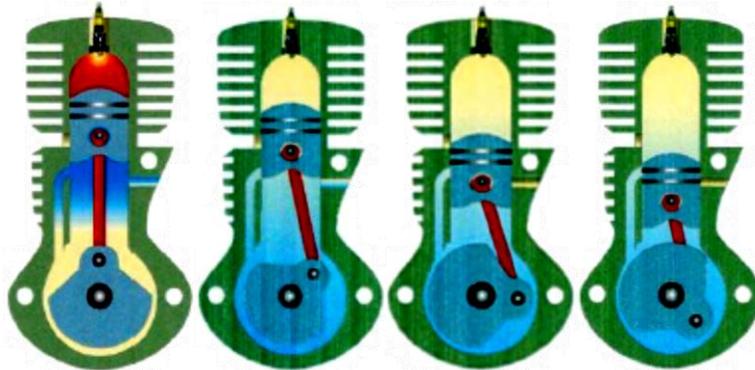


Figura 6. Motor con ciclo Otto de dos tiempos carrera de expansión-escape de gases.

2º tiempo: Expansión - escape de gases: En el momento que el pistón está en el punto más alto, es decir, el Punto Muerto Superior (PMS), la bujía (en caso del ciclo Otto) hace saltar una chispa que enciende la mezcla, incrementando la presión en el cilindro y hace desplazar al pistón hacia abajo. Cuando está a la altura de la lumbrera de escape, la propia presión de los gases tiende a salir del cilindro, dejando al cilindro vacío para volver a empezar un nuevo ciclo.

Como se observa, este motor hace un trabajo en cada revolución, es decir una explosión en cada vuelta del cigüeñal. Esto crea una mayor potencia frente a los motores de cuatro tiempos que hacen una explosión cada dos vueltas del motor. Además, en comparación con los motores de 4 tiempos, este motor incorpora menos piezas móviles como las válvulas, levas, árbol de levas, etc., y su funcionamiento es más sencillo.

Este tipo de motor, hoy en día aún se utiliza, aunque en aplicaciones de pequeña cilindrada como: ciclomotores, cortacésped, motosierras, etc.

El combustible utilizado en el motor Otto de dos tiempos, al igual que en el ciclo Otto de cuatro tiempos es la nafta o llamado comúnmente gasolina.

### 1.3.2. Motor de cuatro tiempos

El motor de 4 tiempos fue toda una revolución en el mundo del motor, desde que Alphonse Beau de Rochas ideó este ciclo y más tarde Nikolaus August Otto lo mejoró, han existido muchos cambios que han mejorado su rendimiento lo que lo convierte hoy en día en uno de los motores con mayor utilidad.

#### 1.3.2.1. Ciclo Otto de 4 tiempos

En la figura 7 se observan las diferentes etapas de este ciclo, además se da una descripción de las mismas.

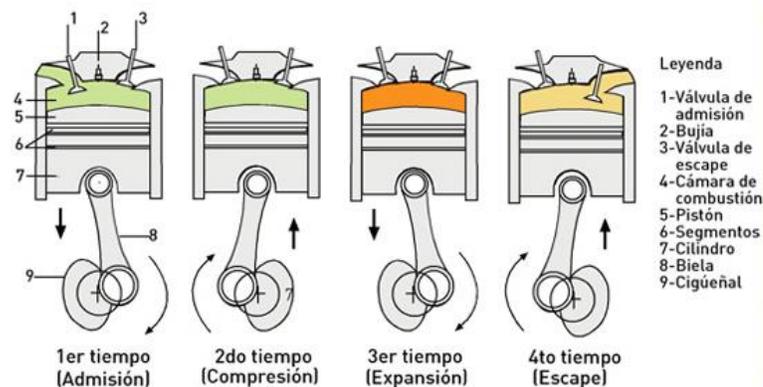


Figura 7. Motor con Ciclo Otto de cuatro tiempos.

- *1er tiempo (Admisión)*: En el momento que el pistón está en el punto más alto (PMS). La válvula de admisión se abre y el propio pistón por el vacío que se crea dentro del cilindro aspira la mezcla (aire y combustible) hasta llegar al punto más bajo del cilindro (PMI).

- *2º tiempo (Compresión)*: Después del ciclo de admisión, el pistón se encuentra en el punto más bajo (PMI), en este momento la válvula de admisión se cierra y el pistón empieza a ascender comprimiendo la mezcla hasta llegar al punto más alto del cilindro (PMS)
- *3er tiempo (Expansión)*: Una vez que en la carrera de compresión se ha reducido el volumen de gas y aumentado su presión, la mezcla, la bujía hace saltar una chispa y enciende la mezcla, aumentando la presión en el cilindro y haciendo descender el pistón hacia el punto más bajo (PMI). En esta carrera de expansión es donde se realiza el trabajo útil.
- *4º tiempo (Escape de gases)*: Cuando el pistón llega al punto más bajo (PMI), se abre la válvula de escape y el pistón empieza a ascender empujando los gases quemados hacia el exterior. En el momento que llega al punto más alto (PMS) la válvula de escape se cierra y se permite que un nuevo ciclo inicie.

#### **1.4. CICLO TERMODINÁMICO**

Se denomina ciclo termodinámico a cualquier serie de procesos termodinámicos tales que, al transcurso de todos ellos, el sistema regresa a su estado inicial; es decir, que la variación de las magnitudes termodinámicas propias del sistema sea nula. Como procesos termodinámicos se conoce a la variación de las propiedades termodinámicas del sistema (presión, entropía, volumen, entalpía y temperatura) desde un estado inicial a un estado final.

Al realizar un ciclo completo, la variación de la energía interna debe ser nula. Por lo tanto, el calor transferido por el sistema debe de ser igual al trabajo realizado por el sistema

(como dicta la primera ley de la termodinámica). Lo importante es que gracias a esta propiedad se puede obtener trabajo de un sistema mediante un aporte calorífico. Si el rendimiento fuese perfecto todo el calor que se suministra se podría transformar en calor, pero esto no es así ya que hay pérdidas de calor.

*Los ciclos termodinámicos permiten:*

a) Convertir calor en trabajo por interacción con dos focos térmicos -Máquinas o Motores térmicos. Se describen en sentido horario (véase figura 8).

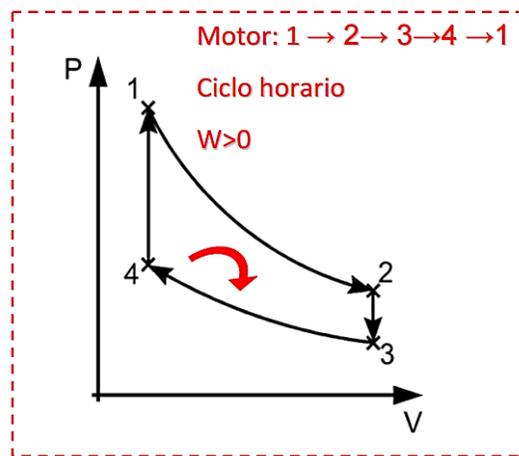


Figura 8. Ejemplo de P-v para una máquina térmica.

b) Pasar calor de un foco frío a otro a mayor temperatura -frigoríficos o bombas de calor.

Los ciclos termodinámicos más comunes son:

- Ciclo Otto
- Ciclo Diésel
- Ciclo Brayton
- Ciclo Carnot
- Ciclo Rankine

En este caso nos centraremos en el ciclo Otto debido a que el tipo de motor al cual se le planea realizar pruebas tiene este tipo de ciclo termodinámico.

### 1.4.1. CICLO OTTO

El ciclo Otto es el ciclo termodinámico que se aplica en los motores de combustión interna de encendido provocado (motores de gasolina). Inventado por Nicolaus Otto en 1876. Se caracteriza porque en una primera aproximación teórica, todo el calor se aporta a volumen constante.

Como se mencionó anteriormente, hay dos tipos de motores que se rigen por el ciclo de Otto, los motores de dos tiempos y los motores de cuatro tiempos. Este último, junto con el motor diésel, es el más utilizado en los automóviles ya que tiene un buen rendimiento y contamina mucho menos que el motor de dos tiempos.

#### 1.4.1.1. Ciclo de 4 tiempos.

El ciclo de 4 tiempos consta de seis procesos (véase figura 9), dos de los cuales (E-A y A-E) no participan en el ciclo termodinámico del fluido operante, pero son fundamentales para la renovación de la carga del mismo:

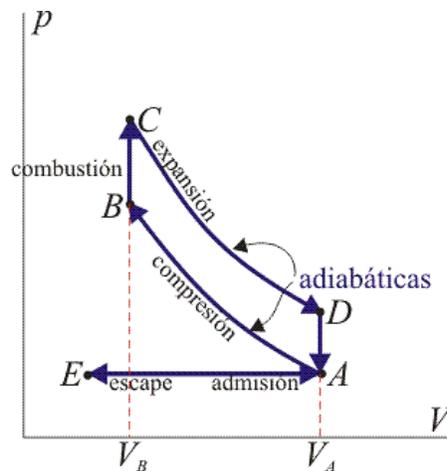


Figura 9. Esquema de un ciclo Otto de 4 tiempos en un diagrama PV.

E-A: admisión a presión constante (renovación de la carga).

A-B: compresión de los gases e isoentrópica.

B-C: combustión, aporte de calor a volumen constante. La presión se eleva rápidamente antes de comenzar el tiempo útil.

C-D: fuerza, expansión isoentrópica o parte del ciclo que entrega trabajo.

D-A: Escape, cesión del calor residual al ambiente a volumen constante.

A-E: Escape, vaciado de la cámara a presión constante (renovación de la carga).

#### **1.4.1.2. Ciclo de 2 tiempos.**

El ciclo termodinámico para este es igual al de 4 tiempos como se muestra en la figura 9, con la única diferencia que cada ciclo se realiza en una vuelta del cigüeñal, en el apartado anterior se definieron las dos etapas que realiza este.

#### **1.4.1.3. Eficiencia en ciclo Otto.**

La eficiencia o rendimiento térmico de un motor de este tipo depende de la relación de compresión, proporción entre los volúmenes máximo y mínimo de la cámara de combustión. Esta proporción suele ser de 8 a 1 hasta 10 a 1 en la mayoría de los motores Otto modernos. Se pueden utilizar proporciones mayores, como de 12 a 1, aumentando así la eficiencia del motor.

Una relación de compresión baja no requiere combustible con alto número de octanos para evitar este fenómeno; de la misma manera, una compresión alta requiere un combustible de alto número de octanos, para evitar los efectos de la detonación, es decir, que se produzca una auto ignición del combustible antes de producirse la chispa en la bujía.

El rendimiento medio de un buen motor Otto de 4 tiempos es de un 25 a un 30%, inferior al rendimiento alcanzado con motores diésel, que llegan a rendimientos del 30 al 45%, debido precisamente a su mayor relación de compresión.

La relación de compresión está dada por:

$$r = \frac{V_1}{V_2}$$

El rendimiento expresado en función de la relación de compresión es:

$$\eta = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}}$$

## 1.5. BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES

### 1.5.1. Generalidades

Los bancos de prueba para motores nacen con la necesidad de cuantificar la potencia que es capaz de producir una máquina. En un principio, con las máquinas de vapor, lo que se buscaba era tener maneras más simples y repetibles de probar mejoras en los sistemas. Con este fin se fabricaban sistemas de fricción hasta con tacos de madera. El principio es disipar de manera controlada la potencia que se produce para así poder cuantificarla. Con el tiempo, estos sistemas se fueron mejorando, permitiendo la estimación de otros parámetros importantes como la eficiencia, la cual refleja el aprovechamiento de las fuentes de energía involucradas. La llegada del automóvil y de los motores de combustión interna hace que la necesidad del banco de pruebas se extienda.

Un banco de pruebas para motores (Figura 10) es una herramienta cuya función es la realización de una serie de mediciones en motores, con el objeto de evaluar sus parámetros de funcionamiento. Principalmente los bancos de pruebas son utilizados por talleres que se dedican a modificar motores de vehículos para aumentar el desempeño del mismo por razones deportivas, realizando pruebas para evaluar la influencia de estas modificaciones en sus prestaciones. También se utilizan comúnmente Bancos de Pruebas con fines didácticos en Institutos Técnicos y Universidades para la obtención de parámetros característicos y curvas de motores de combustión interna.



Figura 10. Banco de pruebas para motores.

### 1.5.2. Clasificación de Bancos de Prueba para motores de combustión

Los bancos de prueba para motores de combustión interna de vehículos más comunes en el mercado, pueden ser clasificados desde dos puntos de vista básicos: según el lugar donde se mide la potencia y torque, y según el principio de medición de dichos parámetros.

#### a) Según el lugar donde se mide la potencia y torque

Según el lugar de medición, los dinamómetros se pueden clasificar en:

*Dinamómetro de chasis:* su principio de funcionamiento, está basado en la medición de potencia y torque en las ruedas del vehículo, es decir, el lugar en donde el vehículo como un todo convierte la potencia y torque provista por el motor en aceleración y movimiento del mismo (Figura 11).



**Figura 11. Banco de pruebas para chasis.**

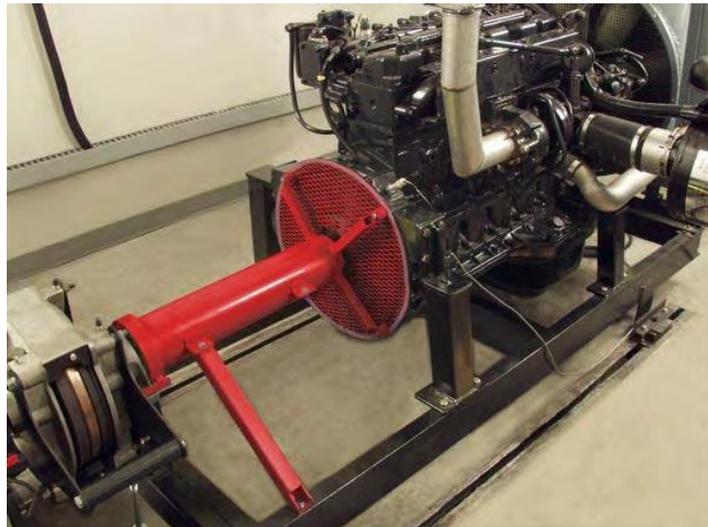
Para realizar dicha medición, comúnmente se utiliza una plataforma de tipo puente que consta de rodillos móviles en donde se hacen las mediciones de torque. El vehículo entra a la plataforma y se estaciona de forma tal de que las ruedas que transmiten potencia queden sobre dichos rodillos. Una vez ubicado el vehículo sobre los rodillos, se le colocan amarres de seguridad para evitar que en un momento dado el mismo pueda salir accidentalmente de la plataforma. Se enciende el vehículo y se acelera de forma tal de que las ruedas hagan mover los rodillos, y luego por medio de una transmisión se lleva la potencia desde los rodillos hasta el freno dinamométrico, dispositivo encargado de disipar la potencia. Luego por medio de una serie de sensores ubicados en el freno dinamométrico y en otros lugares específicos del vehículo, como el escape, se obtienen la data que va a dar los valores característicos del motor y del tren de potencia.

Se recomienda que en el diseño se utilice una transmisión no deslizante, por ejemplo, de correas, para obtener mayor exactitud de resultados. Entre las ruedas del

vehículo y los rodillos debe existir la condición de rodadura sin deslizamiento para evitar pérdidas de potencia por fricción, las cuales implican datos errados en la medición.

Es importante mencionar que, para poder llevar la potencia producida por el motor hasta las ruedas del vehículo, es necesario un sistema de transmisión, en donde se pueden encontrar reducciones o ampliaciones de torque que, aunque son indispensables, producen una serie de pérdidas debido a fricción, deformación de componentes, movimiento de fluidos y lubricantes. Esto se traduce en una menor potencia de salida en las ruedas en comparación con la potencia provista por el motor. Por tanto, medir la potencia en las ruedas tiene la ventaja de que la data obtenida se traduce en el desempeño real efectivo del vehículo.

*Dinamómetro de motor acoplado directamente al eje:* su principio de funcionamiento, está basado en la medición de potencia y torque en el eje de salida del motor, evitando todas las pérdidas de potencia debida a las transmisiones mencionadas en el tipo anterior.



**Figura 12. Ejemplo de Banco de Pruebas para motores acoplado directamente al eje.**

Dicho dispositivo consiste en una base en donde se monta el motor para luego ser probado como se observa en la figura 12. Los apoyos de dicha base deben ser capaces de resistir y disipar las vibraciones mecánicas producidas por el funcionamiento del motor. Estas bases pueden ser universales o no, es decir, pueden estar diseñadas para un solo tipo de motor o ser ajustables para distintos tipos de motor. La potencia se transmite desde el eje del motor hasta el freno dinamométrico por medio de un acoplamiento flexible para evitar problemas de alineación y vibraciones en dicho dispositivo.

Debido a que en este caso el motor está fuera del vehículo, es importante proveerle al mismo una serie de recursos necesarios para su funcionamiento, tales como: un sistema de refrigeración, un sistema de escape, un sistema de control en el caso de motores de inyección electrónica, un sistema de admisión de combustible, un sistema de encendido y carga, entre otros. Lo cual hace más complejo el montaje del motor y la preparación del equipo para la prueba.

La gran ventaja de este dispositivo, es el libre acceso que el operario tiene hacia el motor, lo cual hace más sencillo hacer ajustes al mismo durante el transcurso de la prueba.

#### **b) Según el principio de medición de potencia y torque**

*Inercial:* Consiste en acoplar el eje de potencia a un volante de gran inercia, y medir la variación de la velocidad de giro en función del tiempo. Esta prueba se hace en un régimen transitorio entre la velocidad mínima y máxima permisible del motor. A partir de esta medición es posible obtener la curva de aceleración angular en función de la velocidad de giro, y por medio del momento de inercia del volante es posible obtener el torque y la potencia del motor en función de la velocidad de giro.

*De absorción:* Consiste en acoplar el eje de potencia del motor o transmisión a un dispositivo cuya función es disipar la potencia. El torque y la potencia al freno se miden en

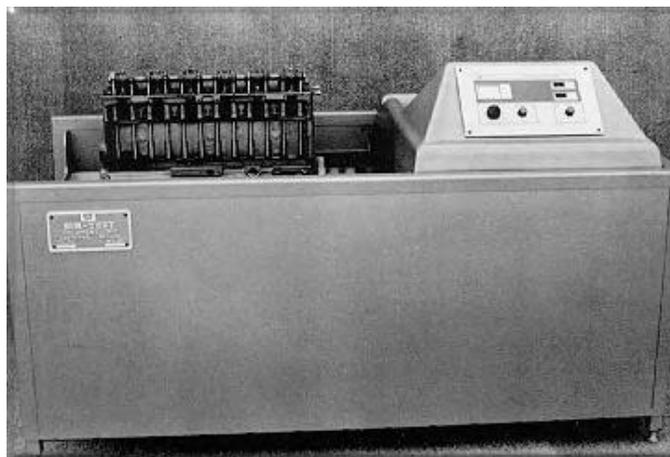
función de la energía disipada por el freno, el cual puede estar basado en distintos principios como hidráulico, de fricción, eléctrico con corrientes parásitas, de agua, neumático, etc. Por medio de este dispositivo es posible mantener el motor funcionando en régimen estacionario a cualquier condición de torque y potencia.

### **Otras opciones para Pruebas en Motores:**

*Banco de prueba a motor apagado:* su principio de funcionamiento, está basado en montar el motor semi-armado en un soporte, y hacerlo girar por medio del uso de un motor auxiliar. En la figura 13 se muestra un banco de este tipo.

Es un dispositivo concebido básicamente para realizar verificación en motores reconstruido, haciendo una serie de pruebas como la medida de la compresión en la cámara y la medida de torque de fricción del motor.

Pruebas dinámicas como medición de torque y potencia del motor en el eje, comportamiento de las temperaturas frente a diversos modelos de carga, son imposibles de realizar por medio de este dispositivo.



**Figura 13. Ejemplo de Banco de Pruebas motor apagado.**

### 1.5.3. Normas para Ensayos

La medida de la potencia efectiva por medio del banco de pruebas o freno, puede hacerse de múltiples formas. La potencia de un mismo motor no sería la misma si se realizase el ensayo con bujías limpias o sucias, platinos excesivamente separados o excesivamente próximos, etc. Por esta razón ajustándose a ciertas normas de las cuales solo indicaremos a continuación las más usuales.

La potencia efectiva de todo motor, deberá llevar indicación de la norma que ha sido utilizada, pues de lo contrario no sería representativa de la potencia real del motor. Así se dirá, por ejemplo: 50 kW SAE, DIN etc., Es preciso recalcar la importancia de esta indicación, considerando que aproximadamente 7,5 kW/DIN equivalen a 10 kW/SAE, siendo los primeros los que el motor va a proporcionar realmente en su trabajo.

**Normas SAE (Society of Automotives Engineers – EE.UU.)** - De acuerdo con estas normas, se ensaya el motor prescindiendo de los accesorios propios del mismo, tales como alternador, ventilador, bomba de agua, etc., que evidentemente consumirán una cierta potencia en el caso de haberse montado en el motor. Se realizan los ensayos a 20 °C y se ajustan en cada régimen los reglajes de encendido y carburación o inyección a su posición óptima.

Es esta, por tanto, la medida más favorable de su potencia, razón por la que es muy usada en el campo comercial.

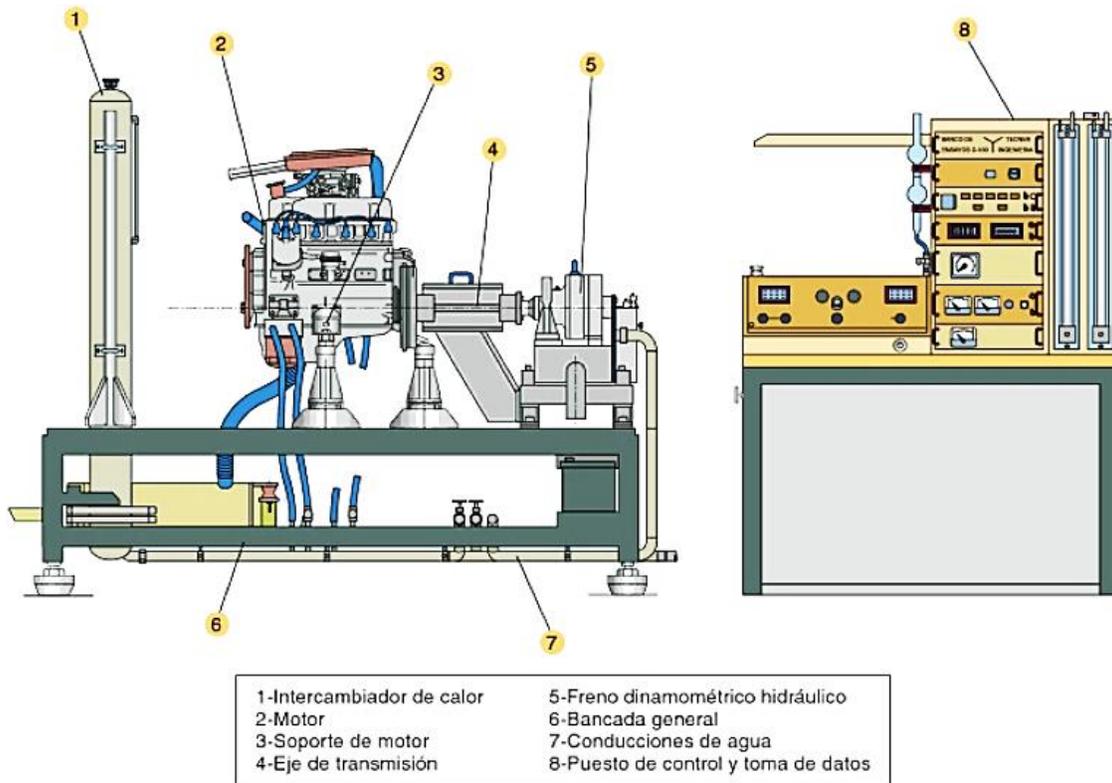
**Normas D.I.N. (Deutsche Industrie Normen – Alemania -)** Según estas normas, el motor se dispone completo en el banco, es decir de la misma forma que será utilizado en un vehículo en serie, con todo el equipo auxiliar que exige su funcionamiento normal. Los reglajes también son los que se utilizan para el montaje en serie del motor.

Esta Potencia es, por tanto, la que mejor expresa el funcionamiento del motor en la realidad.

### ***Correcciones en las Pruebas***

Con la altitud se pierde como término medio un 1 % de potencia por cada 100 metros de altitud. También la temperatura del aire influye en la potencia del motor, como término medio, a partir de 15,5°C por encima o por debajo se pierde un 1 % de potencia por cada 5°C. La humedad del aire aspirado influye también notablemente en la potencia del motor.

### **1.5.4. Componentes del Banco de Pruebas**



**Figura 14. Instalación de un motor sobre un freno dinámico de tipo hidráulico.**

Un banco de ensayos mide determinados parámetros del motor en función de su régimen de giro. Para ello es necesario un freno dinamométrico que pueda generar un par resistente que proporcione una carga al motor. Esta carga ha de poder ser variable a fin de ensayar el motor en cualquier condición de funcionamiento. En la figura 14 se muestran los componentes principales de un banco de pruebas para motores de combustión interna. Dichos componentes son los siguientes:

- **Cuarto de ensayo:** Donde se ubica el motor, el freno y toda la instrumentación necesaria para su ensayo.
- **Sala de control:** Para poder controlar las pruebas sobre el motor son necesarios equipos que monitoricen los parámetros de funcionamiento.
- **Cimentación:** Sobre la cual se instala el banco y ha de absorber las vibraciones y esfuerzos que se generan cuando el motor está en funcionamiento y a su vez se le somete carga a través del freno.
- **Bancada:** Tiene que soportar el motor, el freno, los elementos auxiliares del motor y la instrumentación. La unión entre la bancada y el resto de elementos se realiza por medio de diversos soportes.
- **Motor de ensayo:** Se instala sobre la bancada y al que se le montan todos sus sistemas auxiliares.
- **Freno dinamométrico:** Es el encargado de absorber la potencia del motor y a su vez someterlo a carga. Lleva incorporado un dispositivo que mide el par motor.
- **Transmisión:** Sistema de acoplamiento entre el motor y el freno. Puede ser de muchos tipos: directa (unión volante motor-freno) o con algún sistema de acoplamiento (que

funciona a modo de embrague). Cuando el freno y el motor no están alineados es necesario instalar una junta cardánica para compensar dicha desalineación.

- **Sistema de Ventilación:** Es necesario un sistema que controle la Temperatura en operación del motor, a fin de evitar sobrecalentamientos.
- **Sistema de aspiración de los gases de escape:** Necesario para no llenar de gases tóxicos del cuarto de ensayo. A través de un sistema de aspiración y una manguera flexible se sacan los humos al exterior.
- **Sistema de presurización de la admisión:** Encargado de mantener una determinada presión de admisión.
- **Unidad de control del motor:** Necesaria para su funcionamiento y de la que se van a obtener diferentes parámetros.
- **Sistema de comunicación con la sala de control:** A través de diferentes cables que conectan la instrumentación, la unidad de control del motor, el control del freno.
- **Equipo informático:** Permite programar las pruebas y registrar los datos obtenidos.

## 1.6. PARÁMETROS A MEDIR

### 1.6.1. Régimen de giro angular.

La velocidad aproximada de un motor se mide mediante un tacómetro. Sin embargo, dicho instrumento aun siendo muy preciso, da solamente velocidades instantáneas y variaciones de velocidad. A continuación, se describen algunos de los instrumentos en general utilizados para medir este parámetro.

- *Contadores de revolución.* Son accionados mecánicamente y se emplean para baja velocidad.
- *Tacómetros.* Son accionados mecánica o eléctricamente y empleados para alta velocidad, se emplean junto con transductores electrónicos y mecanismos fototransmisores. En la figura 15 se observa un tacómetro óptico.

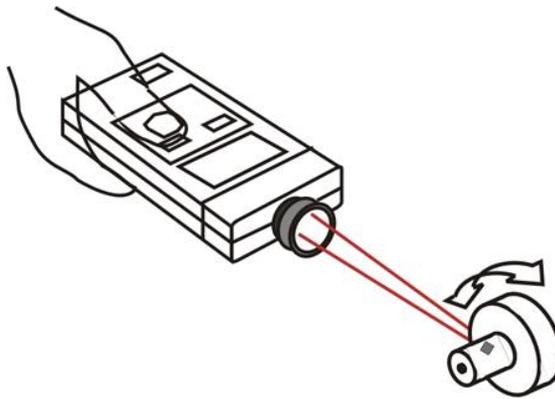


Figura 15. Tacómetro óptico

Si se clasifica por principio de operación los tacómetros, se puede establecer dos grupos, los de contacto y no-contacto. El tacómetro de contacto utiliza un elemento acoplador entre el elemento en rotación y el mismo instrumento de medición, con lo cual le permite activar un mecanismo interno y dependiendo del principio de medición que puede ser *mecánico, óptico o electrónico*.

El tacómetro de no-contacto o llamados también ópticos, utilizan una fuente de luz que apunta hacia el objeto en rotación, en donde previamente se ha colocado una cinta reflectante para que se emita pulsos de luz hacia el foto sensor que tiene el tacómetro, este sensor genera señales eléctricas cada vez que recibe un pulso (esto indica que el elemento ha completado un ciclo de rotación). Dichas señales son enviadas a un contador previamente acondicionado, el cual desplegara en el indicador del tacómetro.

- *Estroboscopios.* Producen un haz intermitente con frecuencia proporcional a la velocidad de rotación, se emplean para alta velocidad y donde las conexiones mecánicas son difíciles.

#### **1.6.2. El par de torsión.**

Es una medida de la habilidad de una máquina para realizar trabajo, en tanto que la potencia es una medida de la razón a la cual se puede efectuar ese trabajo. Expresando esto otra forma, se puede decir que el par de torsión determina si un motor puede impulsar un vehículo ya sea a través de arena o de otros obstáculos. En tanto que la potencia determina que tan rápido puede avanzar el vehículo sobre los obstáculos.

Existen diferentes métodos para medir el torque en el eje de salida de un motor de combustión interna alternativo, entre los más conocidos están el Freno de Prony (Figura 16), el dinamómetro hidráulico y el dinamómetro eléctrico. La utilidad de medir el Torque radica esencialmente en que a partir de él se puede determinar la potencia producida por el motor.

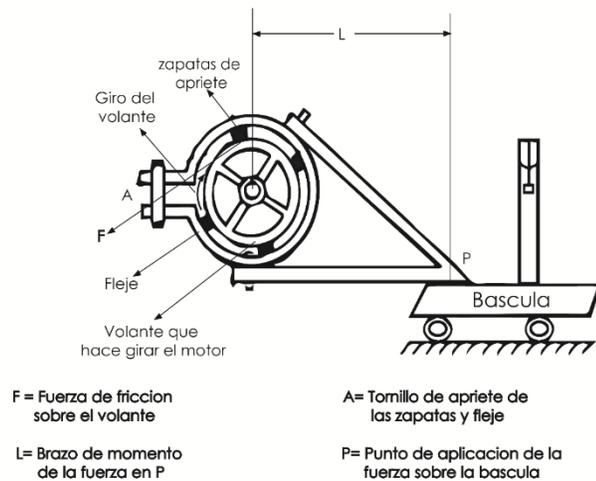


Figura 16. Freno de Prony

## 1.7. CURVA PAR – VELOCIDAD

### 1.7.1. Curvas características de un MCI

Las características más importantes que definen las prestaciones que se obtienen en un motor son *el par motor, potencia y el consumo específico de combustible*. Estos parámetros identifican el tipo de motor proporcionando una referencia (una idea) en cuanto a sus características de funcionamiento (cualidades). El fabricante suministra estos datos obtenidos mediante ensayos en el banco de potencia.

Todas las pruebas que se realizan a los motores tienen que ver con su buen funcionamiento y que cumpla las especificaciones que el fabricante tenga para ese motor. Las pruebas principales son las que sirven para obtener los valores relacionados los parámetros antes mencionados, la representación gráfica de estos tres parámetros analizados anteriormente es lo que se conoce con el nombre de curvas características de un motor.

Estas graficas de curvas representan las variaciones cuantitativas de la potencia, torque y el consumo de combustible en función de la velocidad de giro de un motor.

Las condiciones a las cual va a trabajar el motor se prueban en un dinamómetro, que este opone una resistencia al giro del motor. Este crea un par resistente que es el que proporciona “carga” al motor. Esta carga ha de ser variable para ensayar distintas condiciones operativas del motor.

Las curvas características de un motor se confeccionan a partir de datos obtenidos mediante pruebas de freno dinamométrico. Representan los valores que toman la potencia, el par motor y el consumo específico de combustible a medida que varía el número de revoluciones. La prueba se realiza con un motor a plena carga, el régimen decrece progresivamente al aumentar la resistencia del freno dinamométrico.

**Curva par velocidad.** Representa la evolución del par en función del régimen del motor. Normalmente viene expresado en N\*m y a veces en m\*kg.

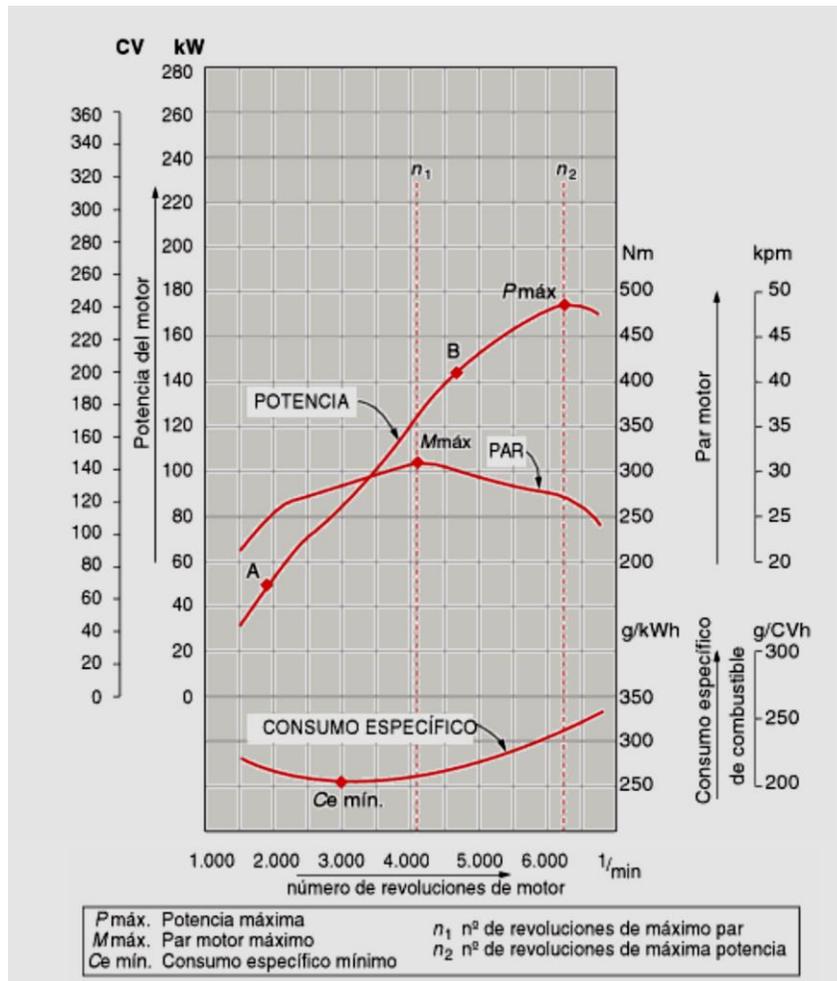


Figura 17. Curva Potencia, Par, Consumo específico vs RPM

La curva asciende a medida que aumenta el número de revoluciones hasta el par máximo ( $M_{\max}$ ) observar figura 17, este punto representa el máximo rendimiento volumétrico. Es decir, el llenado óptimo de los cilindros y, por tanto, la presión media máxima. Al aumentar el régimen, el llenado de los cilindros empeora y el par disminuye, a pesar de que la potencia sigue aumentando, además el par de pérdidas mecánicas del

motor aumenta con el cuadrado del régimen. El régimen de máximo par depende de las características de los conductos de admisión y del diagrama de distribución.

### **1.7.2. SELECCIÓN DEL MODELO A UTILIZAR**

Para la realización del diseño del banco de pruebas de motores de combustión interna, se utilizará un motor de cuatro tiempos con una cilindrada de 200 cc o menos, el cual desarrolla un torque menor a 15 Nm. Las razones de la selección de este motor son debido a que el banco se realiza con fines didácticos además la potencia del motor nos sirve para estimar la potencia del freno a utilizar.

En cuanto al freno del sistema, la potencia del freno debe de ser mayor o igual a potencia del motor a utilizar.

El tipo de freno es hidráulico de Fraude. para la selección de este se tiene la ventaja que el costo no es tan elevado, la potencia de frenado es uniforme, requiere poco mantenimiento, su eficiencia es alta, entre otras.

Con respecto al control del banco se realizará con un microcontrolador, el cual será el encargado de manejar la apertura de la válvula de mariposa del carburador del motor para poder obtener los datos para elaborar la curva par velocidad del motor.

## **1.8. SISTEMA DE CONTROL AUTOMÁTICO**

### **1.8.1. SISTEMAS DE CONTROL**

Un sistema de control automático es una interconexión de elementos que forman una configuración denominada sistema, de tal manera que el arreglo resultante es capaz de controlarse a sí mismo o a otro sistema.

Un sistema o componente del sistema susceptible de ser controlado, al cual se le aplica una señal  $r(t)$  a manera de entrada para obtener una respuesta o salida  $y(t)$ , puede representarse mediante bloques (Figura 18).

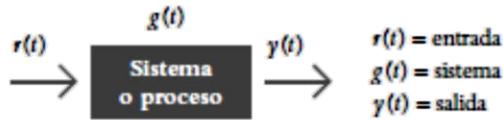


Figura 18. La salida del sistema se debe a la interacción de la entrada con el proceso

El vínculo entrada-salida es una relación de causa y efecto con el sistema, por lo que el proceso por controlar (también denominado planta) relaciona la salida con la entrada.

### 1.8.2. Tipos de entradas

Las entradas típicas aplicadas a los sistemas de control son: escalón, rampa e impulso, según se muestra en la figura 19.

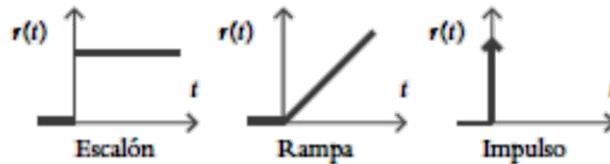


Figura 19. Distintos tipos de entradas aplicadas a los sistemas de control

La entrada escalón indica un comportamiento o una referencia constantes introducidos al sistema, mientras que la entrada rampa supone una referencia con variación continua y proporcional al tiempo. La entrada impulso se caracteriza por ser una señal de prueba con magnitud muy grande y duración muy corta. La función respuesta o función de transferencia es la representación matemática del sistema.

El significado físico de los diversos tipos de entradas aplicadas a los sistemas de control se interpreta así. La entrada escalón le indica al sistema una referencia o un comportamiento constante: por ejemplo, nivel, temperatura, posición, etcétera. La entrada rampa supone una referencia que modifica su posición con respecto al tiempo, lo que equivale a una velocidad constante; por ejemplo, el cambio de posición de la Tierra con

respecto al Sol. La entrada parabólica sugiere una referencia que varía su velocidad, esto es, imprime una aceleración constante.

Básicamente, el problema de control consiste en seleccionar y ajustar un conjunto específico de elementos tal que, al interconectarse, el sistema resultante deberá comportarse de una manera específica.

### 1.8.2.1. Representación en diagrama de bloques

La representación de los sistemas por medio de diagramas de bloques se utiliza para describir, gráficamente, las partes de las que consta un sistema, así como sus interconexiones.

El bloque en sí contiene la descripción, el nombre del elemento o el símbolo de la operación matemática que se ejecuta sobre la entrada  $r(t)$  para producir la salida  $y(t)$  (figura 20a). El punto de suma se utiliza cuando a un bloque se le aplican dos o más entradas, en tanto que el bloque se sustituye por un círculo, cuya salida representa la suma algebraica de las entradas (figura 20b). El punto de reparto, representado por un punto, se usa cuando una señal se bifurca para aplicarse a más de un bloque (figura 20c).

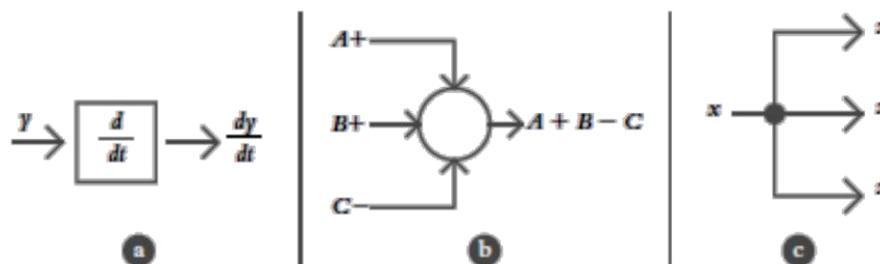


Figura 20. Elementos de los diagramas de bloque

Para ejercer el control en un sistema deben existir al menos dos variables, las cuales son: *Variable controlada* y *señal de control* o *variable manipulada*. La variable controlada

es la cantidad o condición que se mide y controla. La señal de control o variable manipulada es la cantidad o condición que el controlador modifica para afectar el valor de la variable controlada.

Normalmente, la variable controlada es la salida del sistema. Controlar significa medir el valor de la variable controlada del sistema y aplicar la variable manipulada al sistema para corregir o limitar la desviación del valor medido respecto del valor deseado.

Dentro de los sistemas se generan perturbaciones, las cuales son señales que afectan negativamente el valor de la salida de un sistema. Dichas perturbaciones pueden ser internas o externas. En el caso de que una perturbación sea externa es una entrada del sistema.

### **1.8.3. Tipos de Controladores**

**Sistemas de control realimentados.** Un sistema que mantiene una relación determinada entre la salida y la entrada de referencia, comparándolas y usando la diferencia como medio de control, se denomina *sistema de control realimentado*. Los sistemas de control realimentados pueden ser llamados también como sistemas de control de lazo cerrado.

**Sistemas de control en lazo abierto.** Los sistemas en los cuales la salida no tiene efecto sobre la acción de control se denominan *sistemas de control en lazo abierto*. En otras palabras, en un sistema de control en lazo abierto no se mide la salida ni se realimenta para compararla con la entrada.

#### **1.8.3.1. Controlador de acción Proporcional (P)**

En estos controladores la señal de accionamiento es proporcional a la señal de error del sistema. La Señal de error es la obtenida en la salida del comparador entre la señal de referencia y la señal realimentada. Es el más sencillo de los distintos tipos de control y

consiste en amplificar la señal de error antes de aplicarla a la planta o proceso. La función de transferencia de este tipo de reguladores es una variable real, denominada  $K_p$  (constante de proporcionalidad) que determinará el grado de amplificación del elemento de control. Si  $y(t)$  es la señal de salida (salida del controlador) y  $e(t)$  la señal de error (entrada al controlador), en un sistema de control proporcional se tendrá en el dominio de Laplace

$$y(t) = K_p \cdot e(t)$$

$$Y(s) = K_p \cdot E(s)$$

Por lo que su función de transferencia será:

$$G(s) = \frac{Y(s)}{E(s)} = K_p$$

Donde  $Y(s)$  es la salida del regulador o controlador,  $E(s)$  la señal de error y  $K_p$  la ganancia del bloque de control.

Teóricamente, en este tipo de controlador, si la señal de error es cero, también lo será la salida del controlador. La respuesta, en teoría es instantánea, con lo cual el tiempo no intervendría en el control. En la práctica no ocurre esto, si la variación de la señal de entrada es muy rápida, el controlador no puede seguir dicha variación y presentará una trayectoria exponencial hasta alcanzar la salida deseada. En general los reguladores proporcionales (P) siempre presentan una respuesta con un cierto error remanente, que el sistema es incapaz de compensar.

### 1.8.3.2. Elementos de Medición

*Transductor:* Un transductor es un dispositivo que transforma un tipo de variable física (por ejemplo, fuerza, presión, temperatura, velocidad, etc.) en otro.

*Un sensor:* es un transductor que se utiliza para medir una variable física de interés. Algunos de los sensores y transductores utilizados con más frecuencia son los calibradores de tensión (utilizados para medir la fuerza y la presión), los termopares (temperaturas), los velocímetros (velocidad).

Cualquier sensor o transductor necesita estar calibrado para ser útil como dispositivos de medida. La calibración es el procedimiento mediante el cual se establece la relación entre la variable medida y la señal de salida convertida. Los transductores y los sensores pueden clasificarse en dos tipos básicos, dependiendo de la forma de la señal convertida. Los dos tipos son:

- Transductores analógicos
- Transductores digitales

Los transductores analógicos proporcionan una señal analógica continua, por ejemplo, voltaje o corriente eléctrica. Esta señal puede ser tomada como el valor de la variable física que se mide.

Los transductores digitales producen una señal de salida digital, en la forma de un conjunto de bits de estado en paralelo o formando una serie de pulsaciones que pueden ser contadas. En una u otra forma, las señales digitales representan el valor de la variable medida. Los transductores digitales suelen ofrecer la ventaja de ser más compatibles con las computadoras digitales que los sensores analógicos en la automatización y en el control de procesos.

### 1.8.3.3. Sensor de Fuerza

#### *Celda de Carga*

Una galga extensiométrica o de deformación es un sensor, para medir la deformación, presión, carga, torque, posición, entre otras cosas, que está basado en el efecto piezoresistivo, el cual es la propiedad que tienen ciertos materiales de cambiar el valor nominal de su resistencia cuando se les somete a ciertos esfuerzos y se deforman en direcciones de los ejes mecánicos. Un esfuerzo que deforma la galga producirá una variación en su resistencia eléctrica y esta variación puede ser por el cambio de longitud, el cambio original en la sección o el cambio generado en la resistividad.

Cuando se selecciona una galga de deformación, no solamente se debe de considerar sus características de deformación, sino también su estabilidad y sensibilidad a la temperatura. Ya que, desafortunadamente, los materiales más deseables para las galgas son también los más sensibles al cambio de temperatura y tienden a cambiar su característica con el paso del tiempo. Para pruebas de corta duración esto puede no ser un problema, pero para mediciones prolongadas es un gran problema. Por lo tanto, se debe de incluir compensación de temperatura y desviación.

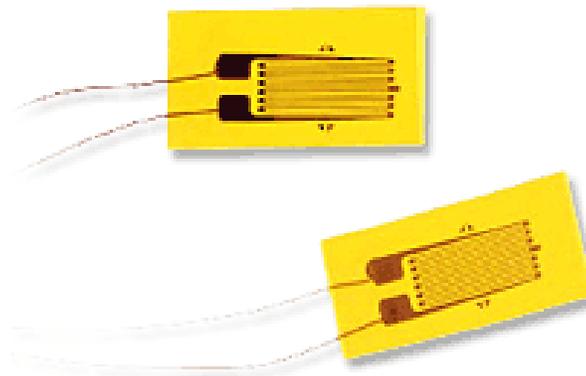


Figura 21. Celda de Carga

La galga de deformación ideal es pequeña en tamaño y masa (Figura 21), de bajo costo, fácil de colocar, con alta sensibilidad de deformación, pero insensible a la temperatura ambiente y variación de procesos.

La salida de las galgas es un voltaje pequeño. Esto lo hace susceptible a ruido no deseado de los dispositivos eléctricos. Se pueden producir errores por: los campos electromagnéticos y efectos por temperatura. La suma de todo esto puede resultar en unas significativas degradaciones de señal.

### ***Sensor Piezoeléctricos***

Además de las galgas de deformación, para la medición de fuerza también se puede utilizar sensores piezoeléctricos. La principal diferencia entre estos es que la señal eléctrica generada por el cristal de material piezoeléctrico disminuye rápidamente después de que se le aplico la fuerza. Esto hace que sea útiles para medición de fuerzas estáticas.

Se requiere almacenamiento digital para permitir el análisis de la información antes de que la señal disminuya. Dependiendo de la aplicación, se pueden medir fuerzas dinámicas a compresión, tensión y torque. Un sensor de fuerza piezoeléctrico es casi tan rígido como un pedazo de metal de igual proporción. Esta característica permite insertar los sensores directamente en estructuras de máquinas. Su rigidez hace que tengan una frecuencia natural alta y su rápido tiempo de subida los hacen ideales para mediciones rápidas tal como impactos metal con metal y vibraciones a altas frecuencias a medir.

Una de las desventajas de los sensores piezoeléctricos es que no se pueden utilizar para mediciones verdaderamente estáticas. Una fuerza estática dará lugar a una cantidad fija de cargas en el material piezoeléctrico. Durante el trabajo con la electrónica convencional de lectura, materiales aislantes imperfectos, y reducción de la resistencia interna del sensor se traducirá en una pérdida constante de electrones, y emitir una señal decreciente. Las temperaturas elevadas causan una caída adicional en la resistencia

interna y la sensibilidad. El efecto principal en el efecto piezoeléctrico es que, con el aumento de las cargas de presión y temperatura, la sensibilidad se reduce. Aunque los sensores de cuarzo necesitan ser enfriados durante las mediciones, puesto que alcanzan temperaturas superiores a 300 ° C.

#### 1.8.3.4. Sensor de velocidad

La velocidad aproximada de un motor se encuentra mediante un tacómetro. Sin embargo, dicho instrumento aun siendo muy preciso, mide solamente velocidades instantáneas y variaciones de velocidad. A continuación, se describen algunos de los instrumentos en general utilizados para medir este parámetro.

Si se clasifica por principio de operación los tacómetros, se puede establecer dos grupos: los de contacto y no-contacto. El tacómetro de contacto utiliza un elemento acoplador entre el elemento bajo rotación y el mismo instrumento de medición, con lo cual le permite activar un mecanismo interno, dependiendo del principio de medición, que puede ser *mecánico, óptico o electrónico*.

#### **Sensores Tacométricos**

Se encargan de medir la velocidad angular. Estos miden la frecuencia de impulsos de cualquier tipo de señal, que generalmente es de tipo fotónica por su fácil manejo ante la oposición al paso de luz. En la figura 22 se observa un sensor de este tipo.

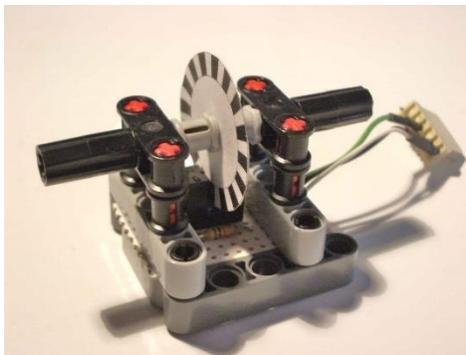


Figura 22. Sensor Tacométrico

Consiste en el conjunto de un circulo con ranuras por las cuales un LED y un fototransistor se encargan de medir la frecuencia a causa de cada pulso de luz que capta, determinando así la velocidad angular proporcional a una salida en tensión. Posee un disco con 60 aberturas leyendo una frecuencia máxima de 10 kHz.

### **Sensor de Efecto Hall**

El sensor de efecto Hall (Figura 23) se basa en la tensión transversal de un conductor que está sometido a un campo magnético. Colocando un voltímetro entre dos puntos transversales de un cable se puede medir esa tensión. Para ello hay que hacer circular por el cable una intensidad fija y acercar un imán. Los electrones que pasan por el cable se verán desplazados hacia un lado. Entonces aparece una diferencia de tensión entre los dos puntos transversales del cable. Al separar el imán del cable, la tensión transversal desaparece. Para poder utilizar la tensión transversal es necesario amplificarla, porque su valor es muy reducido.

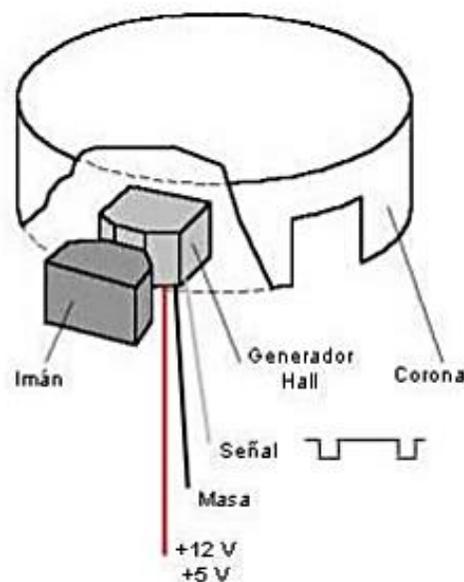


Figura 23. Tacómetro Efecto Hall

## Aplicaciones

En la industria del automóvil, en sensores de posición del cigüeñal, en el cierre del cinturón de seguridad, en el sistema de cierre de puertas y para medir el régimen de giro de los distribuidores.

## VENTAJAS

- Bajo costo
- Ausencia de contacto
- Invariabilidad frente a suciedad (no magnética) y agua
- No sensible a factores ambientales

## DESVENTAJA

- Necesidad de alimentación

### 1.8.3.5. Potenciómetro de medición

Un potenciómetro con una pista de resistencia uniforme produce una señal de voltaje proporcional al desplazamiento del contacto deslizante desde un extremo de la pista de resistencia del potenciómetro. Por lo tanto:

Salida en  $Voltios = K \times$  posición de entrada. En la figura 24 se observa el potenciómetro de medición.

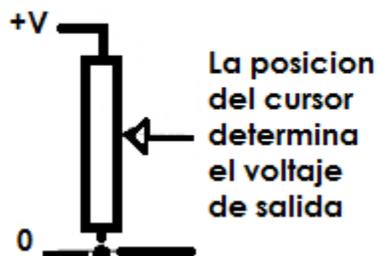


Figura 24. Potenciómetro

Donde K es la sensibilidad del potenciómetro en voltios por radian. Un par de potenciómetros se pueden usar como un detector de error (Figura 25): uno convierte el desplazamiento de entrada en un voltaje y el otro, el desplazamiento real también en un voltaje; los dos se conectan de manera que se obtenga la diferencia entre estos voltajes.

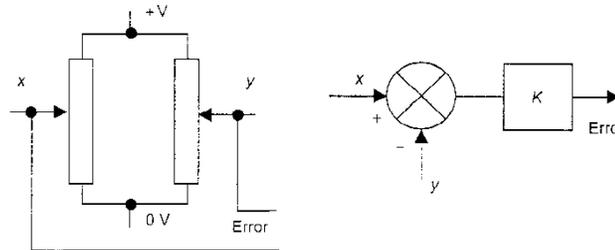


Figura 25. Sensor de Error

Con un par de potenciómetros giratorios, donde el cursor de uno se fija mediante la posición angular,  $x$ , en radianes del eje de referencia y el otro mediante la posición angular,  $y$ , en radianes del eje de salida, la señal de voltaje de error,  $V_e$ , en Voltios es:

$$V_e = K(x - y)$$

#### 1.8.4. Elementos de Corrección

##### Motores a Pasos

El motor paso a paso conocido también como motor de pasos (Figura 26) es un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa que es capaz de girar una cantidad de grados (paso o medio paso) dependiendo de sus entradas de control. El motor paso a paso se comporta de la misma manera que un convertor digital-analógico (D/A) y puede ser gobernado por impulsos procedentes de sistemas digitales. Este motor presenta las ventajas de tener precisión y repetitividad en cuanto al posicionamiento. Entre sus

principales aplicaciones se encuentran en robots, impresoras 3D, automatización, drones, radiocontrol, etc.



Figura 26. Motor de pasos

## 2. PROCESO DE DISEÑO

Como punto de partida del proceso de diseño se fijaron requerimientos con base en el tipo de equipo y las condiciones de operación a las que se someten. De aquí se estableció que el banco debe ser fijo, de bajo costo, que su montaje y desmontaje no necesite herramientas especializadas, para que su mantenimiento sea más fácil y para que también pueda ser operado por los alumnos en prácticas de laboratorio de Motores de Combustión Interna. Así mismo, debe estar equipado con un motor de un cilindro de 4 tiempos a gasolina, sistema de frenado, sistema de medición de Torque y sistema de medición de régimen de giro.

El diseño se basa en un análisis estático de los elementos que lo componen. Debido a que la estructura estará sometida bajo a fuerzas vibratorias generadas por el motor, deberá realizarse su correspondiente análisis de vibraciones mecánicas con el fin de reducirlas.

## 2.1. DISEÑO CONCEPTUAL

Inicialmente y con base en la bibliografía consultada se elaboró un modelo general de un banco de pruebas para motores alternativos con todos los elementos involucrados; teniendo en cuenta los objetivos del proyecto, su alcance y las restricciones propias de un banco con fines académicos se planteó un modelo para el proyecto. La figura 27 muestra esquemáticamente el modelo del banco.

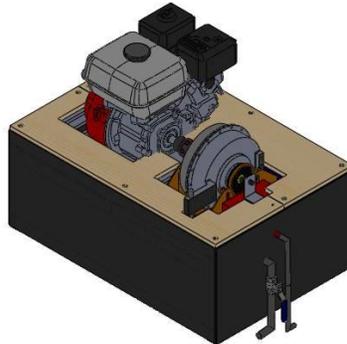


Figura 27. Propuesta de Banco de Pruebas

A partir de lo anterior, se planteó un diseño conceptual que involucró los elementos constitutivos plasmados en el anteproyecto y los instrumentos de medición disponibles en los laboratorios de la Universidad. La figura 27, ilustra esta primera aproximación. Posteriormente se procedió a realizar el dimensionamiento general del banco a partir de parámetros como el tamaño del motor, las dimensiones del sistema de freno, los criterios para la operación segura del banco, los sistemas de medición y la disponibilidad de espacio para ubicarlo en el laboratorio sin afectar las operaciones de los demás proyectos.

## 2.2. SELECCIÓN DEL MOTOR

Para realizar el diseño del banco, el componente principal es el motor de gasolina, ya que es la máquina a la cual se le desean medir las variables para poder graficar el comportamiento par- velocidad.

Como se definió en la etapa previa el tipo de motor es de combustión interna, cuatro tiempos, de encendido por chispa. Esto quiere decir que el ciclo termodinámico que realiza el motor es el ciclo Otto.

Debido al que el banco será utilizado con fines didácticos no es necesario utilizar un motor de gran potencia ya que lo que se busca es medir las variables del motor para definir el comportamiento que este tiene a diferentes grados de carga y velocidad.

Los criterios que se tomaron en cuenta para la selección del motor fueron los siguientes:

- ✓ Potencia del motor.
- ✓ Cilindrada del motor.
- ✓ Disponibilidad en el mercado.
- ✓ Disponibilidad de repuestos.
- ✓ Garantía del fabricante.

En el mercado se encuentran dos marcas de motores de gasolina estacionarios de baja cilindrada reconocidas que se distribuyen en el país, los cuales son los motores Kohler y los motores Honda, las dos marcas cuentan con diferente distribuidor. Por el tipo de aplicación del motor no se encontraron otras marcas para poder establecer una comparación más amplia para la selección del motor.

### 2.2.1. MOTOR KOHLER

Tabla 1. Especificaciones Motor Kohler SH265

<b>Modelo</b>	<b>SH265</b>	
<b>Tipo de Motor</b>	Cuatro tiempos	
	Mono cilíndrico	
	Cilindro inclinado	
	Válvulas en culata	
	Refrigerado por aire	
	Gasolina	
	Eje horizontal	
	Culata de aluminio	
	Cuerpo del cilindro de fundición	
	Lubricación	Por inmersión
<b>Características Técnicas</b>	Cilindra cu in (cc)	12(196)
	Diámetro interno in (mm)	2.7 (68)
	Carrera in (mm)	2.1 (54)
	Relación de compresión	8.5:1
<b>Funcionamiento</b>	Potencia bruta a 3000 rpm Max hp (kW)	5.8 (4.3)
	Potencia bruta a 3600 rpm Max hp (kW)	6.5 (4.8)
	Velocidad de giro de para a 3000 rpm lbs ft (Nm)	10.2 (13.8)
	Peso en seco (arranque recuperable) lbs (kg)	35.3 (16)
	Capacidad aceite qt U.S (L)	0.63 (0.6)
	Capacidad deposito qt U.S. (L)	3.8 (3.6)
	Dimensiones LxLxA in (mm)	12.3x14.3x13.5 (313x363x342)



**Figura 28. Motor Kohler SH265**

Los valores sobresalientes de la tabla anterior son los correspondientes a potencia y torque del motor los cuales indican 6.5HP y 13.8 N-m a 3600 rpm.

### 2.2.2. MOTOR HONDA

**Tabla 2. Especificaciones Motor Honda GX160**

Modelo	<b>GX 160</b>
Tipo de Motor	Mono cilíndrico OHV 4 Tiempos refrigerado por aire
Cilindrada	163 cm <sup>3</sup>
Potencia Neta	4.8 HP @ 3600 rpm
Potencia Neta uso continuo	3.9 HP @ 3600 rpm
Relación de compresión	8.5 : 1
Torque	10.3 Nm a 2500 rpm
Encendido	Transistorizado

Arranque	Manual
Dimensiones	
Ancho	362 mm
Largo	312 mm
Alto	335 mm
Peso en seco	15 Kg
Capacidad de aceite	0.6 lts



Figura 29. Motor Honda GX 160

Los valores sobresalientes de la tabla anterior son los correspondientes a potencia y torque del motor los cuales indican 5.5HP y 10.3 N-m respectivamente.

### 2.2.3. SELECCIÓN FINAL

En base a los requerimientos que debe de cumplir el motor dentro del banco de pruebas, cualquiera de las dos opciones operaría correctamente en el banco. La diferencia entre ellos es la potencia entregada por cada uno. Un punto fundamental es el costo de los mismos además el soporte técnico para los motores Kohler es muy bueno en el país. Por

lo tanto, de acuerdo a los requerimientos, la opción más viable funcional y económicamente es la del Motor Kohler SH265.

### **2.3. SISTEMA DE FRENO**

El sistema de carga del motor debe de ser dimensionado correctamente, debido a que es el encargado de medir el torque que produce el motor. A continuación, se detallará el procedimiento que se debe de realizar para seleccionar correctamente este elemento del banco.

#### **2.3.1. SELECCIÓN DE FRENO DINAMOMÉTRICO HIDRÁULICO**

Este importante elemento para el banco de pruebas, es aquel que opone la fuerza de resistencia al motor, con el objeto de simular la carga presente durante el normal funcionamiento del mismo. De no existir este elemento, el motor giraría sin ninguna resistencia, lo que causaría condiciones de sobre-velocidad negativas, que son para la integridad del motor.

*Mecanismos de absorción de potencia:* La potencia de salida del motor es absorbida por los vórtices de agua generados en el rotor y estator. La fuerza de resistencia resultante, transmite un momento de rotación a la carcasa delantera del motor; este momento es medido por el sensor de torque instalado en la carcasa del dinamómetro y transmitido a la unidad de control y al panel de adquisición de datos.

La cantidad de potencia absorbida se controla regulando la cantidad de agua que entra y sale de la cámara del dinamómetro por medio de válvulas de control de flujo a la entrada.

La selección del dinamómetro comienza determinando la potencia máxima suministrada por el motor y el régimen a que este opera, como factores determinantes para encontrar el dinamómetro que sea capaz de soportar tales características de operación.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

De acuerdo con su certificado tipo, la potencia máxima suministrada por el motor al eje de salida, es de 6.5 hp a 3600 rpm.

Bajo estos principios, y para el diseño del banco de pruebas, se hace consulta vía internet con varios fabricantes y en la Tabla 3, se muestra algunos de los diferentes tipos de frenos dinamométricos hidráulicos existentes en el mercado que se ajustan a la potencia del motor a trabajar (6.5hp).

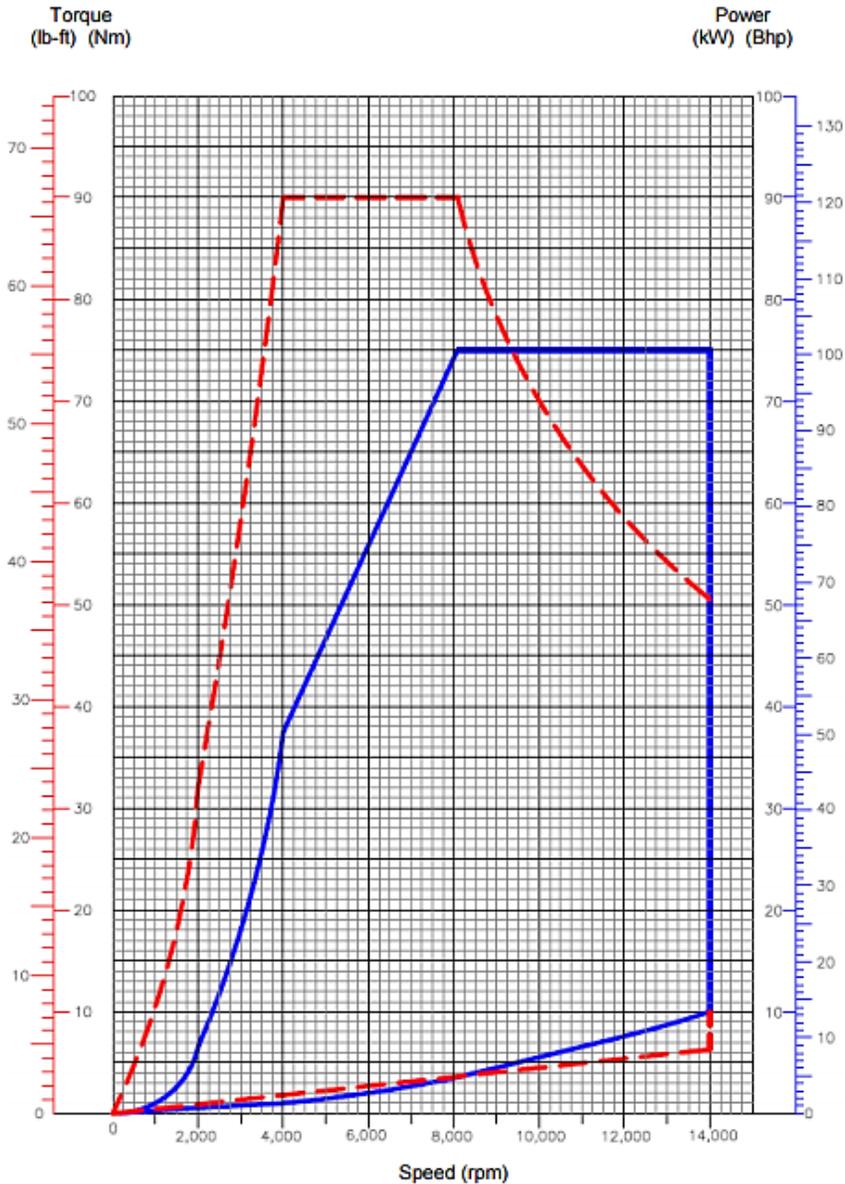
Tabla 3. Dinamómetros Hidráulicos

PRODUCTO	CARACTERISTICAS	IMAGEN
GO POWER D100 Dyno	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Peso ligero ultra portátil</li> <li>• Funcionamiento en motores de pruebas de 2 a 100 caballos de potencia a velocidades de hasta 14.000 rpm.</li> <li>• Línea mecánica del sello de alimentación de enfriamiento para el modo de giro libre sin carga.</li> <li>• Construido con una aleación de Aluminio de alta resistencia.</li> </ul>	
DINAMÓMETROS – PT-360 (Power Test)	<ul style="list-style-type: none"> <li>• Eje de acero al carbono.</li> <li>• Acomoda las cubiertas de volante de tamaño #0 a #4 SAE.</li> <li>• Sellos de agua positiva.</li> </ul>	

<p>STUSKA XS-211 Freno de Agua</p>	<ul style="list-style-type: none"><li>• Para pruebas de rendimiento de motores pequeños de hasta 200 CV en Velocidades de hasta 12.000 RPM.</li><li>• Rotor de aleación de aluminio con baja inercia debido a la aleación de aluminio del rotor.</li></ul>	
--	--	---

A partir de las características de los diferentes frenos de la Tabla 4, se recomienda utilizar el freno hidráulico D100 de la empresa GO POWER. El rango de potencia en el cual este freno puede operar es muy amplio y se apega a los requerimientos de potencia y régimen que el motor establece. Por lo tanto, se tiene la certeza que no se tendrá ningún inconveniente al momento de ejecutar el ensayo del motor. El freno tiene la capacidad de prueba igual en cualquier dirección de rotación.

Figura 30. Curva de Freno Dinamométrico GO POWER D100



Conociendo entonces la arquitectura de construcción del dinamómetro, y los requerimientos de este para su operación normal, se procede a la selección del sistema que va a suministrar el agua para el equipo, basándose en la información del freno, flujo, potencia máxima, régimen de giro. Será necesario adaptar al freno un sistema de tubería de la red de agua, ya que un requisito de funcionalidad del freno es la sobrepresión.

### 2.3.2. TUBERÍA DE ALIMENTACIÓN.

Se encargará de alimentar al freno dinamométrico hidráulico el flujo de agua requerido para cada una de las demandas que este tiene al ejecutar la acción de frenado a diferente régimen de giro y torque de entrada de este. Por lo tanto, su diámetro estará en función del diámetro de entrada del freno que se encuentra ya estandarizado y en este caso se selecciona tubería PVC de ½ pulgada.



Figura 31. Tubería PVC de 1/2"

### 2.3.3. VÁLVULA REGULADORA DE FLUJO.

La válvula reguladora de flujo tendrá la función de regular la carga que el freno impondrá al motor a ensayar agregando o quitando más flujo másico de agua que se verá reflejado en la variación de la cantidad de movimiento que el freno le da a esta. Se selecciona una válvula de bola.



Figura 32. Válvula de Bola

### 2.3.4. MANGUERAS HIDRÁULICAS REFORZADA

Con la finalidad de simplificar las conexiones hidráulicas tanto en la entrada como en la salida del freno dinamométrico, se establecieron selecciones con manguera hidráulica reforzada, además, en las conexiones con la válvula de ajuste se incorporan acoples NPT<sup>2</sup> de ½ pulgada.

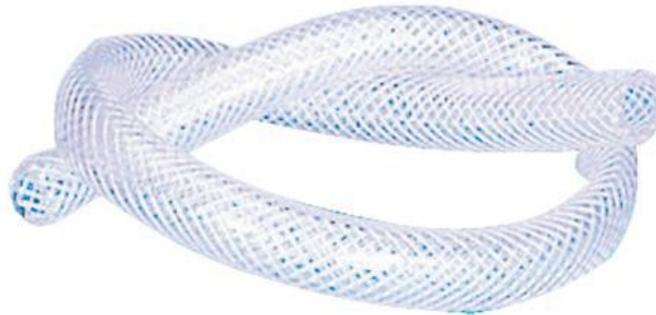


Figura 33. Manguera Hidráulica Reforzada, Fuente internet.

## 2.4. SISTEMA DE TRANSMISIÓN DE POTENCIA

### 2.4.1. SISTEMA DE TRANSMISIÓN POR ACOPLER DIRECTO

*Acoplamiento:* Un acoplamiento es un dispositivo que se utiliza para unir dos ejes en sus extremos con el fin de transmitir potencia. Existen dos tipos generales de acoples rígidos y flexibles.

Los acoplamientos son sistemas de transmisión de movimiento entre dos ejes o árboles, cuyas misiones son asegurar la transmisión del movimiento y absorber las vibraciones en la unión entre los dos elementos.

Las vibraciones son debidas a que los ejes no pueden instalarse exactamente. Hay desalineaciones angulares o radiales, aunque lo normal es que se presente una combinación de ambas.

Una alineación de ejes precisa le ayudará a:

---

<sup>2</sup> National Pipe Thread : es una norma técnica estadounidense para rocas de tubo.

- Incrementar la vida de los rodamientos.
- Reducir la tensión en los acoplamientos y, por tanto, el riesgo de un sobrecalentamiento y rotura.
- Reducir el desgaste de las obturaciones, evitando la contaminación y la fuga de lubricante.
- Reducir la fricción y, por tanto, el consumo energético.
- Reducir el ruido y la vibración.
- Incrementar el tiempo operativo, la eficiencia y la productividad de la máquina. En la figura 34 se observa la correcta alineación de un acoplamiento entre dos ejes.



Figura 34. Alineación correcta e incorrecta de un Sistema de Transmisión

#### 2.4.2. SELECCIÓN DE ACOPLAMIENTO MOTOR-FRENO

El par nominal es el factor principal de dimensionado de los acoplamientos de los ejes y de las máquinas directamente conectadas a ellos.

El par nominal a transmitir está en función de la potencia a transmitir y de la velocidad de rotación:

$$T_{nom}(Nm) = \frac{7160 \times P(HP)}{n(rpm)}$$

La elección de un acoplamiento con el tamaño correcto es muy importante, para hacerlo es necesario conocer no sólo la potencia y velocidades requeridas, sino también la severidad del servicio que debe absorber. Es decir, será necesario aplicar un factor de corrección o de servicio.

En la determinación del par nominal del acoplamiento, hay que tener en cuenta:

- Las irregularidades del par debidas a los diferentes tipos de máquinas motrices y receptoras (K1).
- Las frecuencias de arranque (K2).
- El número de horas de funcionamiento por día (K3).

El producto K de estos tres coeficientes K1, K2 y K3, se denomina coeficiente de seguridad o factor de carga, y se obtiene de tablas (anexo A):<sup>3</sup>

$$Par\ nominal\ del\ acoplamiento = Par\ nominal\ a\ transmitir \times Coeficiente\ de\ seguridad$$

**Tabla 4. Especificaciones de Motor y Freno.**

<b>Maquina Motriz</b>	<b>Maquina Receptora</b>
Motor de Combustión Interna Estacionario	Freno de Agua Dinamométrico
Potencia Nom.: 5.8HP	Extremo del Eje: 3/4"
Velocidad: 3000 rpm	Frecuencia de Arranque por hora: 1
Extremo del Eje: 3/4"	Horas de Funcionamiento: 2 horas/dia

Par nominal a transmitir:

$$T_{nom} = \frac{7160 \times 5.8HP}{3000rpm}$$

$$T_{nom} = 13.8 N.m$$

Coeficiente de Seguridad: K1: 2.0      K2: 1.0      K3: 0.9

Donde  $K = K1 \times K2 \times K3 = 1.8$

Par nominal del acoplamiento:

$$T_{nom,acop} = 13.8 \times 1.8$$

<sup>3</sup> Tablas para selección Coeficientes K1, K2 y K3 se ubican en Anexo 1

$$T_{nom,acop} = 24.9 \text{ N.m}$$

Tabla 5. Especificaciones de acoplamiento

<b>SELECCIÓN</b>	
<p>Acople de Araña Tipo JAW SKF</p> <p>Tamaño 95</p> <p style="text-align: center;"><i>Soporta hasta:</i></p> <p>Potencia de Salida @3000RPM = 8.10 kW</p> <p>Torque Nominal = 25.8 Nm</p> <p>Diámetro máximo del eje ¾ plg</p>	

Se selecciona un acople tipo JAW tamaño 95 de SKF el cual cumple con las especificaciones técnicas y de servicio para la aplicación en función del torque nominal que este soporta y con un factor de seguridad superior a 1.8.

## 2.5. SISTEMA DE SENSORES Y ACTUADORES

### 2.5.1. SELECCIÓN DE SENSORES

En las siguientes subsecciones, se encuentra información acerca de los sensores escogidos para el banco de pruebas a diseñar. Cada sensor ofrecido en el mercado ha sido comparado entre sí con la finalidad de escoger el más adecuado, teniendo en cuenta los beneficios técnicos que ofrece cada uno.

#### **TACÓMETRO.**

Las opciones de medidores de velocidad que se encuentran en el mercado son bastantes variadas y para el caso particular de este proyecto todas las opciones son

compatibles en particular. La medición de la velocidad puede realizarse en tres posibles lugares del sistema Motor-Freno: Eje de motor, eje del freno y parte trasera del freno, el cual permiten monitorear funcionamiento del sistema, siendo en este caso las revoluciones de control.

Se describen cada una de las características de los diferentes tipos de tacómetros usados para la medición del régimen de giro en este tipo de aplicaciones.

**Tabla 6. Especificaciones Técnicas de sensor de velocidad angular**

<b>Sensor Efecto Hall</b>	
<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Fuente de alimentación: DC8-24v 40mA</p> <p>Rango de medida: 5-9999 rpm</p> <p>Monitor: LED Azul 67*32 mm</p> <p>Señal: Señal de pulso, Hall NPN 3 Cables normalmente abierto.</p> <p>Rango de detección: 10 mm</p> <p>Objeto detectado: Magnético.</p> <p>Temperatura de Operación: 0 a 50 °C</p>	
<b>Sensor Óptico</b>	

El sensor RPM lee los datos RPM utilizando un sensor óptico.

Rango de medición: 0 ~ 50000r / min

Instalación: Apunte el sensor RPM hacia arriba en cualquier accesorio que requiera la lectura RPM.



Para realizar la medición de las revoluciones en el motor se seleccionará el sensor de Efecto Hall ya que sus características son superiores en relación a otros sensores, se puede obtener una lectura más precisa, y presenta una gran invariabilidad frente a suciedad no magnética, agua, polvo y algo muy importante las vibraciones.

### **SENSOR DE FUERZA**

El parámetro más importante que debe de medir el banco de pruebas, es el torque o par que entrega a la salida el motor de combustión.

El tipo de sensor a utilizar es una celda de carga la cual mide la fuerza que se aplica en un extremo de ella, el otro extremo se encuentra fijo y mediante la deflexión emite una señal (efecto piezoeléctrico) que se transforma en la fuerza que entrega el motor. Dicha fuerza multiplicada por el brazo de palanca da como resultado el torque del motor.

Debido a que este tipo sensores no se encuentran en ninguna tienda del país, es necesario obtenerlos en el exterior tomando en cuenta las condiciones a las que serán sometidos, para hacer una correcta selección.

Tabla 7. Especificaciones Técnicas de Celdas de Carga

<b>Celda de Carga GUANG</b>	
<p><i>Tipo de celda:</i> estático analógico.</p> <p><i>Modelo:</i> CE YZC-1B</p> <p><i>Precio:</i> \$ 25.99 + gastos de envió.</p> <p><i>Capacidad máxima:</i> 50 kg</p> <p><i>Precisión:</i> 2.0±0.15 mV/V</p>	
<b>Celda de Carga Cylewet</b>	
<p><i>Tipo de celda:</i> estático analógico.</p> <p><i>Modelo:</i> CYT1001</p> <p><i>Precio:</i> \$ 6.29 + gastos de envió.</p> <p><i>Capacidad máxima:</i> 50 kg</p> <p><i>Precisión:</i> 1.0±15%mv/V</p>	

Se selecciona el sensor comercializado por GUANG debido a que este cumple con los requerimientos según carga máximo que entregará el motor, presenta una mejor respuesta a los cambios de torque del motor ya que posee una mejor resolución de lectura, y es más fácil de colocar directamente al freno, por su geometría.

Adicional a este sensor se debe incluir un módulo convertidor ADC HX711 el cual permitirá la intercomunicación entre el sensor de carga y el microcontrolador programable.

### 2.5.2. SELECCIÓN DE ACTUADOR

Se utilizará un motor de pasos el cual cumplirá con la función de controlar la apertura y cierre de la válvula de mariposa del carburador del motor, con el fin de controlar de esta manera la velocidad angular del motor de combustión interna.

El motor seleccionado es el **XYLOTEX 24H290-25-4B**, el cual posee un torque de 3 [N-m], valor que satisface los requerimientos necesarios para cumplir con la función requerida.

Tabla 8. Especificaciones Técnicas Motor Xylotex 24H290-25-4B

<b>Motor de Pasos XYLOTEX</b>	
<p><b>Especificaciones</b></p> <p>Modelo: <b>24H290-25-4B</b></p> <p>Torque: 3.0 Nm +/- 10%</p> <p>Alimentación: 12v</p> <p>Corriente por fase: 2.5</p> <p>Peso del Motor: 1.4 kg</p> <p>Angulo de Paso: 1.8 +/- 5% /step</p> <p>Diámetro de Eje: 6.35 mm</p> <p>Precio; \$55.54 + gastos de envío</p>	

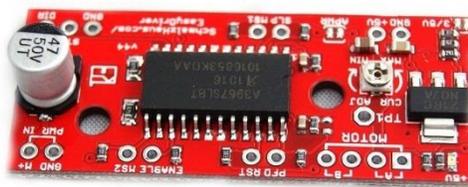
La selección se realizó tras una evaluación con los datos proporcionados por la hoja técnica del actuador seleccionado, con el fin de determinar el comportamiento que este tendrá al acoplarse a la válvula de mariposa del motor.

El mecanismo a utilizar está compuesto de un cable de acero (Figura 35), el cual se encuentra acoplado directamente a la válvula mariposa. A su vez este cable se encuentra conectado con el motor de pasos. El cual, mediante la rotación del eje, permite el movimiento de la válvula de mariposa con el fin de controlar las revoluciones por minuto a las que debe de girar el motor de combustión interna.



**Figura 35. Cable de acero acoplado a la válvula de mariposa del motor de combustión interna**

Adicional a estos elementos debe incluirse un módulo controlador de motores de pasos el cual permita la comunicación entre el motor de pasos y el controlador programable; en el caso nuestro se escogió un Controlador EasyDriver V44 A3977 por la facilidad de utilización y versatilidad que este posee, además de ser el más idóneo para el control de motores de pasos bipolares



**Figura 36. Controlador EasyDriver V44 A3977**

## 2.6. ANÁLISIS DE VIBRACIONES

El análisis de las vibraciones en un motor de combustión interna tiene es un factor relevante, ya que influyen significativamente en la operación del mismo Debido a esto se

debe de realizar un montaje elástico como el que se muestra en la figura 37. Tomando en cuenta este hecho relevante es necesario que la fundación del motor no transmita vibraciones desagradables. Por tanto, debe cumplir con los requisitos siguientes:

El motor debe funcionar sin oscilaciones excesivas. Las fuerzas vibratorias transmitidas a la subestructura deben ser reducidas hasta tal punto que no causaran ninguna perturbación. La frecuencia natural de la subestructura se debe alejar suficientemente a la frecuencia de funcionamiento del motor. Para controlar estas perturbaciones, generalmente el mejor método y más económico es bloquear su paso en la fuente. Esto se logra aislando la máquina por medio de un material que sea físicamente conveniente para el propósito y que cumpla con las leyes que gobiernan el control de la vibración.

En la actualidad, gracias a los avances de la ciencia de los materiales, se cuenta con un gran número de medios aislantes de vibraciones como se puede mencionar: el corcho natural, caucho, las imitaciones gelatinosas del caucho y los dispositivos de resorte de acero.

La selección del medio absorbente y su adaptación e instalación apropiadas se debe basar en principios científicos para lograr el aislamiento eficaz. El medio absorbente debe tener elasticidad y un módulo de elasticidad bajo; su resistencia a la conductividad del sonido debe ser marcada, diferente de la vibración del motor.

El uso de concreto para las fundaciones de motores estacionarios es una práctica casi universal. Una fundación maciza se puede utilizar para eliminar la vibración, pero puede provocar un esfuerzo excesivo en el motor restringiendo su libertad de operación.

### **Vibración forzada**

Es un sistema en respuesta a una fuerza aplicada. Si el sistema es lineal, la vibración estará a la misma frecuencia que la fuerza. Pero si es no lineal, la vibración ocurrirá a otras

frecuencias, especialmente en los armónicos de la frecuencia forzada. La vibración de máquinas es una vibración forzada, y las fuerzas son el resultado de fenómenos como el desbalanceo y la desalineación de partes rotativas y fallas en rodamientos.

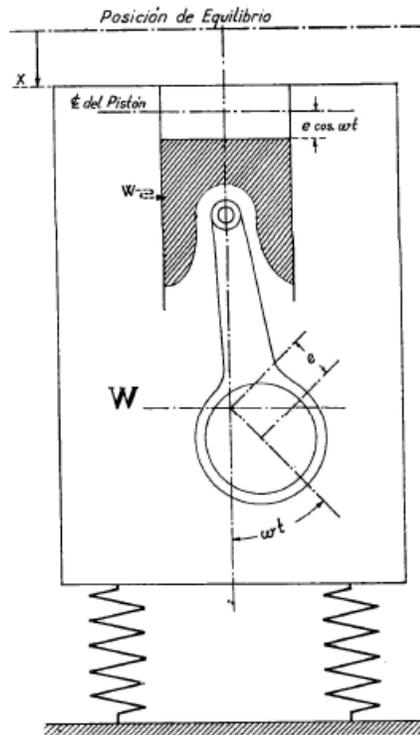


Figura 37. Montaje elástico de un motor alternativo

### Sistema de excitación por inercia

Este tipo de sistema es aquel que es causado por la acción de las fuerzas centrífugas de masas en desequilibrio, en este caso las fuerzas centrífugas de las masas están relacionadas proporcionalmente al cuadrado de la velocidad.

Si  $W$  es el peso total,  $W_a$  el peso alternativo,  $\omega$  la velocidad angular de la manivela y un radio de la manivela  $e$ ; entonces una función armónica definirá en forma aproximada el movimiento relativo de la masa  $W_a$  y se puede expresar como  $e \cos \omega t$ . Para el peso total

W, según caso en estudio el motor, el movimiento está dado por el desplazamiento X medido a partir de la posición de equilibrio.

El pistón y demás componentes del motor generarán unas fuerzas inerciales determinadas respectivamente por:

$$\frac{Wa}{g} \frac{d^2(x + e\cos\omega t)}{dt^2}$$

$$\frac{W - Wa}{g} \frac{d^2x}{dt^2}$$

Se tiene igualmente presencia de la fuerza elástica  $kx$ . Las fuerzas actúan todas hacia arriba, generando la siguiente ecuación diferencial para el movimiento:

$$\frac{W - Wa}{g} \frac{d^2x}{dt^2} + \frac{Wa}{g} \left( \frac{d^2x}{dt^2} - \omega^2 e \cos\omega t \right) + kx = 0 \quad (1)$$

Equivalente a su vez a:

$$\frac{W}{g} \frac{d^2x}{dt^2} + kx = \frac{Wa}{g} \omega^2 e \cos\omega t \quad (2)$$

Reescribiendo

$$m_t \ddot{x} + kx = m_a \omega^2 e \cos\omega t \quad (3)$$

Se puede notar que cuando

$$P = m_a \omega^2 e \quad (4)$$

La fuerza P variará en magnitud y frecuencia con la velocidad del motor, de tal forma que al llamar  $P_n$  y  $\omega_n = \sqrt{\frac{k}{m}}$  a los valores correspondientes a la magnitud y frecuencia en la condición de resonancia se tiene:

$$P \cos \omega t = (m_a e \omega_n^2) \frac{\omega^2}{\omega_n^2} \cos \omega t = r^2 P_n \cos \omega t \quad (5)$$

En donde  $r = \frac{\omega}{\omega_n}$

En el caso donde  $r=1$ , en el cual se presenta la velocidad de resonancia, teóricamente el desplazamiento se hace infinito. Sin embargo, en los casos reales se presenta un cierto grado de amortiguamiento que limitará las amplitudes máximas de resonancias.

Es resaltable el hecho que para obtener rendimiento de aislamiento en los sistemas elásticos se hace necesario conseguir elevadas relaciones de frecuencia forzada a frecuencia natural, teniendo un valor en el límite equivalente a  $\sqrt{2}$ . Esta situación establece el requerimiento tanto de una adecuada elección del medio aislante, así como un correcto dimensionamiento del sistema elástico.

Volviendo a la ecuación diferencial (3)

$$m_t \ddot{x} + kx = m_a \omega^2 e \cos \omega t$$

La solución particular para esta ecuación está dada por  $x = A \cos \omega t$

$$\dot{x} = -A \omega \sin \omega t$$

$$\ddot{x} = -A \omega^2 \cos \omega t$$

Siendo A la amplitud máxima que satisface la ecuación diferencial.

Sustituyendo estas ecuaciones en la ecuación diferencial (3)

$$m_t(-A \omega^2 \cos \omega t) + k(A \cos \omega t) = P \cos \omega t$$

Dividiendo entre  $\cos \omega t$

$$-m_t A \omega^2 + kA = P$$

$$A(k - m_t \omega^2) = P$$
$$A = \frac{P}{k - m_t \omega^2} \quad (6)$$

El valor de la amplitud de vibración del sistema estará dado por la ecuación (6).

### **Materiales y Sistemas Aislantes**

La técnica del aislamiento de vibraciones mecánicas, demanda un amplio conocimiento de las leyes físicas básicas. Adicionalmente los datos experimentales relativos al comportamiento de los diferentes materiales aislantes bajo la acción de cargas dinámicas de carácter pulsatorio, brindan al ingeniero la posibilidad de diseñar fundaciones elásticas con un alto rendimiento, lo que significa un mínimo grado de perturbación a las estructuras vecinas y un mínimo de pérdidas de energía.

Lograr que la fuerza transmitida a la subestructura en que descansa un motor sea lo mínimo posible, requiere que la frecuencia forzada sea grande con respecto a la frecuencia natural de la fundación elástica, con amortiguamiento mínimo. Se recomienda que esta relación esté por el orden de 3 a 1, y en ciertos casos considerablemente superior, dependiendo realmente, de las condiciones locales y de la magnitud de las fuerzas no equilibradas.

Es de gran importancia, la forma como es aplicado el material elástico, es decir, el diseño del sistema aislante. En los motores de combustión interna, las condiciones de desequilibrio dinámico pueden manifestarse en forma de fuerzas que actúan en dirección lateral, pares que tienden a volcar el motor en sentido transversal y pares que tienden a volcarlo longitudinalmente (fenómeno conocido como cabeceo).

Las propiedades elásticas de los diferentes materiales están definidas por la constante elástica,  $k$ , definida como la fuerza requerida para producir una deformación

unitaria, sus unidades son fuerza/longitud. En el campo de la ley de Hooke, la constante elástica es independiente de la tensión y el esfuerzo.

Un material en lámina de superficie A y espesor H con módulo de elasticidad E, la constante elástica está definida por:

$$k = \frac{EA}{H} \quad (7)$$

La deformación S de la lámina bajo la acción de una carga P está dada por:

$$S = \frac{P}{k} \quad (8)$$

### 2.6.1. ANÁLISIS DE VIBRACIONES EN MOTOR KOHLER SH265

Aplicando las ecuaciones de vibraciones deducidas anteriormente a al motor Kohler se obtiene:

Tabla 9. Datos obtenidos de hoja técnica Motor Kohler SH265

Datos	
Velocidad Angular (RPM)	3600
Velocidad Angular (rad/s)	377
Masa Alternante (kg)	0.538
Masa Total (kg)	16
Radio de Manivela e (m)	0.027

*Cálculo de Fuerza P*

$$P = m_a \omega^2 e$$

$$P = 0.538kg \times \left(377 \frac{rad}{s}\right)^2 \times 0.027m$$

$$P = 2,064.478 N$$

*Cálculo de Constante elástica k*

Para el cálculo de esta constante es necesario establecer los valores de área y espesor según dimensiones de base del motor.

Se asume material con el fin de utilizar un módulo de elasticidad que disminuya los valores de vibración.

**Tabla 10. Resumen de datos de material aislante**

Área de superficie A (m <sup>2</sup> )	0.016
Espesor H (m)	0.01
Módulo de Elasticidad E (MPa)	120

$$k = \frac{EA}{H}$$

$$k = \frac{(120MPa) \times 0.016m^2}{0.01m}$$

$$k = 192,000,000.00 \frac{N}{m}$$

Debido a que el cálculo se ha hecho para un solo resorte, este debe ser multiplicado por cuatro (número de soportes del motor) dado que el análisis es considerado como un sistema.

$$k = 768,000,000.00 \frac{N}{m}$$

*Cálculo de Amplitud de Vibración*

$$A = \frac{P}{k - m_t \omega^2}$$

$$A = \frac{2,064.478 N}{768 \times 10^6 \frac{N}{m} - (16kg \times (377rad/s)^2)}$$

$$A = 2.7 \times 10^{-6} m$$

$$\mathbf{A = 0,0027 mm}$$

### *Evaluación de Severidad de Vibración*

Utilizando las ecuaciones desplazamiento, velocidad y aceleración se evaluarán estos valores para determinar si estos se encuentran dentro de los rangos de severidad permisibles para maquinas reciprocantes.

$$\dot{x} = -A\omega \sin \omega t$$

De la ecuación de velocidad se observa que este valor será máximo cuando el  $\text{Sen } \omega t$  sea igual a  $-90^\circ$ , por lo tanto, el valor máximo de velocidad que podrá obtenerse será:

$$\dot{x} = 0.0027m \times 377 \frac{rad}{s}$$

$$\mathbf{\dot{x} = 1.0164 m/s}$$

La norma ISO 2372 presenta los rangos de severidad de vibración de los diferentes niveles de alarma, y los factores de servicio para cuatro tipos de máquina, véase la tabla 11. Como ya se mencionó anteriormente, la mayoría de las máquinas están contenidas en estos rangos de clasificación, pero existe un resto que depende de otras variables, lo que hace necesario la utilización de otras herramientas tales como los niveles de tendencia de la propia máquina.

El valor de severidad de la vibración asociada a un rango de clasificación en particular, depende del tamaño y masa del cuerpo vibrante, las características del montaje del sistema, la salida y el uso que se le da a la máquina. De esta forma es necesario tomar cuenta de varios propósitos y circunstancias concernientes a los diferentes rangos.

Tabla 11. Rangos de Severidad de Vibración

RANGO DE SEVERIDAD DE VIBRACIÓN		CLASES DE MÁQUINAS			
VELOCIDAD RMS (mm/s)	VELOCIDAD (mm/s)	CLASE I	CLASE II	CLASE III	CLASE IV
0.28	0.3960	A			A
0.45	0.6364				
0.71	1.0041				
1.12	1.5839	B	A	A	A
1.8	2.5456				
2.8	3.9598	C	B		B
4.5	6.3640				
7.1	10.0409				
11.2	15.8392	D	C	C	C
28	39.5980				
45	63.6396				
71	100.4092		D	D	D
FSM( Flexible Manufacturing System)* para las maquinas		1.57020	1	0.62608	0.39625
FSN** para los niveles (1/FSM)		0.63686	1	1.59725	2.52364

Fuente: ISO (International Standards Organization). ISO 2372-1974. "Vibración mecánica de máquinas rotativas. Bases para la especificación de estándares de evaluación".

La anterior es una de las clasificaciones recomendadas para la escogencia del factor de servicio de una máquina. Pero, como se ha dicho, no está dada para todas las aplicaciones y, por lo tanto, puede sustituirse de acuerdo a situaciones particulares que se presenten. El significado de estas clases se presenta a continuación:

CLASE I: Partes individuales que se conectan a una máquina en operación normal. (Los motores eléctricos que no pasan de 15 kW son ejemplos típicos de esta categoría).

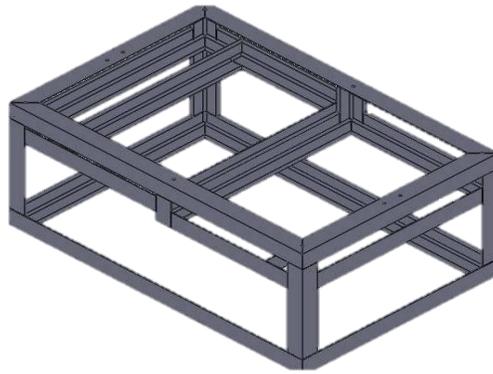
CLASE II: Máquinas de tamaño medio (generalmente motores de 15 a 75 kW de salida), sin cimientos especiales, o máquinas rígidas (por encima de 300 kW) montadas sobre cimientos especiales.

CLASE III: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotativas montadas sobre cimientos rígidos y pesados, los cuales son relativamente duros en la dirección de medida de vibración.

CLASE IV: Grandes motores y otras máquinas con grandes masas rotativas montadas en cimientos relativamente flexibles en la dirección de la medida de vibración (por ejemplo, un turbogenerador, especialmente aquellos con subestructuras ligeras).

En base a los materiales que se comercializan en el mercado, se ha seleccionado fibra vegetal el cual tiene un módulo de elasticidad de 120MPa, el motor por poseer una potencia inferior a los 15 kW cae en la Clasificación Clase I, donde el valor máximo permisible de velocidad de vibración para una maquina nueva es de 1.0042, valor similar al obtenido por los cálculos para el material y dimensiones especificados en el diseño.

## 2.7. ANALISIS DE LA ESTRUCTURA

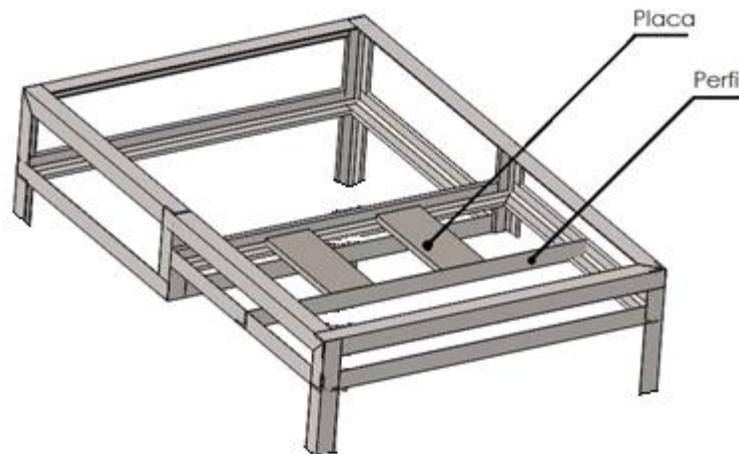


**Figura 38. Modelado Estructural de Banco para Pruebas en motores**

Para la realización de la bancada se seleccionó perfiles de acero A36, ya que es el metal estructural más usado. Es fundamentalmente una aleación de hierro (mínimo 98%), con un contenido de carbono menor del 1%. Entre sus ventajas está la gran resistencia a la tensión y compresión. Existen distintos tipos de perfiles estructurales se utiliza ángulo 1.5"x1.5"x3/16", este elemento estructural es fabricado por procesos de laminación en caliente de planchales provenientes de la colada continua, por medio de la cual se conforman secciones transversales con formas de "L". Los perfiles angulares son muy utilizados en todo el mundo para la construcción de torres de transmisión eléctrica, torres de telecomunicaciones, fabricación de vigas y columnas en celosía, cerchas, en cerrajería y en industria metal mecánica ligera. La soldadura a utilizar es de arco eléctrico con electrodo metálico; el electrodo utilizado para este proyecto es el 6013. Este electrodo cuenta con un revestimiento a base de rutilo y potasio, lo cual le da muy buena estabilidad, fácil remoción de escoria, produce cordones de superficie suave, de aspecto liso y limpia diseñado para alto rendimiento, fácil aplicación para trabajos de lámina delgada como construcciones de carrocerías, muebles metálicos, ductos de aire acondicionado, rejas,

ventanas y ornamentación en general, inclusive al trabajar con corriente alterna en quipos de bajo voltaje de circuito abierto. Para una mayor estabilidad el banco será empotrado al piso con espárragos y en la bancada colocará debida sujeción con mediante tuercas. En la figura 38 se observa el modelado de la estructura del banco.

En el análisis estructural deberán considerarse las zonas más críticas del banco, siendo estas las que estarán sometidas a mayores cargas debido a las fuerzas provocadas por el motor de combustión interna. Las zonas más críticas serán: la placa que soportara al motor y los perfiles (Figura 39) sobre los que descansara dicha placa, para ambos miembros estructurales se realizara evaluación para obtener factores de seguridad de material y de soldadura.



**Figura 39. Miembros Críticos en Banco de Pruebas**

### 2.7.1. ANÁLISIS DE CARGAS DE LA PLACA DE SOPORTE DE MOTOR

Como primer punto es necesario conocer las cargas a las que estará sometida la barra que soportara el motor, ya el material de esta se debe de diseñar en función de los esfuerzos a los que estará sometida; posteriormente al análisis de esfuerzos de esta pieza es necesario calcular el factor de seguridad para que esta no falle durante operación.

El material a utilizar en la barra es acero 1020 HR<sup>4</sup>. Este presenta una resistencia a la tensión de 55 kpsi, la cual proporciona un factor de seguridad de la barra y la soldadura mayor que la unidad.

Además, cabe mencionar que, dentro del mercado nacional, es el único tipo de acero que se distribuye en forma de platina, la cual será utilizada para los soportes del motor del banco de pruebas.

#### Análisis estático de la barra de soporte del motor.

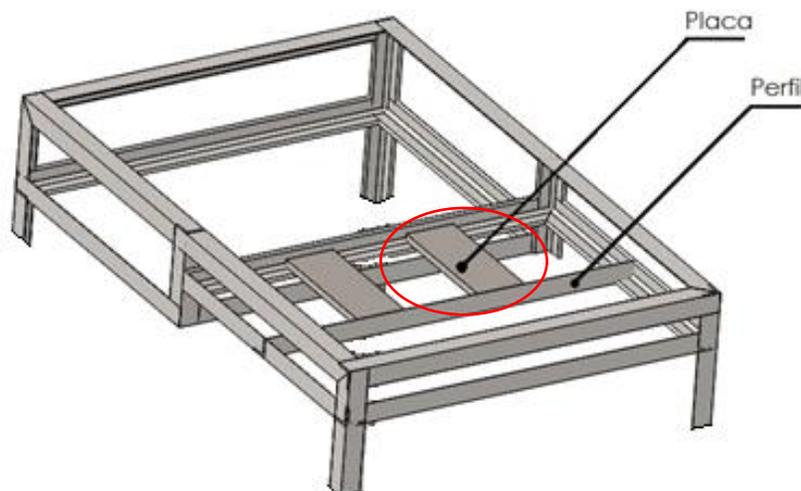


Figura 40. Ubicación de las placas de soporte del motor.

<sup>4</sup> Acero Rolado en Caliente.

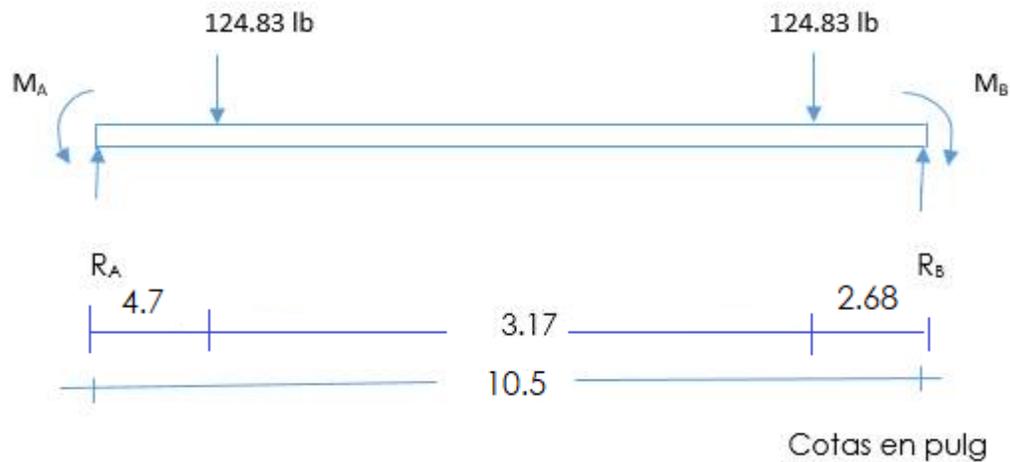


Figura 41. Diagrama de cuerpo libre de miembro estructural

Haciendo sumatoria de fuerzas en eje "y" queda:

$$\sum F_y = 0$$

$$R_A + R_B = \frac{P}{4} + \frac{P}{4} + \frac{W}{4} + \frac{W}{4}$$

$$R_A + R_B = \frac{P}{2} + \frac{W}{2} + W_{platina} \quad (Ec. 1)$$

De donde se conoce los valores de:

$$W = 16 \text{ kg} = 35.2 \text{ lb}$$

$$W_{platina} = 3.076 \text{ lb}$$

$$P = 464.03 \text{ lb}$$

Sustituyendo en la Ec. 1 quedaría:

$$R_A + R_B = \frac{464.03 + 35.2}{2} = 249.62 \text{ lb}$$

Debido a que las cargas son simétricas las reacciones son iguales en el mismo sentido, por lo tanto:

$$R_A = R_B = \frac{249.62}{2} = 124.81 \text{ lb}$$

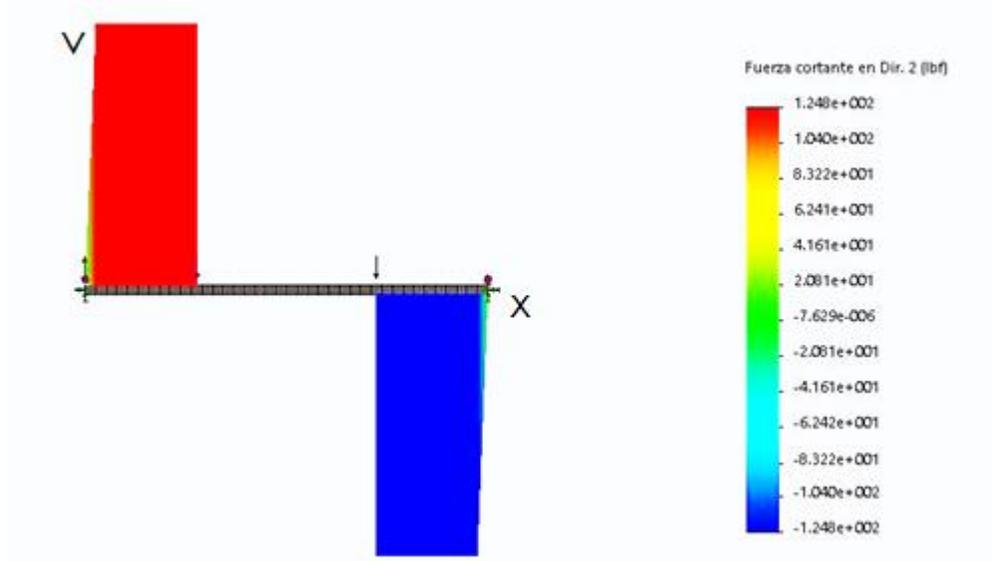


Figura 42. Diagrama de cortante de Placa de Soporte

Para el cálculo del momento en ambos extremos de la plancha de soporte, se realizó un análisis de deformación debida a flexión con el método de las funciones singulares.

Del método de deflexión se conoce:

$$\frac{q}{EI} = \frac{d^4y}{d^4x} \quad \frac{V}{EI} = \frac{d^3y}{d^3x}$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{d^2x} \quad \theta = \frac{dy}{dx}$$

Las funciones singulares se dan de la siguiente forma:

$$\frac{q}{EI} = -M(x)^{-2} + 124.83(x)^{-1} - 124.83(x - 4.7)^{-1} - 124.83(x - 7.87)^{-1}$$

$$+ 124.83(x - 10.5)^{-1} + M(x - 10.5)^{-2}$$

Las condiciones de frontera que se tienen son:

$$\theta(x = 0) = 0$$

$$\theta(x = 10.5) = 0$$

La ecuación del ángulo quedaría de la siguiente forma:

$$\frac{\theta}{EI} = -M\langle x \rangle^1 + 62.415\langle x \rangle^2 - 62.415\langle x - 4.7 \rangle^2 - 62.415\langle x - 7.87 \rangle^2 + 62.415\langle x - 10.5 \rangle^2 + M\langle x - 10.5 \rangle^1$$

Evaluando las condiciones de frontera se obtuvo

$$C_1 = 0$$

$$M = 414.27 \text{ lb} * \text{plg}$$

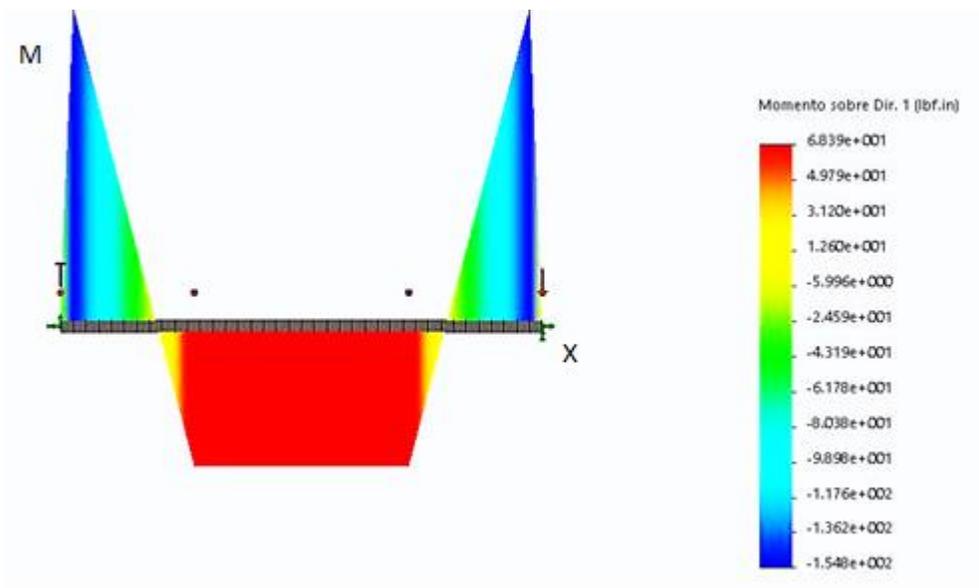


Figura 43. Diagrama de momento de la Placa de Soporte.

## 2.7.2. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN LA PLACA DE SOPORTE DEL MOTOR

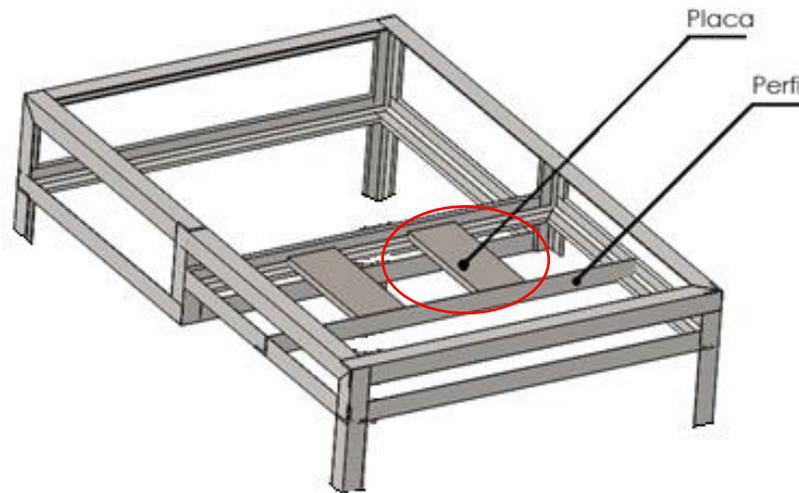


Figura 44. Ubicación de las placas de soporte del motor.

### ESFUERZOS NORMALES CAUSADOS POR FLEXION

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Donde conocemos

$$M = 414.27 \text{ lb} * plg$$

$$c = \frac{e}{2}$$

$$I = \frac{1}{12} e^3 b$$

Sustituyendo:

$$\sigma = \frac{M_{max} * 6}{be^2}$$
$$\sigma = \frac{414.27 \text{ lb} * plg * 6}{2.5plg * (0.25plg)^2} = 15.9 \text{ kpsi}$$

### ESFUERZO CORTANTE

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{V}{A}$$

Donde:

$$V_{max} = 124.83 \text{ lb}$$

$$A = e * b = 0.25 \text{ plg} * 2 \frac{1}{2} \text{ plg}$$

$$A = 0.625 \text{ plg}^2$$

Sustituyendo se tiene:

$$\tau = \frac{3}{2} * \frac{124.83 \text{ lb}}{0.625 \text{ plg}^2}$$

$$\tau = 299.6 \text{ psi}$$

### CÁLCULO DE ESFUERZOS PRINCIPALES

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{2} + \tau^2}$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$\sigma_1 = 15910 \text{ psi}$$

$$\sigma_2 = -56 \text{ psi}$$

La naturaleza de las cargas es del tipo variable. Por lo que el esfuerzo principal mayor será considerado como el esfuerzo fluctuante, y el esfuerzo medio será cero.

### ANÁLISIS POR CARGA VARIABLE

El factor por superficie  $k_a = aS_{ut}^b$  para un elemento maquinado o laminado en frio,  $a=2.7$  kpsi,  $b=-0.265$  es:  $k_a = 2.7 (55)^{-0.265} = 0.93$

El factor por tamaño  $k_b$ , se calcula en base a la tabla 6-3 calculando el diámetro efectivo para un elemento en flexión no rotativa.

$$b = 2.5 \text{ pulg}, h = 1/2 \text{ pulg}$$

$$d_e = 0.808\sqrt{hb} = 0.808\sqrt{(1/2)(2.5)} = 0.9034 \text{ pulg}$$

$$k_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = \left(\frac{0.9034}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.89$$

$$k_c = k_d = k_f = 1$$

El factor para una confiabilidad del 90% es  $k_e = 0.95$

Con la ecuación del límite de la resistencia a la fatiga

$$S_{se} = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Donde

$k_a$ : factor de modificación de la condición superficial

$k_b$ : factor de modificación del tamaño

$k_c$ : factor de modificación de la carga

$k_d$ : factor de modificación de la temperatura

$k_e$ : factor de confiabilidad

$k_f$ : factor de modificación de efectos varios

$S'_e = 0.5S_{ut}$ : límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

Calculando:

$$S_{se} = 0.93(0.89)(1)(1)(0.95)(1)0.5(55)$$

$$S_e = 21.62 \text{ kpsi}$$

Aplicando la ecuación de Goodman modificada, se sustituye:

$$\sigma_1 = \sigma_a = 15.91 \text{ ksi}$$

$$\frac{1}{n} = \frac{\sigma_a}{S_e}$$
$$n = \frac{S_e}{\sigma_a} = \frac{21.62 \text{ kpsi}}{15.91 \text{ kpsi}} = \mathbf{1.35}$$

Por lo que la platina de acero no fallara cuando el motor esté trabajando continuamente.

### 2.7.3. ANALISIS DE CARGAS DEL PERFIL ESTRUCTURAL

La condición crítica que se debe de analizar es el perfil que estará sometido a una mayor carga por fuerzas y momentos. Esta sección se muestra en la siguiente figura 45.



Figura 45. Diagrama de cuerpo libre de Perfil Estructural

Análisis de las reacciones:

$$R_A = R_B = 124.83 \text{ lb}$$

Para el cálculo del momento en ambos extremos de la plancha de soporte, se realizó un análisis de deformación debida a flexión con el método de las funciones singulares.

Del método de deflexión se conoce:

$$\frac{q}{EI} = \frac{d^4y}{d^4x} \quad \frac{V}{EI} = \frac{d^3y}{d^3x}$$

$$\frac{M}{EI} = \frac{d^2y}{d^2x} \quad \theta = \frac{dy}{dx}$$

Las funciones singulares se dan de la siguiente forma:

$$\frac{q}{EI} = -M\langle x \rangle^{-2} + 124.83\langle x \rangle^{-1} - 124.83\langle x - 6.65 \rangle^{-1} - 124.83\langle x - 13.03 \rangle^{-1}$$

$$+ 124.83\langle x - 19.68 \rangle^{-1} + M\langle x - 19.68 \rangle^{-2}$$

Las condiciones de frontera que se tienen son:

$$\theta(x = 0) = 0$$

$$\theta(x = 19.68) = 0$$

La ecuación del ángulo quedaría de la siguiente forma:

$$\frac{\theta}{EI} = -M\langle x \rangle^1 + 124.83\langle x \rangle^2 - 124.83\langle x - 6.65 \rangle^2 - 124.83\langle x - 13.03 \rangle^2 + 124.83\langle x - 19.68 \rangle^2$$

$$+ M\langle x - 19.68 \rangle^2$$

Evaluando las condiciones de frontera se obtuvo

$$C_1 = 0$$

$$M = 549.62 \text{ lb. plg}$$

#### 2.7.4. ANÁLISIS DE ESFUERZOS EN EL PERFIL ESTRUCTURAL

ESFUERZOS NORMALES CAUSADOS POR FLEXION

$$\sigma = \frac{Mc}{I}$$

Donde se conoce

$$M = 549.62 \text{ lb. plg}$$

$$c = 0.296 \text{ plg}$$

$$I = 0.021$$

Sustituyendo:

$$\sigma = \frac{549.62 * 0.296}{0.021}$$

$$\sigma = 7.74 \text{ kpsi}$$

#### ESFUERZO CORTANTE

$$\tau = \frac{Tc}{J}$$

Para un perfil angular, la ecuación del esfuerzo cortante queda de la siguiente manera:

$$\tau = \frac{T}{Cab^2}$$

Donde:

T: es el momento torsor aplicado en el perfil.

C: es una constante que viene dada por el tipo de perfil.

a: es la longitud de ambos lados externos del perfil.

b: es el espesor del perfil.

Sustituyendo se tiene:

$$\tau = \frac{178.15}{0.33 * 2 * \frac{1}{8}}$$

$$\tau = 17.119 \text{ kpsi}$$

#### CÁLCULO DE ESFUERZOS PRINCIPALES

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma_x}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma_x^2}{2} + \tau^2}$$

Sustituyendo los valores se obtiene:

$$\sigma_1 = 13.27 \text{ kpsi}$$

$$\sigma_2 = -5.52 \text{ kpsi}$$

#### CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD CON LA TEORÍA DEL ESFUERZO CORTANTE MÁXIMO.

$$\frac{S_Y}{2n} = \frac{\sigma_1 - \sigma_2}{2}$$

Sustituyendo:

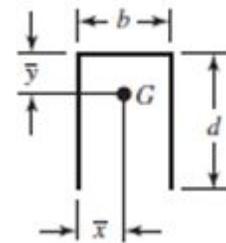
$$n = \frac{58}{13.27 + 5.52} = 3.1$$

Por lo tanto, podemos concluir que el perfil angular estructural no fallará con las cargas a las que se encontrará sometido.

### 2.7.5. ANÁLISIS DE LA SOLDADURA

Para la realización del banco es necesario calcular los esfuerzos a los que estarán sometidas las diferentes soldaduras. La soldadura más crítica será la que debe de unir la placa del soporte del motor con la estructura.

Para la soldadura de la placa de soporte el cordón de soldadura se realizará de la siguiente forma:



El cordón de soldadura posee las siguientes características:

$$A = 0.707 * h(b + 2d)$$

$$I_u = \frac{2d^3}{3} - 2d^2\bar{y} + (b + 2d)\bar{y}^2$$

$$I = 0.707 * h * I_u$$

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d}$$

Sustituyendo los valores, se tiene:

$$A = 0.31plg^2$$

$$I_u = 65.4762 \times 10^{-3} plg^3$$

$$I = 5.79 \times 10^{-3} plg^4$$

$$\bar{y} = \frac{d^2}{b + 2d} = 0.07143 plg$$

### ANÁLISIS POR CARGA VARIABLE

Como se analizó anteriormente, la placa que sostendrá al motor es de acero 1020. De la tabla 5 (ver anexo) para este material, las resistencias son  $S_{ut} = 55 \text{ kpsi}$  y  $S_y = 30 \text{ kpsi}$ . En el caso del electrodo E6013 de la tabla 3,  $S_{ut} = 62 \text{ kpsi}$  y  $S_y = 50 \text{ kpsi}$ .

El factor por superficie  $k_a = aS_{ut}^b$  para un elemento maquinado o laminado en frío,  $a=14.4 \text{ kpsi}$ ,  $b= -0.718$  es:  $k_a = 14.4 (55)^{-0.718} = 0.81$

El factor por tamaño  $k_b$ , se calcula en base a la tabla 2 calculando el diámetro efectivo para un elemento en flexión no rotativa.

$$b = 2.5 \text{ pulg}, h = 0.5 \text{ pulg}$$

$$d_e = 0.808\sqrt{hb} = 0.808\sqrt{(0.5)(2.5)} = 0.9 \text{ pulg}$$

$$k_b = \left(\frac{d}{0.3}\right)^{-0.107} = \left(\frac{0.9}{0.3}\right)^{-0.107} = 0.89$$

$$k_c = k_d = k_e = k_f = 1$$

Con la ecuación del límite de la resistencia a la fatiga

$$S_{se} = k_a k_b k_c k_d k_e k_f S'_e$$

Donde

$k_a$ : factor de modificación de la condición superficial

$k_b$ : factor de modificación del tamaño

$k_c$ : factor de modificación de la carga

$k_d$ : factor de modificación de la temperatura

$k_e$ : factor de confiabilidad

$k_f$ : factor de modificación de efectos varios

$S'_e = 0.5S_{ut}$ : límite de resistencia a la fatiga en viga rotatoria

Calculando:

$$S_{se} = 0.81(0.89)(1)(1)(1)(1)0.5(55)$$

$$S_e = 19.826 \text{ kpsi}$$

Luego se procede a calcular los esfuerzos alternantes, para esto, solo estará presente la fuerza alternante  $F_a=124.83 \text{ lb}$ ,  $F_m=0$

Cortante primario

$$\tau' = \frac{k_{fs}F_a}{A} = \frac{1.2(124.83)}{0.31 \text{ plg}^2}$$

$$\tau' = 488.21 \text{ psi}$$

Cortante secundario

$$\tau'' = \frac{k_{fs}Mr}{I} = \frac{1.2(178.15)(0.4286)}{5.79 \times 10^{-3}}$$

$$\tau'' = 15824.46 \text{ psi}$$

$$\tau = \sqrt{\tau'^2 + \tau''^2} = \sqrt{488.21^2 + 15824.46^2}$$

$$\tau = 15831.98 \text{ psi} = 15.832 \text{ kpsi}$$

El factor de seguridad a la fatiga está dado por

$$n = \frac{S_{se}}{\tau} = \frac{19.826}{15.832}$$

$$n = 1.25$$

Por lo que la soldadura tampoco fallará a la hora de operación del banco de pruebas.

## **2.8. SISTEMA DE CONTROL**

### **2.8.1. DESCRIPCIÓN**

El sistema de control es el que se encarga de la adquisición de los datos característicos del motor, así como de controlar de todos los parámetros medidos durante la prueba. Todas las señales provenientes de los sensores por medio de un controlador programable se transforman en señales visuales para ser monitoreadas por el operario.

### **2.8.2. ESPECIFICACIONES DEL DISEÑO**

El banco de pruebas será operado mediante un controlador microcontrolador programable, el cual mediante instrucciones programadas dará órdenes para la apertura o cierre de la válvula de flujo de aire al motor, mediante un motor de pasos. Las señales de los sensores serán procesadas por el controlador programable quien mediante una pantalla LED mostrará los valores de Velocidad de Giro del motor leído por el sensor de rpm. Los datos serán procesados en una hoja de cálculo de Excel donde posteriormente se obtendrá la curva torque velocidad del motor a cierto grado de carga.

Cuando se realiza la acción de frenado del motor por medio del freno dinamométrico, este posee un mecanismo acoplado con sensor de peso, que permite medir la fuerza que es transmitida desde el freno hasta el apoyo durante la prueba, y así mediante cierta calibración estimar el torque de freno.

Al igual que el sensor de torque, el banco de pruebas del motor debe contar con un medidor de velocidad de giro. Este sensor de velocidad de giro se encuentra ubicado al final el eje de la transmisión entre el motor- freno. Dicha medición será procesada por el controlador programable.

La figura 46 muestra un esquema representativo de los elementos y su conexión en el sistema de control.

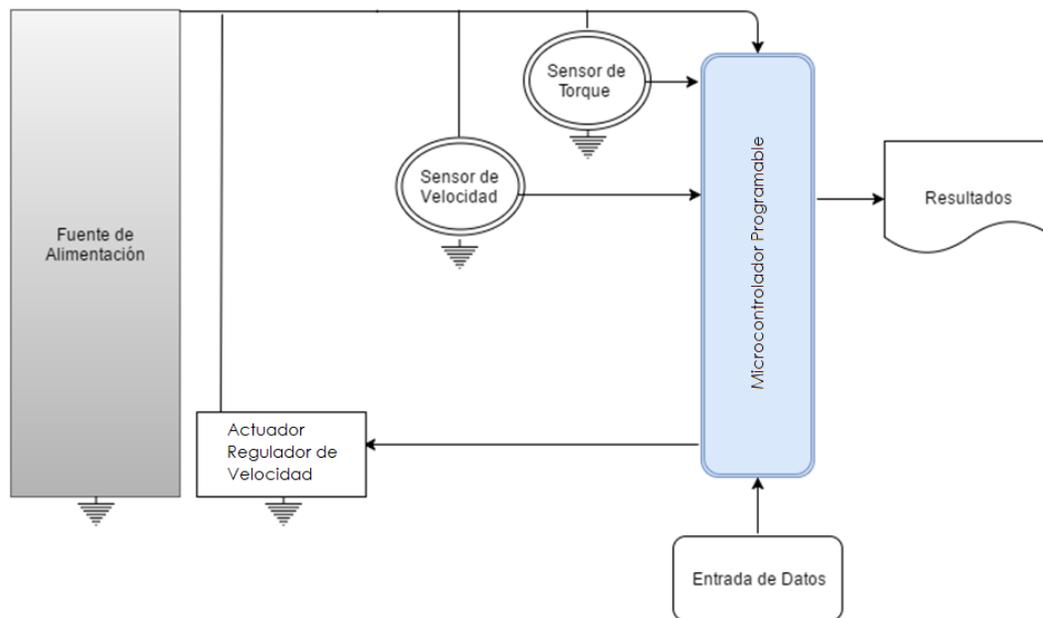


Figura 46. Esquema simplificado de Sistema de Control

El objeto del sistema de control es definir las condiciones para que esta operación estable tenga lugar a una velocidad predeterminada, o a una sucesión de ellas, pudiendo así puntualizarse los dos requerimientos que se imponen sobre esta unidad de control:

- Operar el motor en régimen estacionario a una cierta velocidad.
- Posibilitar un rápido cambio de un régimen de operación a otro.

El sistema de control está diseñado con la finalidad de facilitar las tareas al operario. Este sistema tiene la versatilidad de poder mostrar los datos en tiempo real gracias a la comunicación serial establecida entre el computador y el microcontrolador programable.

En el diagrama de flujo de la figura 19, se muestra en resumen la secuencia de pasos que guían la prueba. Se establece un valor inicial de velocidad angular requerida, este valor es comparado con el valor proporcionado por el sensor de velocidad hasta lograr un ajuste,

una vez teniendo el valor requerido este es enviado junto con el valor de torque a una hoja calculo donde se grafican los valores parámetros del motor de combustión interna en tiempo real. Los valores de rpm son incrementados automáticamente en aproximadamente 100RPM la diferencia del valor requerido anterior.

Luego de haber obtenido a nube de datos para los parámetros del motor de combustión interna en la hoja de cálculo, debe aplicarse una regresión a estos para obtener una mejor tendencia de las curvas.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

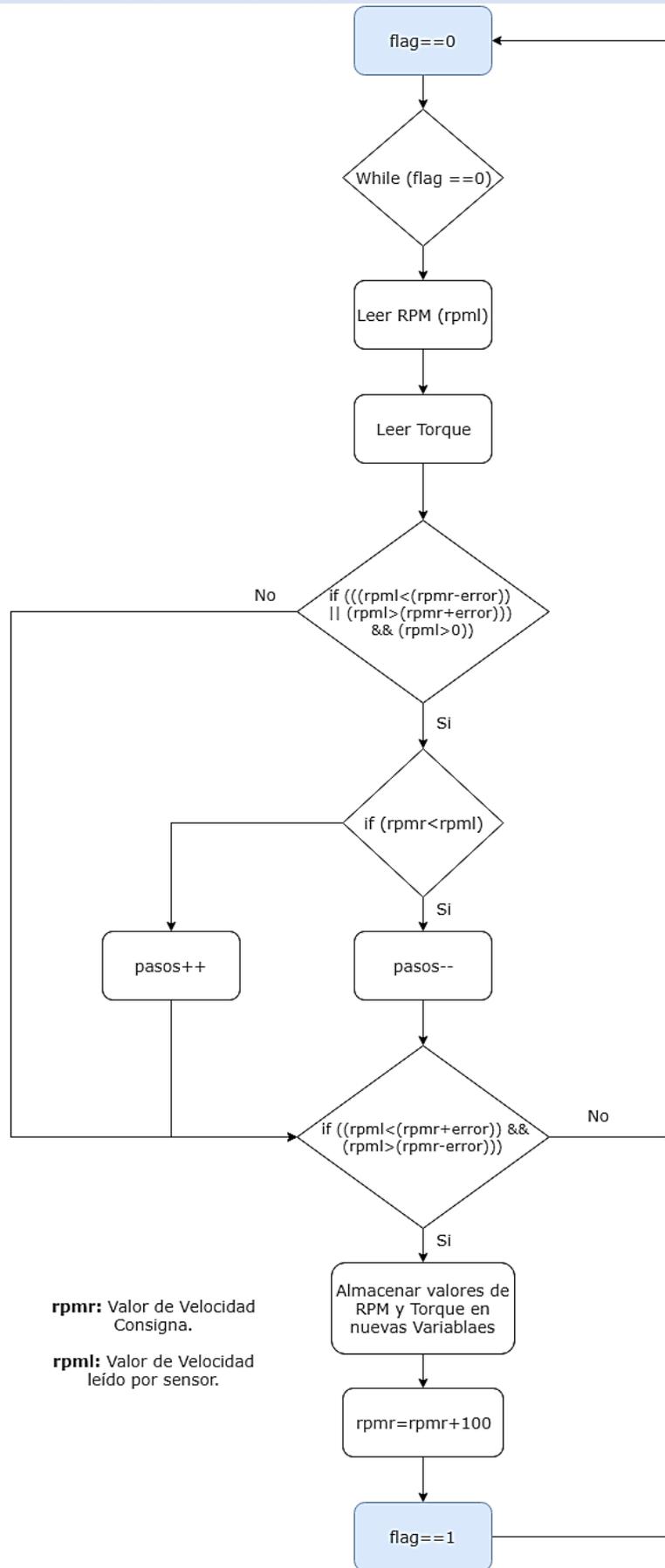


Figura 47. Flujograma de control

### 2.8.3. DIAGRAMA DE BLOQUES

Con el fin de representar de una forma más sencilla el proceso de control se presenta a continuación un diagrama de bloques que simboliza el proceso que realiza el equipo para estabilizar a un determinado valor de régimen solicitado (valor referencia). Este valor de referencia se incrementa en 100 veces su valor anterior cada vez que este logra estabilizar para el valor solicitado.

El tipo de control utilizado para lograr este proceso es de tipo lazo cerrado, y los componentes utilizados es microcontrolador programable de tipo arduino (controlador), un motor de pasos (actuador) quien recibe órdenes del controlador para acelerar o desacelerar el motor de combustión, y un sensor de velocidad (sensor) el cual es el que se encarga de medir las revoluciones del motor en tiempo real para determinar el error existente entre el valor leído y el valor de referencia (Ver Figura 48).

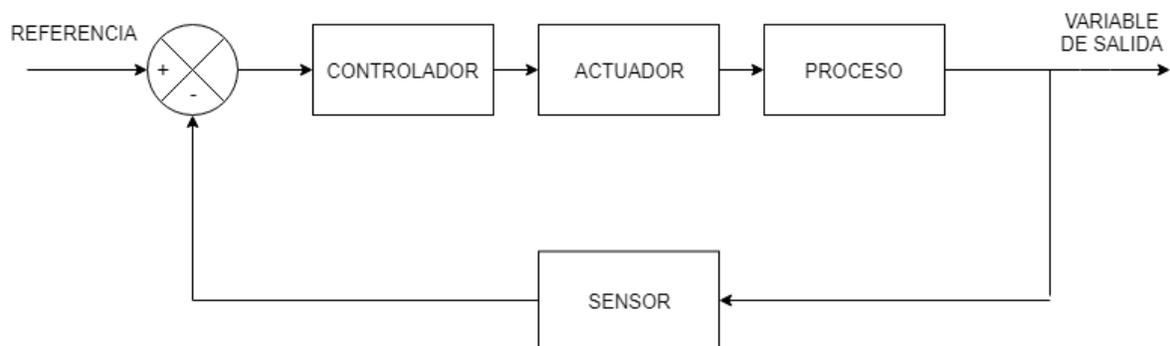


Figura 48. Diagrama de bloques

Diagrama de Bloques para un sistema de control con realimentación (Lazo Cerrado)

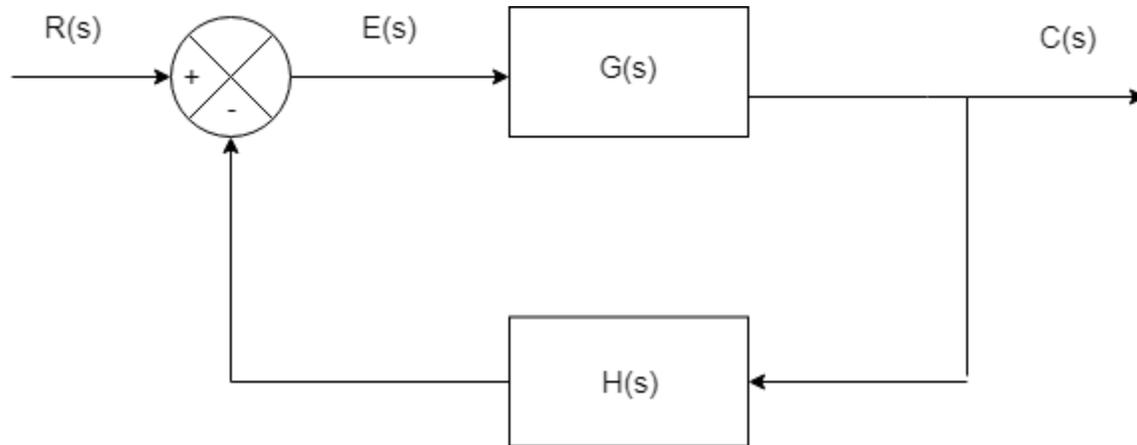


Figura 49. Diagrama de Bloques para un sistema de control con realimentación (Lazo Cerrado)

Donde: R(s): Valor de entrada (Referencia)

E(s): Señal de error

G(s): Bloque funcional.

H(s): Señal de realimentación

C(s): Salida Controlada

Función de Transferencia

$$\frac{C(s)}{R(s)} = \frac{G(s)}{1 + H(s) \cdot G(s)}$$

### 2.8.4. ESQUEMA DEL SISTEMA DE CONTROL

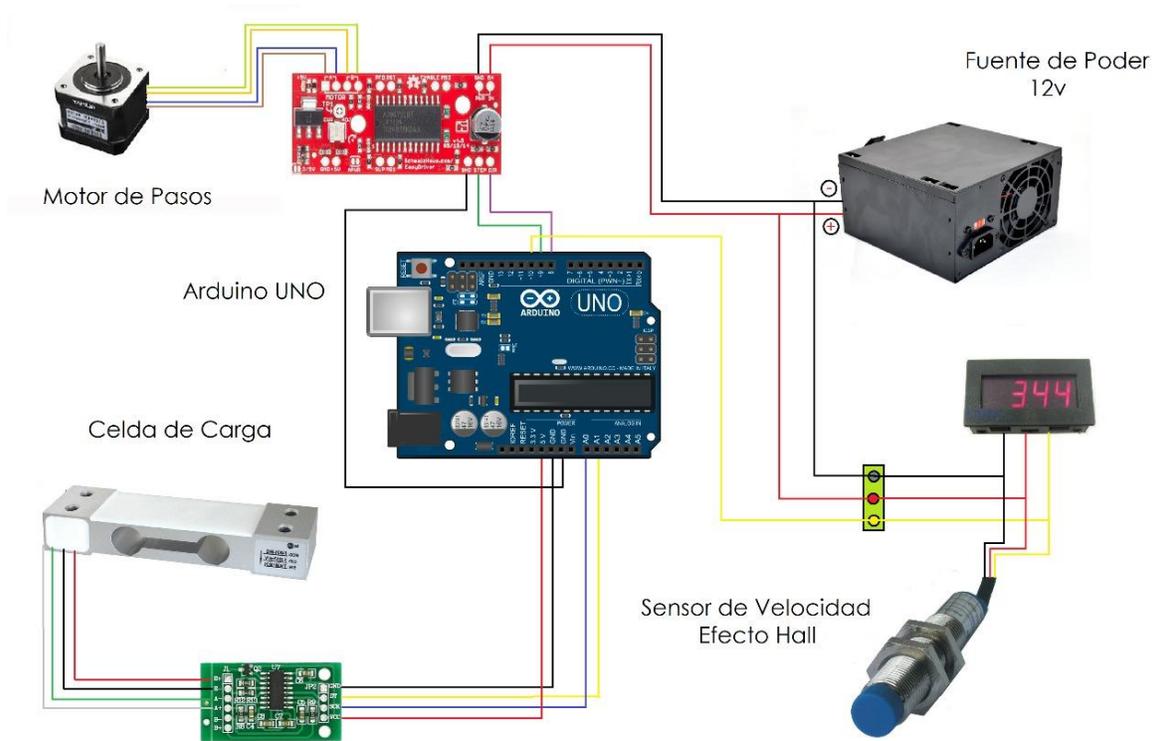


Figura 50. Esquema de conexión de Sistema de control

### 3. PROCESO DE CONSTRUCCIÓN E INSTALACIÓN

Como punto de partida se tienen los planos que se realizaron en el capítulo del diseño. Para la construcción de dicho banco el proceso se divide en diferentes etapas, para que al final se ensamble el banco con todos sus componentes.

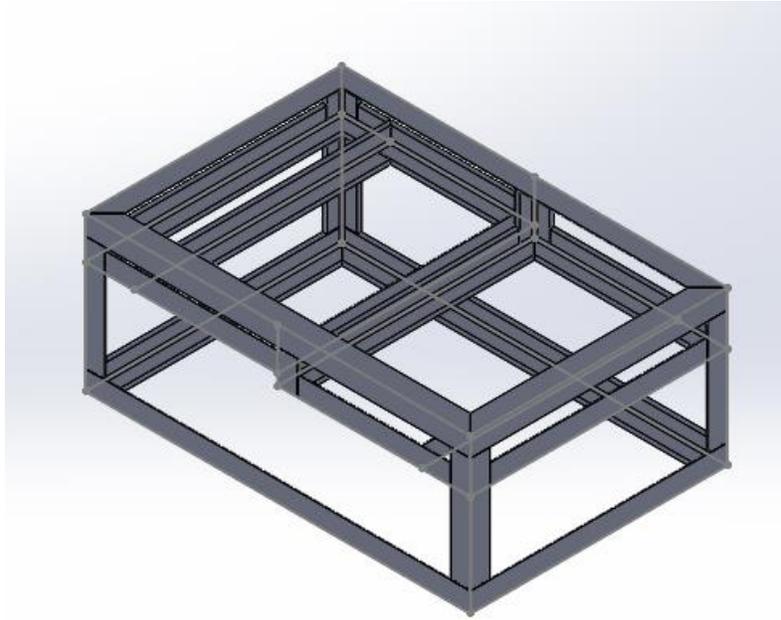
El proceso de construcción se divide en:

- Fabricación de la estructura o bancada.
- Rehabilitación del freno dinamométrico de agua.
- Corte y perforación de las placas que soportaran el motor y freno.
- Corte y doblado de las láminas que cubren la bancada.
- Fabricación de anclajes del banco.
- Fabricación del soporte del motor de pasos.
- Corte y perforación de las placas que soportan la bancada.
- Colocación de aisladores de vibraciones mecánicas.
- Fabricación de tapadera de madera para la parte superior del banco.
- Colocación de la alimentación de agua.
- Armado del Motor y freno.
- Colocación de la instrumentación.
- Proceso de pintura general del banco.

En el proceso constructivo se incluyen procesos de fabricación tales como: corte, soldadura, esmerilado, perforación a continuación se detalla cada una de las partes antes mencionadas.

#### 3.1. FABRICACIÓN DE LA ESTRUCTURA METÁLICA

La estructura metálica se realizará con perfil de acero estructural de 1.5"x1.5"x3/16". Las medidas de dicha estructura se especificaron en uno de los planos del diseño. En la figura 51 se muestra la forma final que tendrá la estructura del banco.



**Figura 51. Esquema de la bancada.**

El proceso a seguir en la fabricación de la bancada fue el siguiente:

1. Medir y marcar en los perfiles estructurales las piezas de la bancada.
2. Corte de los perfiles estructurales en las diferentes piezas.
3. Limpiar con cepillo de alambre las zonas donde se aplicará soldadura por arco eléctrico.
4. Armar la base de la estructura, juntando las esquinas de la base.
5. Aplicar puntos para armar la base de la estructura.
6. Verificar que todas las esquinas se encuentren a escuadra a 90°.
7. Realizar los cordones de soldadura de la base.
8. Retirar la escoria generada por los cordones de soldadura.
9. Armar la parte superior de la estructura.
10. Aplicar puntos de soldadura, y revisar que todo se encuentre a escuadra.
11. Rellenar los cordones de soldadura y retirar la escoria generada.
12. Limpiar todas las zonas donde se aplicó soldadura con cepillo de alambre y lija.

13. Aplicar pintura antioxidante en la estructura.

### 3.2. REHABILITACIÓN DEL FRENO HIDRÁULICO

En el capítulo del diseño se seleccionó como carga para el motor un freno del tipo hidráulico. La Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador contaba con un dispositivo de este tipo que se donó para utilizarse en el proyecto, pero se encontraba en condiciones inadecuadas. Debido a esto se le realizó un mantenimiento correctivo para poder habilitarlo para los fines de nuestro proyecto.

El estado del freno hidráulico se muestra en la figura 52:



Figura 52. Estado del freno Hidráulico.

El mantenimiento correctivo incluyó los siguientes puntos:

- Desarmar el freno, con cuidado de no dañar ninguna parte del mismo
- Limpieza total de las carcasas y el rodete, con cepillo de alambre, lija y WD40.
- Fabricación de un nuevo eje con iguales dimensiones, ya que el anterior no podía ser utilizado de nuevo. Para el nuevo eje se utilizó acero inoxidable para aumentar

la vida útil del mismo, ya que el eje constantemente se encuentra en contacto con agua a elevada temperatura.

- Limpiar y lubricar los rodamientos axiales, debido a que estos no se encuentran sometidos a cargas grandes y el estado de los mismos era considerablemente bueno.
- Sustituir el sello mecánico, para evitar fugas de agua al operar el freno hidráulico.
- Reemplazar los rodamientos de apoyo del eje. Para este procedimiento se necesita utilizar equipo especial para introducir dichos rodamientos en el eje.
- Sustituir todas las cuñas que se utilizan en el eje.
- Sustituir todos los seguros de resorte del freno, principalmente los del rodete ya que son los que se encuentran en mayor contacto con el agua.

### **3.3. PROCEDIMIENTO DE ARMADO DEL FRENO**

- Lijar el eje para colocar el rodete, el cual debe de entrar a presión,
- Colocar las cuñas nuevas en el eje, e introducir el rodete. Para introducir el rodete se utiliza una prensa hidráulica y un buje fabricado para esta actividad.
- Fabricar un buje para colocar los rodamientos en la posición correcta en el eje.
- Colocar los sellos mecánicos en el eje.
- Fijar las chumaceras a las carcasas del freno.
- Armar primero un lado del freno, para esto se debe de colocar una carcasa del freno y luego introducir uno de los rodamientos principales con el buje.
- Para colocar la otra carcasa del freno se deben de alinear ambas carcasas mediante la guía que posee una de ellas. Luego se debe de introducir el otro rodamiento en la prensa hidráulica.
- Fabricar un empaque para acoplar las carcasas del freno, y así evitar fugas de agua que puedan dañar la parte electrónica del banco.
- Fijar las chumaceras antes de colocar los rodamientos en sus posiciones.

- Colocar los pernos de la carcasa del freno, deben de ser apretados en forma de estrella.

### **3.4. FABRICACIÓN DE TAPADERAS DEL BANCO**

Para cubrir la bancada se utilizó lamina de 1 mm de espesor. Se fabricaron 5 tapaderas de las cuales 4 eran laterales y una inferior de la base del banco.

El procedimiento para realizar dichas tapaderas es el siguiente:

- Dibujar en la lámina las piezas, utilizando marcador, escuadra y regla.
- Cortar las piezas haciendo uso de la cortadora hidráulica.
- Marcar los puntos donde se colocarán los pernos para sujetar dichas laminas.
- Perforar los agujeros en las piezas.
- Doblar las láminas en la dobladora.
- Limpiar las piezas y lijar con lija #100 para eliminar la capa de óxido de dichas láminas.
- Aplicar pintura anticorrosiva utilizando pistola de pintura.

### **3.5. FABRICACIÓN DE ANCLAJES DEL BANCO**

El banco debe de ser sujetado a la cimentación. Para esta función, se fabricaron 4 anclajes los cuales se encargan de sostener el banco a la cimentación por medio de espárragos y tuercas. El proceso seguido fue el siguiente:

- Medir y marcar en el perfil estructural cuadrado los cuatro anclajes.
- Cortar con el uso de cierra las piezas.
- Perforar los dos agujeros de diferente diámetro en cada uno de los anclajes.
- Limpiar y lijar con abrasivo #100 las cuatro piezas.
- Aplicar pintura anticorrosiva.

### 3.6. FABRICACIÓN DEL SOPORTE DEL MOTOR DE PASOS

Para sostener el motor de pasos fue necesario hacer un soporte (Figura 53), el proceso para fabricarlo fue el siguiente:

- Corte de las piezas de la lámina de 1/8 plg.
- Perforación de los agujeros para sostener el motor y donde sale el eje del mismo.
- Armado de la pieza y aplicar soldadura.
- Limpieza de la pieza.

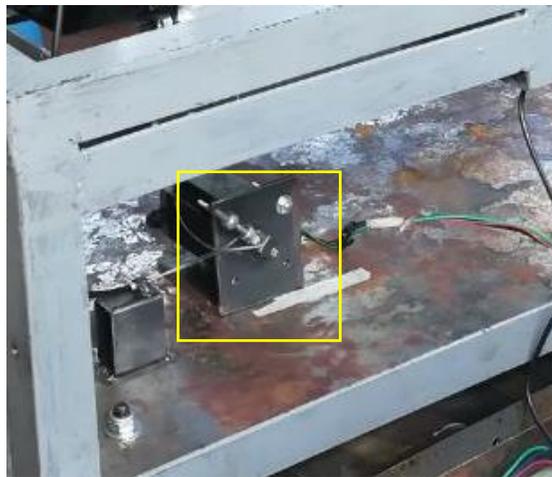


Figura 53. Soporte del motor de pasos.

### 3.7. SOLDADURA DE LAS PLACAS DE SOPORTE DEL MOTOR Y FRENO

- Cortar las placas del motor de acuerdo con las medidas establecidas en el plano del diseño.
- Perforar los agujeros chinos en las placas para colocar el motor.
- Realizar el proceso de soldadura de las placas en la estructura de acuerdo al plano.
- Realizar el mismo proceso para las placas del freno.

### 3.8. CORTE Y PERFORACIÓN DE PLACAS QUE SOPORTAN LA BANCADA

- Cortar las placas de soporte de la bancada de acuerdo con las medidas establecidas en el plano del diseño.

- Perforar los agujeros chinos en las placas para colocar los aisladores de las vibraciones mecánicas.
- Realizar el proceso de soldadura de las placas en la estructura de acuerdo al plano, dejando a escuadra las placas.

### **3.9. COLOCACIÓN DE AISLADORES DE VIBRACIONES MECÁNICAS**

- Montar los 4 anclajes del banco y apretar correctamente hasta dejar fijo cada uno de los anclajes.
- Colocar cada uno de los aisladores dentro de los agujeros de los anclajes.
- Con ayuda de una llave #17 apretar la tuerca de seguridad para evitar que se mueva el anclaje.
- Realizar el mismo procedimiento para los 4 aisladores.

### **3.10. FABRICACIÓN DE LA TAPADERA DE MADERA PARA LA PARTE SUPERIOR DEL BANCO**

Para cubrir la parte superior del banco y evitar que los alumnos intenten introducir sus manos dentro del banco, se fabricó una cubierta de madera de 3/8 plg de espesor. El procedimiento a seguir fue el siguiente:

- Dibujar la pieza en la madera con lápiz.
- Marcar los puntos donde se realizarán perforaciones.
- Cortar las piezas con utilizando una caladora, observe la figura 54.
- Realizar las perforaciones donde se introducirán los tornillos para sujetar dichas tapaderas a la bancada.
- Lijar las piezas.
- Aplicar barniz de color oscuro.

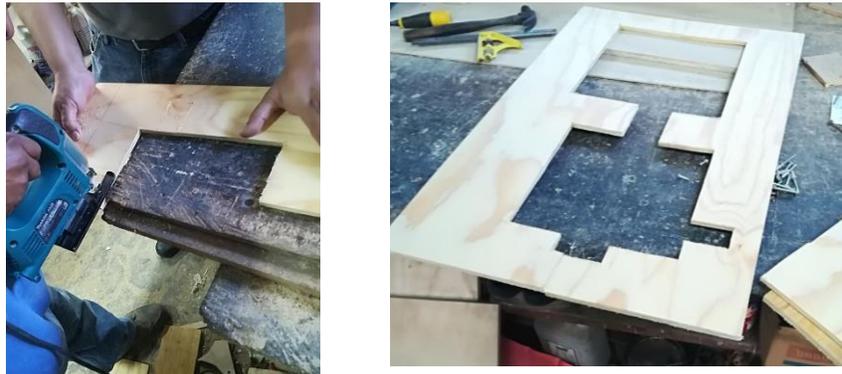


Figura 54. Fabricación de tapaderas de madera del banco.

### 3.11. COLOCACIÓN DE ALIMENTACIÓN DE AGUA

Debido a que el freno dinamométrico funciona con agua, se realizó una conexión a la red de agua del edificio de Ingeniería Mecánica.

La instalación fue la siguiente:

- Colocar una T de  $\frac{1}{2}$  plg, en la terminal más cercana.
- Colocar tubería de  $\frac{1}{2}$  hasta la ubicación del banco.
- Instalación de una válvula de globo para aperturar o cerrar el paso de agua cuando se conecte el banco para realizar pruebas.

### 3.12. ALINEAMIENTO DEL ACOPLAMIENTO DEL FRENO Y EL MOTOR

Para evitar daños tanto en el freno como en el motor, es necesario realizar un acoplamiento completamente nivelado y alineado entre ambos dispositivos. En la figura 55 se muestra el proceso de nivelación y alineamiento entre ambos ejes.

Procedimiento a seguir:

- Antes de montar el motor sobre las placas se deben de colocar el material aislante entre el motor y las placas.

- Luego se debe de colocar el motor sobre los agujeros en las placas que lo soportaran.
- Nivelar el motor.
- Posicionar el freno sobre las placas que lo soportaran.
- Ajustar la altura del freno hasta que el acople del freno y motor queden al mismo nivel.
- Colocar la goma (araña) en el acople del motor.
- Alinear correctamente el freno con el motor para evitar daño en alguno de los dos componentes.
- Apretar las tuercas de regulación del freno.

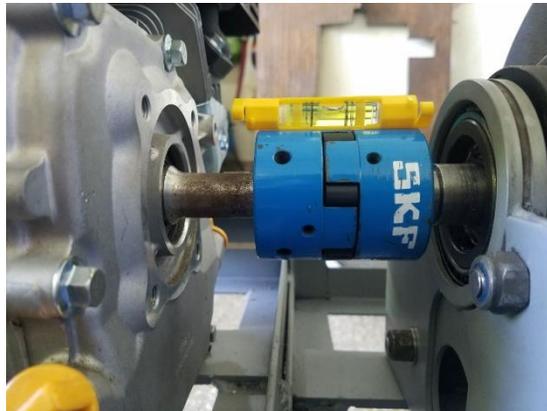


Figura 55. Alineamiento y nivelación del acoplamiento entre el eje del motor y el eje del freno

### 3.13. INSTRUMENTACIÓN DEL BANCO

- Fabricación de un soporte para el sensor de rpm (Figura 56).

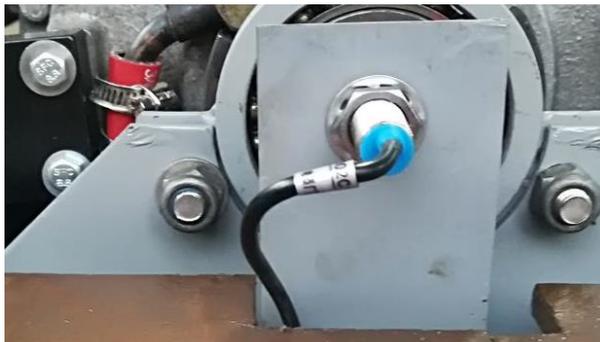
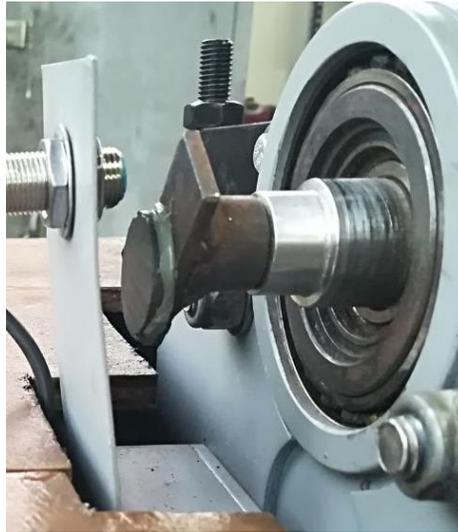


Figura 56. Soporte de sensor de las rpm.

- Hacer una pieza para colocar el imán del sensor del régimen de giro, dicha pieza debe de ser acoplada al eje del freno como se muestra en la figura 57.



**Figura 57. Soporte del imán de las rpm.**

- Fijar el imán de las revoluciones en la pieza que irá acoplada al eje del freno tal y como se observa en la figura 57.
- Fabricación de la placa donde irá fijada la celda de carga en la figura 56.

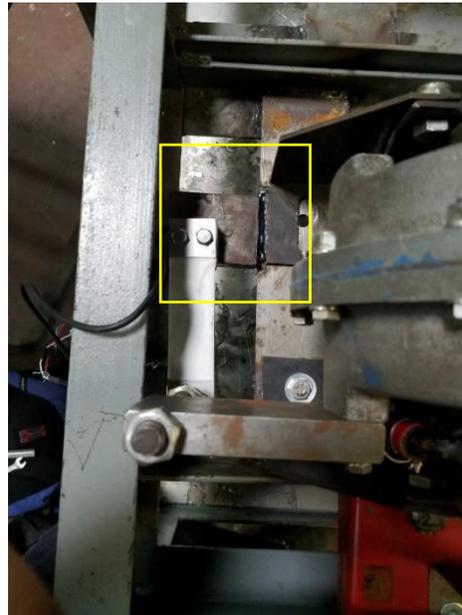


Figura 58. Soporte de la celda de carga.

- Colocar la celda de carga y fijarla para su posterior calibración, tal y como se observa en la figura 58.
- Armado del circuito de control en la tarjeta perforada tal y como se muestra en la figura 59.

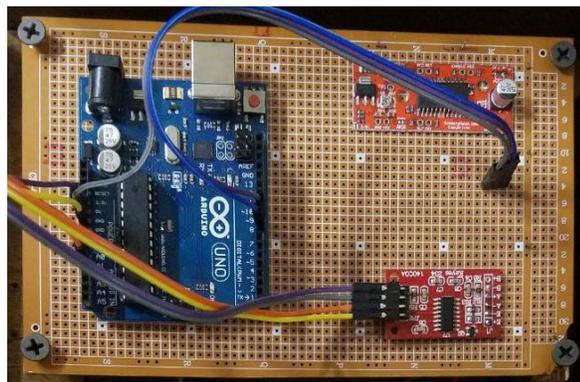


Figura 59. Circuito de control armado.

- Fabricación de la caja que protegerá al sistema de control y la fuente en la figura 60.



**Figura 60. Caja de madera para el Circuito de control.**

- Colocación del circuito de control y la fuente de alimentación para todo el circuito y actuador del sistema en la caja de madera, como se ve en la figura 61.



**Figura 61. Montaje del circuito y fuente en la caja de madera.**

### 3.14. UBICACIÓN DEL EQUIPO

El banco se encuentra ubicado en el Laboratorio de Motores de la Escuela de Ingeniería Mecánica (obsérvese la figura 62)

El banco está montado sobre una cimentación de 85 cm de altura sobre el nivel del suelo. Dicha cimentación posee 4 espárragos donde van colocados los anclajes del banco.

La alimentación de agua se conecta mediante una madera de ½ plg hasta la válvula de globo de la red del edificio.

Para la alimentación eléctrica se debe de conectar a un voltaje 110v por medio de una extensión y así conectar la fuente del equipo.



Figura 62. Ubicación del banco.

## 4. PRUEBAS Y RESULTADOS

Las pruebas se realizaron en el Laboratorio de Motores de Combustión Interna de la Escuela de Ingeniería Mecánica de La Universidad de El Salvador, el día 01 de marzo de 2018 a partir de las 18 horas con 13 minutos.

Dado que los datos obtenidos son datos dispersos, es necesario aplicar regresión para obtener la tendencia de la gráfica deseada. Por esta misma razón es necesario eliminar los primeros valores obtenidos ya que estos no corresponden a la tendencia del motor dado que se obtienen mientras se logra la estabilidad del mismo. Los resultados que se leyeron durante la prueba se muestran a continuación:

**Tabla 12. Resultados de Prueba**

Parámetros Obtenidos							
Date	Time	Index	RPM	Torque	ValRPM	ValTorque	ValPotencia
1/3/2018	18:13:36	0	1034.48	2.64			
1/3/2018	18:13:38	1	2307.69	3.49			
1/3/2018	18:13:41	2	2400	3.6			
1/3/2018	18:13:43	3	2307.69	3.65			
1/3/2018	18:13:46	4	2222.22	3.81			
1/3/2018	18:13:48	5	2307.69	4.04			
1/3/2018	18:13:51	6	2222.22	4.25			
1/3/2018	18:13:53	7	2142.86	4.63			
1/3/2018	18:13:55	8	1935.48	4.98	1935.48	4.98	1.37
							0.00
1/3/2018	18:13:58	10	1935.48	5.11	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:00	11	2000	5.25	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:03	12	1875	5.4	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:05	13	1935.48	5.52	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:07	14	1818.18	5.61	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:10	15	1764.71	5.74	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:12	16	1764.71	5.89	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:15	17	1666.67	6.07	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:18	18	1764.71	6.29	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:20	19	1621.62	6.31	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:22	20	1621.62	6.46	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:25	21	1714.29	7.32	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:27	22	1875	8.13	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:30	23	2000	8.74	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:32	24	1935.48	9.78	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:35	25	2222.22	10.78	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:37	26	2222.22	10.55	1935.48	4.98	1.37

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

1/3/2018	18:14:39	27	2307.69	10.26	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:42	28	2142.86	9.91	2142.86	9.91	3.02
							0.00
1/3/2018	18:14:44	30	2307.69	10	2142.86	9.91	3.02
1/3/2018	18:14:47	31	2068.97	9.71	2142.86	9.91	3.02
1/3/2018	18:14:49	32	2222.22	9.94	2222.22	9.94	3.15
							0.00
1/3/2018	18:14:51	34	2142.86	10.02	2222.22	9.94	3.15
1/3/2018	18:14:54	35	2142.86	10.34	2222.22	9.94	3.15
1/3/2018	18:14:56	36	2222.22	10.6	2222.22	9.94	3.15
1/3/2018	18:14:59	37	2400	10.6	2222.22	9.94	3.15
1/3/2018	18:15:01	38	2222.22	10.56	2222.22	9.94	3.15
1/3/2018	18:15:03	39	2400	10.72	2222.22	9.94	3.15
1/3/2018	18:15:06	40	2307.69	10.58	2307.69	10.58	3.48
							0.00
1/3/2018	18:15:08	42	2307.69	10.48	2307.69	10.58	3.48
1/3/2018	18:15:11	43	2400	10.63	2400	10.63	3.63
							0.00
1/3/2018	18:15:13	45	2307.69	10.59	2400	10.63	3.63
1/3/2018	18:15:15	46	2307.69	10.87	2400	10.63	3.63
1/3/2018	18:15:17	47	2500	11.18	2500	11.18	3.98
							0.00
1/3/2018	18:15:19	49	2400	11.24	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:21	50	2727.27	11.58	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:23	51	2500	10.85	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:25	52	2500	11.5	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:27	53	2500	11.6	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:29	54	2727.27	11.53	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:31	55	2727.27	11.3	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:33	56	2500	10.88	2500	11.18	3.98
1/3/2018	18:15:35	57	2608.7	11.21	2608.7	11.21	4.17
							0.00
1/3/2018	18:15:37	59	2500	11.23	2608.7	11.21	4.17
1/3/2018	18:15:39	60	2727.27	11.37	2727.27	11.37	4.42
							0.00
1/3/2018	18:15:42	62	2727.27	11.27	2727.27	11.27	4.38
							0.00
1/3/2018	18:15:44	64	2500	11.34	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:15:46	65	2608.7	11.96	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:15:48	66	3000	12.87	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:15:50	67	3000	12.29	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:15:52	68	3000	12.21	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:15:54	69	2727.27	11.87	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:15:56	70	3000	11.9	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:15:58	71	3000	11.85	2727.27	11.27	4.38
1/3/2018	18:16:00	72	2857.14	11.29	2857.14	11.29	4.59
							0.00
1/3/2018	18:16:02	74	2727.27	11.17	2857.14	11.29	4.59

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

1/3/2018	18:16:03	75	2857.14	11.9	2857.14	11.29	4.59
1/3/2018	18:16:05	76	3000	12.11	3000	12.11	5.17
							0.00
1/3/2018	18:16:07	78	3157.89	12.11	3157.89	12.11	5.45
							0.00
1/3/2018	18:16:09	80	3157.89	11.99	3157.89	11.99	5.39
							0.00
1/3/2018	18:16:11	82	3000	11.99	3157.89	11.99	5.39
1/3/2018	18:16:13	83	3333.33	12.47	3333.33	12.47	5.92
							0.00
1/3/2018	18:16:15	85	3529.41	13.17	3333.33	12.47	5.92
1/3/2018	18:16:17	86	3333.33	13.05	3333.33	13.05	6.20
							0.00
1/3/2018	18:16:19	88	3333.33	12.73	3333.33	13.05	6.20
1/3/2018	18:16:21	89	3529.41	13.04	3529.41	13.04	6.56
							0.00
1/3/2018	18:16:23	91	3333.33	13.07	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:25	92	3529.41	12.74	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:27	93	3529.41	12.54	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:29	94	3157.89	12.19	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:31	95	3333.33	11.45	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:33	96	3333.33	10.94	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:35	97	2857.14	10.5	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:37	98	2400	8.69	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:39	99	2400	8.28	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:41	100	2400	8.38	3529.41	13.04	6.56
1/3/2018	18:16:43	101	2222.22	7.92	3529.41	13.04	6.56

Dado que el banco de pruebas tiene su propio control, los datos se obtienen de forma ininterrumpida y se trasladan automáticamente hasta una hoja de cálculo donde se procesan y se generan las curvas en tiempo real. El programa posee una variable de error lo que permite que los resultados puedan diferir +/- 75RPM del valor establecido como “setpoint” o valor requerido. A su vez este valor anterior se incrementa en ciclos de 100 RPM cada vez que determina que el equipo se ha estabilizado y leído los valores correspondientes solicitados, en base a estos valores es que se generan las curvas.

Los valores presentados en las columnas “Torque” y “RPM” de la tabla anterior, se refieren a los datos que el sensor de velocidad tiene instantáneamente y que cambian durante toda la práctica a medida este busca generar un ajuste.

Los valores obtenidos en las columnas “ValTorque”, “ValRPM” y “ValPotencia” de la tabla anterior, simbolizan los resultados que se obtienen cada vez que el motor logra estabilizar en el valor requerido, y a su vez son los datos que generan las gráficas durante la prueba.

Las gráficas obtenidas correspondientes a los datos mostrados anteriormente son las que se presentan en la figura 63 y 65.

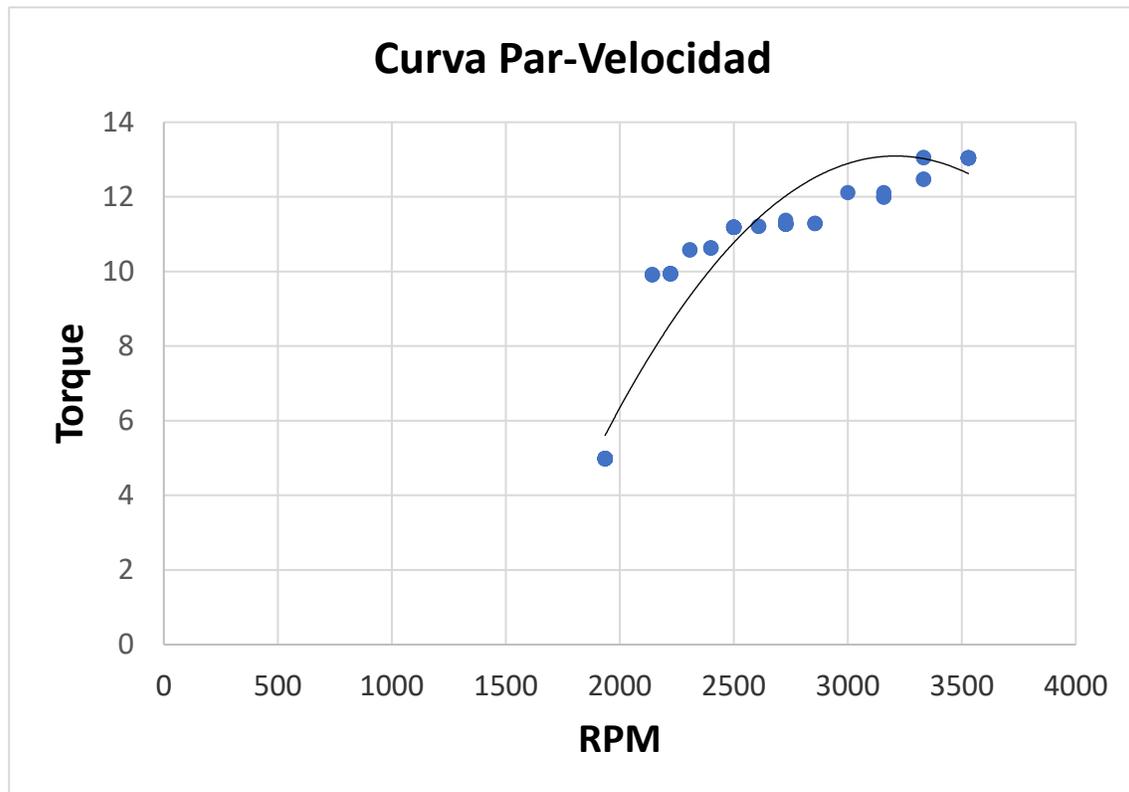


Figura 63. Curva Par-Velocidad

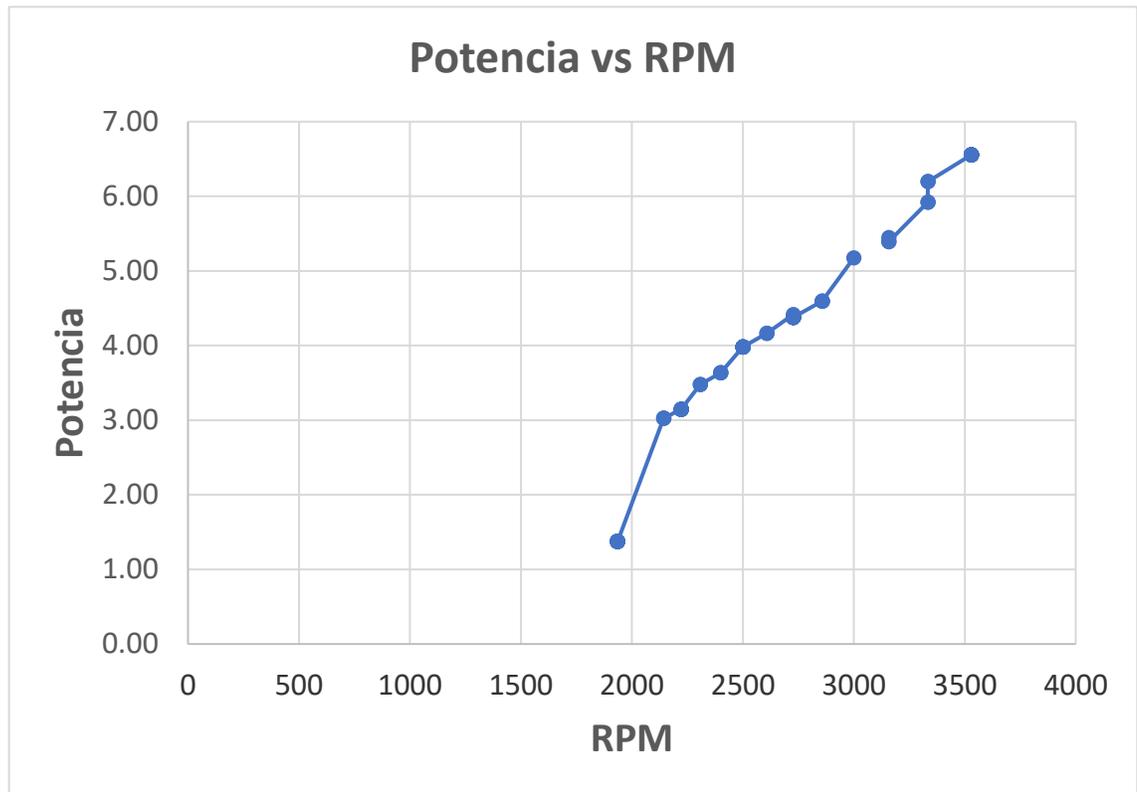


Figura 64. Curva Potencia-RPM

Con el fin de comparar los datos obtenidos con los datos teóricos proporcionados por el fabricante, se presentan a continuación las curvas que define Kohler en su catálogo para el modelo de motor SH265. Ambas se muestran en la figura 65.

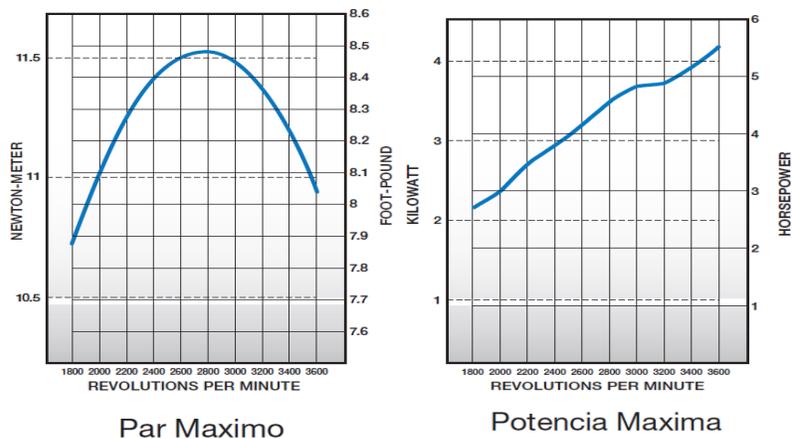


Figura 65. Curvas del motor proporcionadas por el fabricante

Se observa que los datos obtenidos son bastante similares a los proporcionados por el fabricante y que conllevan a seguir la tendencia característica que poseen este tipo de curvas para definir cualquier motor de combustión interna.

## 5. CONCLUSIONES

La curva obtenida con datos experimentales durante la prueba presenta una tendencia similar a la curva que ofrece el fabricante del motor, la curva se ve afectada por la rapidez de lectura de los sensores.

La respuesta del control proporcional es bastante aceptable ya que durante las pruebas no se presentaron fluctuaciones durante intervalos de tiempo largos por lo que es una buena opción, para controlar este tipo de dispositivos y obtener datos fidedignos.

El costo de un banco de pruebas para motores depende del alcance que tenga dicho banco, ya que para hacer pruebas con motores de mayor potencia se necesitan otro tipo de componentes y los costos aumentan.

La construcción del banco se debe de realizar en un taller especializado que cuente con todas las herramientas necesarias, ya que incluye procesos de corte, esmerilado, soldadura, perforación y ajuste.

El manual de mantenimiento incluye soluciones a fallas que puedan presentarse en los componentes del banco. Así el procedimiento general de montaje y ensamble del banco.

En la guía de laboratorio el estudiante podrá identificar los elementos principales del banco y la función de cada uno de los componentes. Además, se presentan asignaciones para complementar el conocimiento adquirido durante la realización de la prueba de laboratorio.

## 6. RECOMENDACIONES

Investigar acerca de cómo se podría mejorar el código del programa para mejorar la respuesta del control del banco. De esta forma se puede obtener un numero mayor de lectura y mejorar la calidad de los datos obtenidos en los resultados.

Analizar la posibilidad de adaptar otro motor de mayor potencia para realizarle ensayos. Debido a que la potencia de absorción que tiene el freno dinamométrico es superior a los 6.5 HP por lo que es posible ensayar otros motores.

Realizar mediciones de consumo promedio de combustible del motor.

Especificar los ciclos de trabajo del banco, con el objetivo de proteger la vida útil del equipo y así evitar daños al banco,

Medir la temperatura de la entrada y salida del agua del freno dinamométrico. Esto para caracterizar el freno y calcular la eficiencia volumétrica del mismo, así como la energía que se disipa en forma de calor por parte del mismo.

Estudiar la viabilidad de colocar un sistema de enfriamiento para el freno dinamométrico. De esta forma se evita el consumo continuo de agua durante cada ensayo, además al utilizar un circuito de enfriamiento se debe de seleccionar correctamente el refrigerante a utilizar para evitar daños en el freno dinamométrico.

## 7. BIBLIOGRAFÍA

### ➤ SITIOS WEB

#### **CICLOS TERMODINÁMICOS - ENERGIADOBLECERO**

**Bibliografía:** energiadoblezero. (2016). Ciclos termodinámicos - energiadoblezero. [en línea] Disponible en: <http://energiadoblezero.com/definiciones/ciclos-termodinamicos>

#### **CICLO DE OTTO**

**Bibliografía:** Acer.forestales.upm.es. (2016). Ciclo de Otto. [en línea] Disponible en: <http://acer.forestales.upm.es/basicas/udfisica/asignaturas/fisica/termo2p/otto.html>

#### **CICLO DIESEL**

**Bibliografía:** Cie.unam.mx. (2016). Ciclo Diesel. [en línea] Disponible en: <http://www.cie.unam.mx/~ojs/pub/Termodinamica/node48.html>

#### **POTENCIA Y PAR MOTOR. CADENA CINEMÁTICA. ESTABILIDAD EN LOS VEHÍCULOS.**

**Bibliografía:** Ingemecanica.com. (2016). Potencia y Par Motor. Cadena Cinemática. Estabilidad en los Vehículos. [en línea] Disponible en: <http://ingemecanica.com/tutorialsemanal/tutorialn63.html>

#### **FRENO DE FROUDE**

**Bibliografía:** Diccionario.motorgiga.com. (2016). FRENO DE FROUDE - Definición - Significado. [en línea] Disponible en: <https://diccionario.motorgiga.com/diccionario/freno-de-froude-definicion-significado/gmx-niv15-con194226.htm>

## **VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE CADA TIPO DE DINAMÓMETRO**

**Bibliografía:** Accudyno.com. (2016). Ventajas y Desventajas de cada tipo de dinamómetro – Accudyno. [en línea] Disponible en: <http://www.accudyno.com/ventajas-y-desventajas-de-cada-tipo-de-dinamometro/>

## **CURVAS CARACTERISTICAS**

**Bibliografía:** Scribd. (2016). Curvas Características. [en línea] Disponible en: <https://es.scribd.com/doc/186464530/Curvas-Characterísticas>

### **➤ TESIS Y REVISTAS**

#### **MÁRQUEZ, L. - La Potencia de los Motores**

**Bibliografía:** Márquez, L. (2015). La Potencia de los Motores. [editado] España: Agrotécnica. Disponible en: [http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf\\_Agrotec%2FAgrotec\\_2005\\_5\\_40\\_44.pdf](http://www.magrama.gob.es/ministerio/pags/Biblioteca/Revistas/pdf_Agrotec%2FAgrotec_2005_5_40_44.pdf)

#### **DISEÑO DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES DE AUTOMOVILES**

**Bibliografía:** Diseño de un Banco de Pruebas para motores de Automóviles. (2006). [editado] Sartenejas: Universidad Simón Bolívar. Disponible en: <http://159.90.80.55/tesis/000130747.pdf>

#### **MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA**

Albert Martínez Villegas: Motores de Combustión interna, IES Baix Montseny, IES Baix Montseny, 2007.

## 8. ANEXOS

### TABLAS

#### ANEXO A. COEFICIENTES PARA CÁLCULO DE ACOPLE MECÁNICO

Máquina motriz		Máquina receptora		Ejemplos de máquinas receptoras
Motor electr. y turbina	Máq. de piston 4 a 6 cilind.	1 a 3 cilind.		
1	1,2	1,4	1 Marcha regular Inercia muy pequeña	•Eje de reenvío •Generador de alumbrado •Línea de ejes •Bombas centrífugas •Ventilador centrífugo ...
1,2	1,4	1,7	2 Marcha irregular Inercia pequeña	•Agitador de líquidos •Cinta transportadora •Ascensor •Máquinas herramientas rotativas para madera y metales •Máquinas textiles ligeras •Plegadoras •Bombas de engranajes •Bombas de paletas •Ventiladores ...
1,4	1,7	2	3 Marcha irregular Inercia media	•Agitador de líquidos cargados •Compresor rotativo •Transportadora de rodillos•Desmenuzadoras •Hornos rotativos •Máquinas para maderas (desbastadora, sierra de cinta ...) •Máquinas para imprimir •Mezclador •Montacargas •Punzonadora •Bomba centrífuga para líquidos cargados ...
1,7	2	2,4	4 Marcha irregular Inercia media De golpes medios	•Hormigonera •Molino de percusión •Molino de bolas •Compresor de pistón con volante de inercia •Transportador de cadena •Grúa •Laminador de metales ligeros •Máquinas de molino harinero •Martillo pilón •Telar •Bomba de pistón con volante de inercia •Cepilladora de metales •Tomos elevadores •Ventiladores de mina ...
2	2,4	2,8	5 Marcha irregular Inercia importante De golpes importantes	•Molino de martillos •Calandra (de caucho, textil ...) •Compresor de pistón con pequeño volante de inercia •Desfibradora de madera •Excavadora •Laminador •Bomba de pistón con pequeño volante de inercia •Prensa forjadora •Prensa para fabricación de papel •Tamiz vibrante ...
2,4	2,8	3,3	6 Marcha irregular Inercia muy importante De golpes muy importantes	•Compresor de pistón sin volante de inercia •Triturador •Generador de soldadura •Laminador pesado •Prensa de mam-postería •Bomba de pistón sin volante de inercia ...

Tabla 1. Coeficiente K1 para maquina motriz y receptora

Según máquina motriz - máquina receptora Ver cuadro K <sub>1</sub>	NUMERO DE ARRANQUES POR HORA				
	1	10	30	60	120
1	1	1,2	1,3	1,5	1,6
2 3	1	1,1	1,2	1,3	1,4
4 5 6	1	1,05	1,1	1,2	1,2

Tabla 2. coeficiente K2 para frecuencia de arranque

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-  
VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Número de horas de funcionamiento diario	0 - 2	2 - 8	8 - 16	16 - 24
Coefficiente $K_3$	0,9	1	1,1	1,2

Tabla 3. Coeficiente  $K_3$  para número de horas de funcionamiento diario

**ANEXO B. PARÁMETROS PARA ANÁLISIS DE ESTRUCTURA**

Tabla 1. Parámetros en el factor de la condición superficie de Marin,

Acabado superficial	Factor <i>a</i>		Exponente <i>b</i>
	<i>S<sub>utr</sub></i> kpsi	<i>S<sub>utr</sub></i> MPa	
Esmerilado	1.34	1.58	-0.085
Maquinado o laminado en frío	2.70	4.51	-0.265
Laminado en caliente	14.4	57.7	-0.718
Como sale de la forja	39.9	272.	-0.995

De C. J. Noll y C. Lipson, "Allowable Working Stresses", en *Society for Experimental Stress Analysis*, vol. 3. núm. 2, 1946, p. 29. Reproducida por O. J. Horgor (ed.), *Metals Engineering Design ASME Handbook*, McGraw-Hill, Nueva York. Copyright © 1953 por The McGraw-Hill Companies, Inc. Reproducido con autorización.

Tabla 2. Área *A<sub>0.95σ</sub>* de perfiles estructurales no rotativos

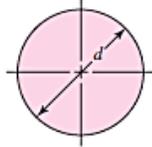
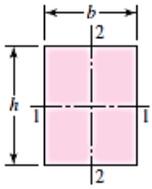
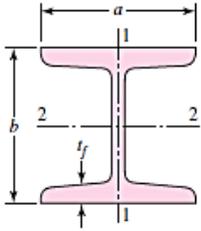
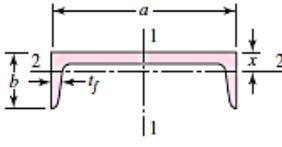
	$A_{0.95\sigma} = 0.01046d^2$ $d_e = 0.370d$	
	$A_{0.95\sigma} = 0.05hb$ $d_e = 0.808\sqrt{hb}$	
	$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.10at_f & \text{eje 1-1} \\ 0.05ba & t_f > 0.025a \\ & \text{eje 2-2} \end{cases}$	
	$A_{0.95\sigma} = \begin{cases} 0.05ab & \text{eje 1-1} \\ 0.052xa + 0.1t_f(b-x) & \text{eje 2-2} \end{cases}$	

Tabla 3. Propiedades mínimas del metal de aporte

Número de electrodo AWS*	Resistencia a la tensión, kpsi (MPa)	Resistencia a la fluencia, kpsi (MPa)	Elongación porcentual
E60xx	62 (427)	50 (345)	17-25
E70xx	70 (482)	57 (393)	22
E80xx	80 (551)	67 (462)	19
E90xx	90 (620)	77 (531)	14-17
E100xx	100 (689)	87 (600)	13-16
E120xx	120 (827)	107 (737)	14

\*Sistema de numeración del código de especificaciones de la American Welding Society (AWS) para electrodos. En este sistema se usa como prefijo la letra E, en un sistema de numeración de cuatro o cinco dígitos en el cual los primeros dos o tres números designan la resistencia aproximada a la tensión. El último dígito incluye variables en la técnica de soldadura, como la fuente de corriente. El penúltimo dígito indica la posición de la soldadura, por ejemplo, plana, vertical o sobre la cabeza. El conjunto completo de especificaciones se puede obtener solicitándolo a la AWS.

Tabla 4. Esfuerzos permisibles del Código AISC para metal de aporte

Tipo de carga	Tipo de soldadura	Esfuerzo permisible	$n^*$
Tensión	A tope	$0.60S_y$	1.67
Aplastamiento	A tope	$0.90S_y$	1.11
Flexión	A tope	$0.60-0.66S_y$	1.52-1.67
Compresión simple	A tope	$0.60S_y$	1.67
Cortante	A tope o de filete	$0.30S_{ut}^{\dagger}$	

\*El factor de seguridad  $n$  se ha calculado mediante la teoría de la energía de distorsión.

†El esfuerzo cortante en el metal base no debe exceder de  $0.40S_y$  del metal base.

Tabla 5.

Resistencias mínimas determinísticas a la tensión y a la fluencia ASTM de algunos aceros laminados en caliente (HR) y estirados en frío (CD) [Las resistencias listadas son valores ASTM mínimos estimados en el intervalo de tamaños de 18 a 32 mm ( $\frac{3}{4}$  a  $1\frac{1}{4}$  pulg)]. Estas resistencias resultan adecuadas para usarse con el factor de diseño definido en la sección 1-10, a condición que los materiales se ajusten a los requisitos ASTM A6 o A568 o que se requieran en las especificaciones de compra. Recuerde que un sistema de numeración no es una especificación] Fuente: 1986 SAE Handbook, p. 2.15.

1	2	3	4	5	6	7	8
UNS	SAE y/o	Procesa-	Resistencia	Resistencia a	Elongación en	Reducción en	Dureza
núm.	SAE y/o	miento	a la tensión,	la fluencia,	2 pulg, %	área, %	Brinell
núm.	AISI	núm.	MPa (kpsi)	MPa (kpsi)			
G10060	1006	HR	300 (43)	170 (24)	30	55	86
		CD	330 (48)	280 (41)	20	45	95
G10100	1010	HR	320 (47)	180 (26)	28	50	95
		CD	370 (53)	300 (44)	20	40	105
G10150	1015	HR	340 (50)	190 (27.5)	28	50	101
		CD	390 (56)	320 (47)	18	40	111
G10180	1018	HR	400 (58)	220 (32)	25	50	116
		CD	440 (64)	370 (54)	15	40	126
G10200	1020	HR	380 (55)	210 (30)	25	50	111
		CD	470 (68)	390 (57)	15	40	131
G10300	1030	HR	470 (68)	260 (37.5)	20	42	137
		CD	520 (76)	440 (64)	12	35	149
G10350	1035	HR	500 (72)	270 (39.5)	18	40	143
		CD	550 (80)	460 (67)	12	35	163
G10400	1040	HR	520 (76)	290 (42)	18	40	149
		CD	590 (85)	490 (71)	12	35	170
G10450	1045	HR	570 (82)	310 (45)	16	40	163
		CD	630 (91)	530 (77)	12	35	179
G10500	1050	HR	620 (90)	340 (49.5)	15	35	179
		CD	690 (100)	580 (84)	10	30	197
G10600	1060	HR	680 (98)	370 (54)	12	30	201
G10800	1080	HR	770 (112)	420 (61.5)	10	25	229
G10950	1095	HR	830 (120)	460 (66)	10	25	248

## PRESUPUESTO

Este capítulo muestra los costos para la construcción del Banco de Pruebas para Motores. Para su fácil interpretación se divide dichos costos en 2 categorías:

- Costos de equipo y accesorios
- Costos de materiales y mano de obra.

Los costos de equipo abarcan los costos del freno dinamométrico y motor de combustión interna, mientras que los de accesorios incluyen los costos de los sensores y demás equipo para la integración del banco de pruebas

Los costos de materiales incluyen perfilería metálica, placas, pernos, lamina y demás material que se necesite para la construcción del banco. Los costos referentes a mano de obra, son un estimado del valor de las horas por hombre necesarias para ejecutar las diferentes operaciones de soldadura y maquinado de los elementos. Dichos costos se engloban como un costo total de mano de obra.

### COSTOS DE EQUIPO Y ACCESORIOS

No.	Descripción	Cantidad	PU	Total
1	Motor Kolher SH265	1	\$279.11	\$279.11
2	Freno Dinamométrico GO POWER D100	1	\$7,000.00	\$7000.00
3	Motor de Pasos 3 N.m	1	\$70.00	\$70.00
4	Celda de Carga 50kg	1	\$40.00	\$40.00
5	Sensor de Velocidad de Efecto Hall 24v	1	\$25.00	\$25.00
6	Válvula de bola 1/2"	1	\$4.70	\$4.70
7	Acople de tipo JAW SKF tamaño 95	1	\$30.00	\$30.00
8	Cable de conexión tipo B	1	\$4.00	\$4.00
9	Fuente de Alimentación 12v	1	\$25.00	\$25.00
10	Microcontrolador Arduino UNO	1	\$20.00	\$20.00
11	Tarjeta Perforada para conexiones	1	\$5.00	\$5.00
12	Kit de Cables tipo Jumper	1	\$7.00	\$7.00
13	Tarjeta de Conexión Easy Driver v4.4	1	\$16.00	\$16.00
14	Tarjeta de Conexión Celda de Carga	1	\$12.00	\$12.00
15	Kit de Soportes aislantes de vibraciones	1	\$28.00	\$28.00

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

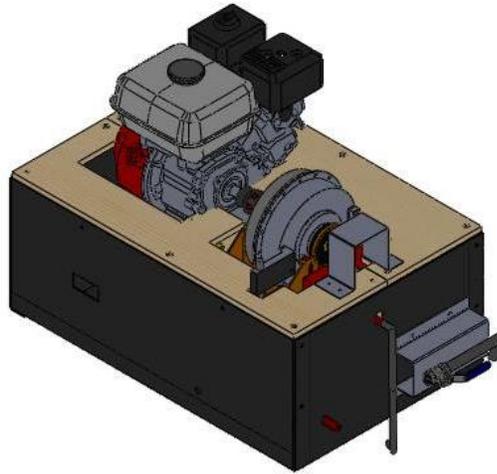
16	Kit de Mangueras Hidráulicas	1	\$15.00	\$15.00
17	Cable de accionamiento para acelerador con forro y bases	1	\$10.00	\$10.00
18	Switch de paso dos posiciones	1	\$0.95	\$0.95
<b>Subtotal</b>			<b>\$7,591.76</b>	

**COSTOS DE MATERIALES Y MANO DE OBRA**

No.	Descripción	Cantidad	PU	Total
1	Perfil Estructural 1"x1"x1/8" (6mt)	3	\$5.35	\$16.35
2	Electrodo 6013 (lb)	6	\$1.95	\$11.70
3	Tubo de PVC de 1/2" (6 mt)	2	\$1.85	\$3.70
4	Codo 90° PVC de 1/2"	4	\$0.10	\$0.40
5	Chorro convencional 1/2"	1	\$4.15	\$4.15
6	Platina de acero 1020 1/2"	2	\$7.00	\$14.00
7	Platina de acero 1020 3/8"	2	\$5.50	\$11.00
8	Pernos de sujeción 3/8"	8	\$0.15	\$1.20
9	Arandelas planas	8	\$0.04	\$0.32
10	Tuercas para perno	8	\$0.07	\$0.56
11	Lámina Galvanizada lisa 1mm (PLG)	2	\$26.95	\$53.90
12	Tornillo con tuerca y arandela 1/4"	60	\$0.35	\$21.00
13	Madera Plywood 3/8 pliego	1	\$24.50	\$24.50
14	Abrazaderas tipo Conduit 3/4"	10	\$0.35	\$3.50
15	Abrazaderas metálicas convencional 1/2"	8	\$0.30	\$2.40
16	Bisagras para madera 25mm	4	\$0.50	\$2.00
17	Mano de Obra (Total)	-	\$3000.00	\$3000.00
<b>Subtotal</b>			<b>\$3,170.68</b>	

El Costo Total de manufactura del Banco de Pruebas para motores, incluyendo materiales, equipo y mano de obra sería de \$10,762.44. Incluyendo el costo de diseño del 10% se tiene un total de \$11,838.68.

## BANCO DE PRUEBAS PARA MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA



## MANUAL DE OPERACIÓN



Antes de trabajar con este equipo, este manual debe ser leído cuidadosamente y claramente entendido.

### INTRODUCCIÓN

La operación del banco de pruebas debe realizarse bajo ciertos parámetros para evitar ocasionar problemas en él, u ocasionar accidentes en las personas que lo manipulan. Con el adecuado cuidado y su respectivo mantenimiento se garantiza el correcto funcionamiento de este mismo. El Banco de Pruebas para Motores de Combustión Interna te ayudara a entender de una mejor manera la forma en la que se comportan los diferentes parámetros característicos de un MCI y como poder determinar cada uno de ellos por medio de un ensayo de laboratorio. Su operación y control son semi automatizados. Se requiere suministro de agua y energía eléctrica para su funcionamiento, Para mantener el correcto funcionamiento del Banco de Pruebas no olvide seguir las indicaciones estipuladas en el Manual de Mantenimiento Preventivo.

### Especificaciones del Banco

- Tipo de Motor: *Combustión Interna*
- Potencia de Motor: *6.5HP*
- Tipo de Combustible: *Gasolina*
- Capacidad de Tanque: *2 litros*
- Tipo de Freno: *Dinamométrico Hidráulico*
- Capacidad de Frenado: *Motor 10HP*
- Fluido de Trabajo: *Agua*
- Operación: *Semiautomático*
- Alimentación Eléctrica: *110V*





### Normas de Seguridad



Se recomienda utilizar equipo de protección auditivo debido a los altos decibeles ocasionados por el equipo.



Evitar el contacto de freno dinamométrico y escape del motor ya que son superficies calientes y podría provocar quemaduras.



Elementos mecánicos en movimiento, evitar el contacto con eje de motor y freno. Nunca lleve colgantes o ropa muy holgada o nada que pudiera quedar atrapado entre las partes giratorias.



Riesgo de Explosión por Motor de Combustión, prohibido fumar cerca del equipo ya sea que este en operación o en reposo.



No modifique el banco de pruebas bajo ningún motivo, y no utilice de otra manera que para sus propósitos destinados.



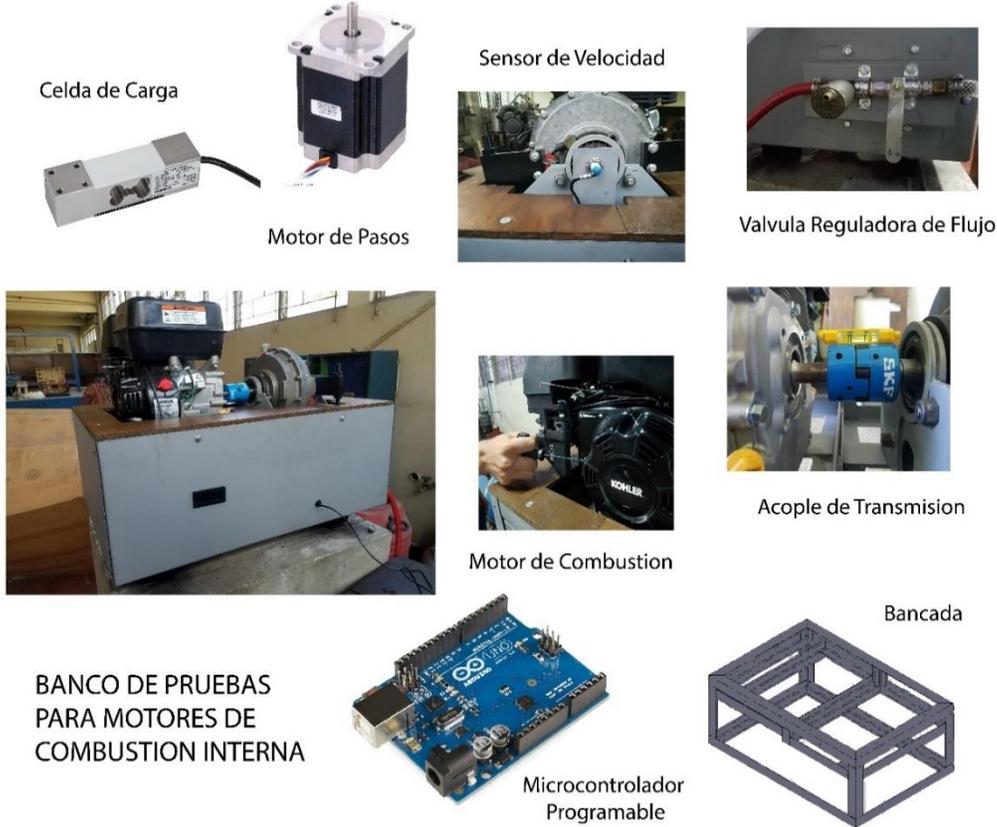
### CONDICIONES PARA INICIAR EL BANCO DE PRUEBAS

- Verificar que la conexión hidráulica se encuentre correctamente ensamblada.
- En caso de fugas en alguna conexión no inicie la operación del equipo y detenga el suministro de agua.
- Verificar nivel de combustible en motor de combustión interna.
- Verificar que el cable de poder de la fuente se encuentre conectada al suministro de energía eléctrica.
- Corroborar niveles de aceite en motor de combustión.

Si el equipo presenta alguna anomalía o se encuentra alguna irregularidad relacionada a las condiciones antes mencionadas favor no iniciar el banco de pruebas.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

ELEMENTOS PRINCIPALES DEL BANCO DE PRUEBAS



ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Motor de Combustión Interna	Equipo a ser Ensayado del cual se obtendrán sus curvas características.
Freno Dinamométrico	Equipo encargado de crear un par resistente que es el que proporciona la "carga" al motor
Acople de Transmisión	Elemento que se encarga de transmitir la potencia provista por el motor de combustión al freno dinamométrico de forma directa.
Bancada	Estructura metálica diseñada para soportar cada uno de los elementos que componen el Banco de Pruebas y sus perturbaciones.
Microcontrolador Programable	Elemento de Control que se encarga de procesar las señales emitidas por cada uno de los sensores y dar instrucciones para realizar ajustes de control en actuadores.
Sensor de Velocidad	Encargado de medir la velocidad de giro en rpm del Motor de combustión
Sensor de Torque	Elemento encargado de medir la fuerza que genera un brazo de palanca acoplado al Freno Dinamométrico para determinar el Torque del Motor de combustión.
Motor a Pasos	Actuador el cual recibe órdenes del programa de automatización para realizar el ajuste de RPM en el MCI.

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Válvula reguladora de Flujo

Controla el flujo de agua que ingresa al freno dinamométrico y de esta forma controlar la carga que se impone al Motor de Combustión.

### PASOS PARA LA EJECUCIÓN DE UNA PRUEBA

El Banco de pruebas para MCI es semiautomatizado por lo cual se requiere de realizar unos ajustes durante la iniciación de la prueba, seguidamente de esto el programa de automatización es el que se encarga de generar los resultados obtenidos durante la prueba. Los pasos para la utilización del equipo se detallan a continuación:

### OBTENCIÓN DE CURVAS: PAR – VELOCIDAD Y POTENCIA – VELOCIDAD

#### INICIACIÓN DE INTERFAZ GRAFICA

1. Iniciar interfaz gráfica en hoja de cálculo por medio del computador a utilizar.

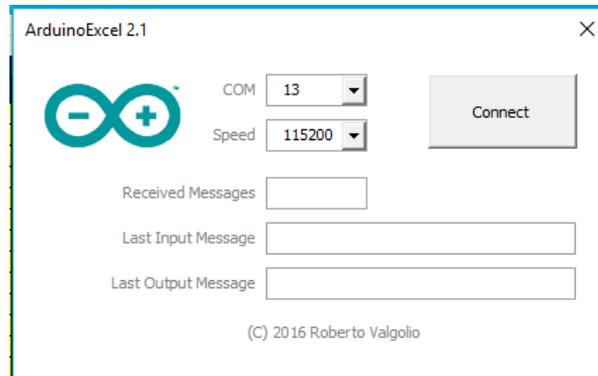


2. Realizar conexión de cable de adquisición de datos en puerto USB del computador

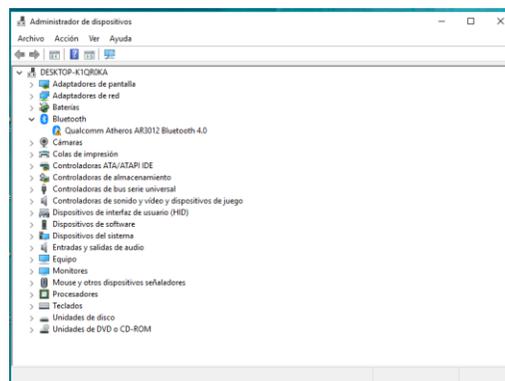


3. Presionar las teclas [Ctrl + A] para desplegar la ventana de comunicación de datos entre el microcontrolador y el computador.

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA



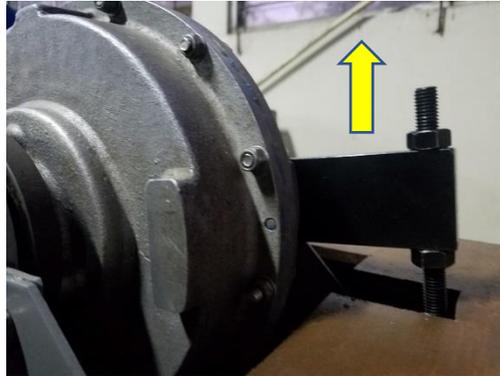
4. Verificar en el administrador de equipos del PC el número de puerto que se está utilizando y colocar las especificaciones de velocidad de conexión según se indican.



5. Seleccionar el número de puerto a utilizar para la comunicación en la interfaz mostrada en el paso No. 3.
6. Colocar en posición de encendido el interruptor de accionamiento de microcontrolador y sensores del Banco de Pruebas.



7. Al momento de iniciar la comunicación de datos, es necesario quitar cualquier elemento que puede generar peso sobre la celda de carga durante los primeros 5 segundos con el fin de evitar obtener valores de torque erróneos durante la prueba.



### MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

8. Colocar sensores de motor de combustión en posición de encendido



9. Colocar perilla de apertura de combustible en posición abierta



10. Halar del cable de accionamiento en posición recta a su ubicación para encender el motor de combustión.



### FRENO DINAMOMÉTRICO

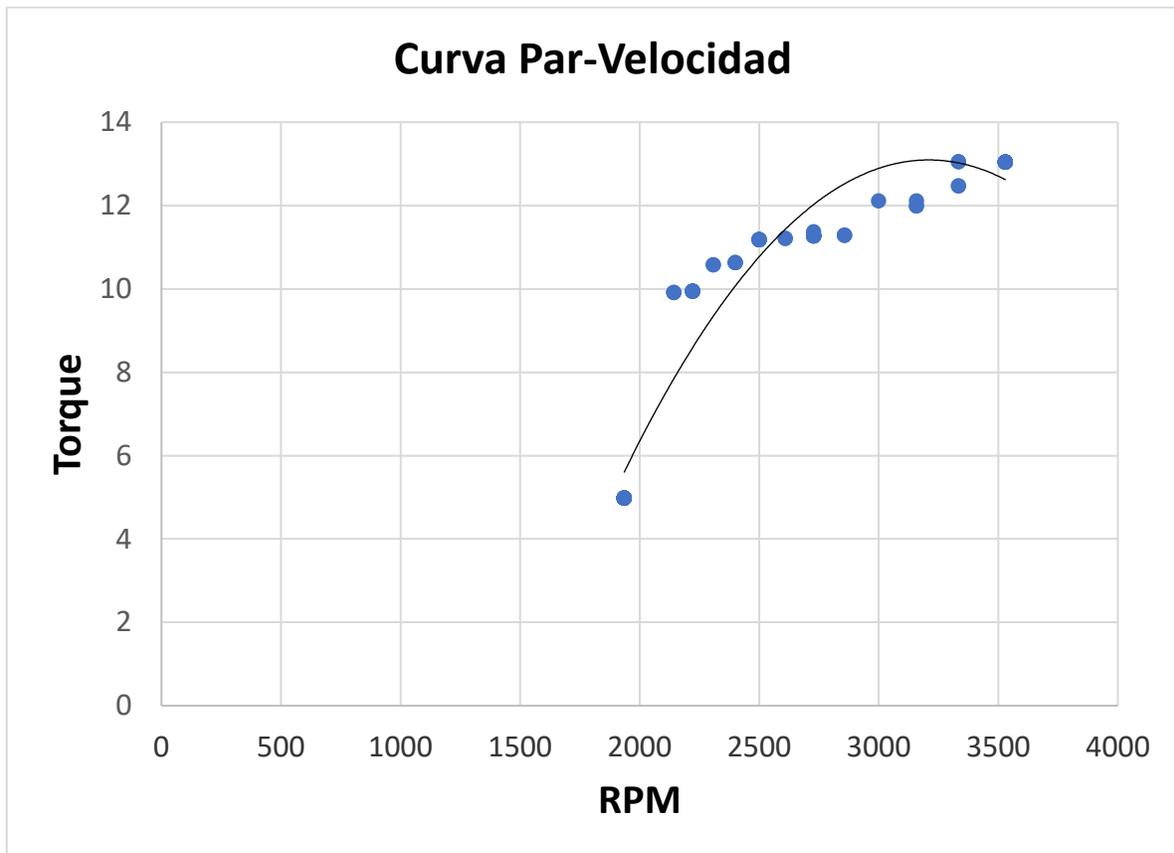
11. Colocar válvula de control de flujo de Frenado en la posición de máxima carga (o en una posición intermedia si se desea obtener una curva parcial).



12. Dado que el banco es Semiautomático, después de realizar estos ajustes los resultados serán mostrados en la interfaz gráfica de la hoja de cálculo, dependiendo de los resultados que se deseen visualizar se debe seleccionar la pestaña requerida.

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Parametros Obtenidos							
Date	Time	Index	RPM	Torque	ValRPM	ValTorque	ValPotencia
1/3/2018	18:13:36	0	1034.48	2.64			
1/3/2018	18:13:38	1	2307.69	3.49			
1/3/2018	18:13:41	2	2400	3.6			
1/3/2018	18:13:43	3	2307.69	3.65			
1/3/2018	18:13:46	4	2222.22	3.81			
1/3/2018	18:13:48	5	2307.69	4.04			
1/3/2018	18:13:51	6	2222.22	4.25			
1/3/2018	18:13:53	7	2142.86	4.63			
1/3/2018	18:13:55	8	1935.48	4.98	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:13:58	10	1935.48	5.11	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:00	11	2000	5.25	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:03	12	1875	5.4	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:05	13	1935.48	5.52	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:07	14	1818.18	5.61	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:10	15	1764.71	5.74	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:12	16	1764.71	5.89	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:15	17	1666.67	6.07	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:18	18	1764.71	6.29	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:20	19	1621.62	6.31	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:22	20	1621.62	6.46	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:25	21	1714.29	7.32	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:27	22	1875	8.13	1935.48	4.98	1.37
1/3/2018	18:14:30	23	2000	8.74	1935.48	4.98	1.37





### PRECAUCIÓN

Detener el funcionamiento del Banco si este presenta algún desperfecto o condición anormal.

Evite el manipular las conexiones y componentes del equipo si desconoce el funcionamiento de este.

Antes de ejecutar labores de mantenimiento lea detenidamente el *“Manual de Mantenimiento Preventivo”* y siga sus indicaciones.

**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA  
GUÍA DE LABORATORIO**

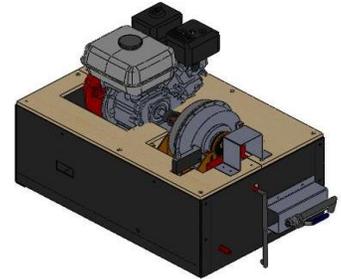


**ENSAYO DE MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA: CURVA PAR-VELOCIDAD**

**INTRODUCCIÓN**

Todos los motores de nueva construcción son sometidos a una larga serie de mediciones alternadas con severas pruebas de durabilidad y de carga, que se repiten hasta que tras una precisa puesta a punto, se alcanzan los resultados previstos en el proyecto.

Las pruebas principales son las que sirven para obtener los valores relativos al par motor, la presión media efectiva, la potencia desarrollada, el consumo específico de combustible, los diferentes rendimientos, así como la composición de los gases de escape.



**OBJETIVO**

Generar las curvas Potencia vs Velocidad, Torque vs Velocidad de un motor de cuatro tiempos y cuatro cilindros, haciendo uso de la potencia consumida por un dinamómetro hidráulico y el procedimiento señalado en la Norma SAE J1349

**FUNDAMENTO TEÓRICO**

Los frenos dinamométricos son los encargados de crear un par resistente que es el que proporciona la "carga" al motor. Esta carga ha de ser variable para ensayar distintas condiciones operativas del motor.

Se han desarrollado varios tipos de frenos basados en distintos principios. Los más difundidos son:

- Frenos de fricción
- Frenos hidráulicos
- Frenos eléctricos
- De corriente continua
- De corriente alterna
- De corrientes de foucault.

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA**

El banco de ensayo dispone de un freno hidráulico de tipo Froude. Los frenos hidráulicos son adecuados para mediciones de potencia de la mayor parte de los M.C.I. Se componen de un rotor que gira accionado por el eje del motor y un estator o carcasa fija al sistema de medida de fuerza. Entre el rotor y el estator hay una cantidad variable de agua.

En el freno Froude que es el más comúnmente usado, carcasa y rotor están provistos de cavidades y álabes oportunamente conformados, que imparten al agua un movimiento turbulento, que transforma en calor el trabajo mecánico desarrollado por el motor. Las variaciones de carga se consiguen variando la cantidad de agua en el interior del freno.

La resistencia que el agua opone a la rotación del rotor reacciona sobre el estator produciendo un par resistente igual al par motor.

**ELEMENTOS PRINCIPALES DEL BANCO DE PRUEBAS**

Celda de Carga



Motor de Pasos



Sensor de Velocidad



Valvula reguladora de Flujo



Motor de Combustion



Acople de Transmision

ELEMENTO	DESCRIPCIÓN
Motor de Combustión Interna	Equipo a ser Ensayado del cual se obtendrán sus curvas características.
Freno Dinamométrico	Equipo encargado de crear un par resistente que es el que proporciona la "carga" al motor
Acople de Transmisión	Elemento que se encarga de transmitir la potencia provista por el motor de combustión al freno dinamométrico de forma directa.

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

Sensor de Velocidad	Encargado de medir la velocidad de giro en rpm del Motor de combustión
Sensor de Torque	Elemento encargado de medir la fuerza que genera un brazo de palanca acoplado al Freno Dinamométrico para determinar el Torque del Motor de combustión.
Motor a Pasos	Actuador el cual recibe órdenes del programa de automatización para realizar el ajuste de RPM en el MCI.
Válvula reguladora de Flujo	Controla el flujo de agua que ingresa al freno dinamométrico y de esta forma controlar la carga que se impone al Motor de Combustión.

### ESPECIFICACIONES DEL BANCO

- Tipo de Motor: *Combustión Interna*
- Potencia de Motor: *6.5HP*
- Tipo de Combustible: *Gasolina*
- Capacidad de Tanque: *2 litros*
- Tipo de Freno: *Dinamométrico Hidráulico*
- Capacidad de Frenado: *Motor 10HP*
- Fluido de Trabajo: *Agua*
- Operación: *Semiautomático*



### PROCEDIMIENTO GENERAL

Identificar los diferentes componentes del banco de pruebas a utilizar

Se realizan 15 puntos de medición por prueba. Se establece un valor de grado de carga constante con la válvula de control del freno dinamométrico. El punto inicial corresponde a las 2000[rpm] valor ralenti del motor para determinado grado de carga ya prefijado.

Se incrementan las revoluciones en intervalos de 100[rpm] haciendo que el motor demande un mayor valor de torque hasta llegar al valor de potencia y torque máximo sin sobrepasar el valor límite de revoluciones fijado en 3600[rpm]. Para cada valor requerido dentro del intervalo de RPM se realiza un ajuste automático por medio del sistema de control hasta alcanzar el valor de revoluciones solicitado y su correspondiente valor de Torque.

Con la información obtenida y la eficiencia mecánica estimada para la transmisión del banco de pruebas se construye una curva Torque[N-m] vs Velocidad[rpm] en el eje del motor.

### ASIGNACIONES

1. Con los valores de Torque y Velocidad obtenidos en la gráfica anterior, elabore la curva de Potencia[W] vs Velocidad[rpm]en el eje del motor.

$$Pot = T \times \omega$$

Donde: Pot: Potencia [Watt]  
T: Torque [N.m]  
 $\omega$ : Velocidad Angular [ $S^{-1}$ ]

2. Aplicando la Teoría de Semejanza de Motores, transforme las gráficas anteriores asumiendo que se tiene un motor de combustión de 12HP.
3. ¿Qué pasaría con las curvas generadas si el motor de combustión ensayado tuviera 3 pistones?

## CODIGO DEL MICROCONTROLADOR

```
/*
-----
-----
    Arduino Excel Banco de Pruebas para Motores de Combustion Interna

    created by      Diego Gerardo Arriola Trigueros
                   Manuel de Jesus Avalos Soto
                   Hugo Hemberto Miranda Aleman

    last modified   09/03/2018
-----
-----
*/

//Variables sensor de carga
#include <HX711.h>
#define DOUT  A1
#define CLK   A0

HX711 balanza(DOUT, CLK);

#include <rExcel.h>

long      idx = 0;           // index
int       outputTiming = 100; // packet sending timing in
ms        important: this dermines the output timing

/*
char      worksheet[16];    // worksheet name
char      range[16];       // range set
unsigned int row;          // row
unsigned int column;       // column
*/
char      value[16];       // written or read value

rExcel    myExcel;        // class for Excel data exchanging

//Variables de Programa Tesis
float rpml;
float rpmr=2000.0;
int flag=0;
float torque;
float ValTorque;
float ValRPM;
int inc=0;
float error=75.0;
int pasos;

//Variables de Sensor de RPM
float tiempo;
```

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

```
int band;
float actual;
int lec;
float vel;
float velrpm;

void setup() {

  Serial.begin(115200);
  delay(1000);

  // rx buffer clearing
  myExcel.clearInput();

  //Setup de Programa Tesis
  //Entradas de Sensor RPM
  pinMode(10, INPUT);
  pinMode(13, OUTPUT);
  tiempo=0.0;
  band=0;
  actual=0.0;
  vel=0.0;

  //Salidas Motor de Pasos
  pinMode(8, OUTPUT);
  pinMode(9, OUTPUT);
  //digitalWrite(8, LOW);
  digitalWrite(9, LOW);

  //Entradas de Sensor de Carga
  balanza.set_scale(48568.6667); // Establecemos la escala
  balanza.tare(20); //El peso actual es considerado Tara.
}

void loop() {

  static unsigned long loopTime = 0;
  static unsigned long time1 = 0;
  int ret;

  loopTime = millis();

  // Output Task
  // Arduino acts as client making requests to Excel
  // instructions performed each outputTiming ms
  if ((loopTime - time1) >= outputTiming) {
```

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

```
    time1 = loopTime;

flag=0;
  while (flag==0)
  {

//Programa Sensor de Velocidad
for (int i=0; i<=10;)
{
  lec=digitalRead(10);
  if (lec!=band && band==0)
  {
    band=1;
    tiempo=millis()-actual;
    actual=millis();
    rpml=60.0/(tiempo/1000.0);
    i++;
  }

  if (lec!=band && band==1)
  {
    band=0;
  }

}
torque=Function_Torque();

//Programa Principal
if (((rpml<(rpmr-error)) || (rpml>(rpmr+error))) && (rpml>0))
{
  if (rpmr<rpml)
  {
    //Este Ciclo FOR con Pin(8) en LOW indica pasos--
    Function_inc();
    for (pasos=0; pasos<=inc;)
    {
      digitalWrite(8, HIGH);
      digitalWrite(9, HIGH);
      delayMicroseconds(1000);
      if(digitalRead(9)==HIGH)
      {
        pasos=pasos+1;
      }
      digitalWrite(9, LOW);
      delayMicroseconds(1000);
    }
    //delay (1000);
    if ((rpml<(rpmr+error)) && (rpml>(rpmr-error)))
    {
```

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

```
    ValTorque=torque;
    ValRPM=rpml;
    if (rpmr<3500.0)
    {
        rpmr=rpmr+100.0;
    }
    else
    {
        rpmr=rpmr-1500.0;
    }

    flag=1;
}

}

else
{

    //Este Ciclo FOR con Pin(8) en HIGH indica pasos++
    Function_inc();
    for (pasos=0; pasos<=inc;)
    {
        digitalWrite(8, LOW);
        digitalWrite(9, HIGH);
        delayMicroseconds(1000);
        if(digitalRead(9)==HIGH)
        {
            pasos=pasos+1;
        }
        digitalWrite(9, LOW);
        delayMicroseconds(1000);
    }
    //delay (1000);
    if ((rpml<(rpmr+error)) && (rpml>(rpmr-error)))
    {
        ValTorque=torque;
        ValRPM=rpml;

        if (rpmr<3500.0)
        {
            rpmr=rpmr+100.0; //Si el programa ha leído el valor solicitado,
            incrementa el valor base en 100
        }
        else
        {
            rpmr=rpmr-1500.0;
        }

        flag=1;
    }
}
```

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

```
    }  
}  
  
if ((rpml<(rpmr+error)) && (rpml>(rpmr-error)))  
{  
    ValTorque=torque;  
    ValRPM=rpml;  
  
    if (rpmr<3500.0)  
    {  
        rpmr=rpmr+100.0; //Si el programa ha leído el valor solicitado,  
incrementa el valor base en 100  
    }  
  
    else  
    {  
        rpmr=rpmr-1500.0;  
    }  
  
    flag=1;  
}  
  
    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 1,"%date%"); // write  
%date% (that will be converted in current date) to worksheet 'Example'  
row 'idx+11' column '1'  
    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 2,"%time%"); // write  
%time% (that will be converted in current time) to worksheet 'Example'  
row 'idx+11' column '2'  
    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 3, idx); // write idx  
to worksheet 'Example' row 'idx+11' column '3'  
    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 4, rpml, 2); // write  
the value from A0 pin to worksheet 'Example' row 'idx+11' column '4' with  
two digits as decimals  
    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 5, torque, 2); // write a  
random value to worksheet 'Example' row 'idx+11' column '5' with two  
digits as decimals  
    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 6, ValRPM, 2);  
    myExcel.writeIndexed("Example", idx+11, 7, ValTorque, 2);  
    idx++;  
  
    if (idx > 199) {  
        myExcel.clear("Example","A11:G210"); // clear  
cells in A11:G210 area of 'Example' worksheet  
        idx = 0;  
    }  
}  
  
    idx++;  
  
    if (idx > 199) {  
        myExcel.clear("Example","A11:G210"); // clear  
cells in A11:F70 area of 'Example' worksheet
```

## DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA

```
//myExcel.clear("Test","C5:C64"); // clear
cells in C5:C64 area of 'Test' worksheet
//myExcel.save(); // save the
Excel file (useful for activites over a long time)
    idx = 0;
    }
}

} // end of loop

//Funcion para determinar el Torque del Motor de Combustion
float Function_Torque()
{
float peso = 0.0;
float torq=0.0;
float torq2=0.0;

peso=balanza.get_units(20),3;

torq=(peso)*9.81*0.18;
torq2=abs(torq);
return torq2;
}

//Funcion que cumple la tarea de actuar como controlador derivativo
void Function_inc()
{
float error_rpm;
float error_rpm2;

error_rpm=(rpmr-rpml);
error_rpm2=abs(error_rpm);

if (error_rpm2>9000.0)
{
inc=60;
}

if ((error_rpm2>500.0) && (error_rpm2<900.0))
{
inc=12;
}

if ((error_rpm2>250.0) && (error_rpm2<500.0))
{
inc=6;
}
}
```

```
if ((error_rpm2>0.0) && (error_rpm2<250.0))  
{  
    inc=2;  
}  
}
```

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
TRABAJO DE GRADUACIÓN



## **MANUAL DE MANTENIMIENTO PREVENTIVO**

“DISEÑO Y CONSTRUCCION DE UN BANCO DE PRUEBAS PARA GENERAR LA CURVA PAR-VELOCIDAD DE UN MOTOR DE COMBUSTION INTERNA”

### **CATEDRATICO**

Ing. Luis José Salalá Santos

### **PRESENTAN**

Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros  
Br. Manuel De Jesús Avalos Soto  
Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán

## INTRODUCCIÓN

Las instalaciones de un laboratorio de ingeniería mecánica tienen diversidad de instrumentos, maquinas, componentes que pueden ser usados para comprender conceptos y aplicarlos a la realidad; una falla en estas instalaciones puede tener consecuencias graves para las instalaciones y las personas.

Las causas principales de las posibles fallas y accidentes en laboratorios e instalaciones pueden ser múltiples y tener orígenes diversos: fallos debido a las condiciones de trabajo a las que están sometidas y que pueden dar lugar a fenómenos de corrosión, desgaste de las partes rotativas, fatiga de los elementos, calentamiento, deformaciones etc; desviaciones de las condiciones normales de operación; errores humanos, entre otros. Antes de que estos fallos y aspectos afecten la seguridad de la instalación y aún más importante la de las personas, es necesario llevar a cabo una atención y mantenimiento de la misma.

De esta manera se ve la importancia de realizar un programa de mantenimiento para el banco de pruebas acorde a la confiabilidad del equipo y la peligrosidad, teniendo en cuenta la seguridad del personal de mantenimiento.

Será pues necesario llevar un control periódico de los trabajos de mantenimiento para reducir al máximo los posibles problemas que puedan surgir en el equipo.

El objetivo de este manual de mantenimiento es dar a conocer un protocolo que nos ayude a centrar nuestra atención en la periodicidad de actividades que se deben ejecutar, para garantizar la mantenibilidad del equipo. De esta manera se darán pautas necesarias sobre las formas de realización, medición y distribución de los tiempos de mantenimiento, seguridad de los trabajos y aspectos a tener en cuenta para facilitar el mantenimiento; dando una forma sintetizado los diferentes tipos de revisiones periódicas del equipo a mantener, en el caso de estos equipos.

## BENEFICIO DEL MANTENIMIENTO

Entre los beneficios alcanzados al desarrollar un programa de mantenimiento se encuentran:

- a) Prevención de fallas en los equipos o instalaciones, con lo que se evita paros y gastos imprevistos.
- b) Reducción del reemplazo de equipos durante su vida útil
- c) Reducción de la cantidad de repuestos de reserva
- d) El buen estado de los equipos e instalaciones durante su vida útil.

## PROCEDIMIENTO DE LAS RUTINAS DE MANTENIMIENTO

Tomando en cuenta la importancia del mantenimiento preventivo en la extensión de la vida útil de un equipo, se han tomado en cuenta una serie de rutinas a realizar para llevar a cabo este tipo de mantenimiento. Su aplicabilidad está en función específicamente del equipo a mantener.

1. Inspección de condiciones ambientales
2. Limpieza integral externa
3. Inspección externa del equipo
4. Limpieza integral interna
5. Inspección interna
6. Lubricación y engrase
7. Reemplazo de partes intercambiables
8. Ajuste y calibración
9. Pruebas funcionales.

## 2. INSPECCIÓN DE CONDICIONES AMBIENTALES

Inspeccionar las condiciones del ambiente en el que se encuentra el equipo ya sea en funcionamiento o sin funcionar los aspectos a evaluar son:

Humedad, vibraciones mecánicas, presencia de polvo, seguridad de la instalación y temperatura del ambiente. Recordemos que en el capítulo 1 hablamos acerca de las normas para ensayo de motores y como el ambiente influye en la obtención de potencia de un motor de combustión interna

Se deberá medir estos parámetros y en lo que respecta deberán estar acorde a lo establecido a la norma SAE. Es necesario una medición de la temperatura para tener un criterio de selección del lubricante a usar en el motor, esto para alarga la viscosidad de este. figura 1.

Humedad: según a la norma SAE j1349 la humedad y otros factores atmosféricos deben de ser controlados; caso contrario se deberá de aplicar factores de corrección ambientales.

Vibraciones mecánicas: las vibraciones mecánicas pueden ser por falta de calibración, se recomienda revisar el alineado de los ejes motor- freno y que exista un aislamiento correcto del motor.

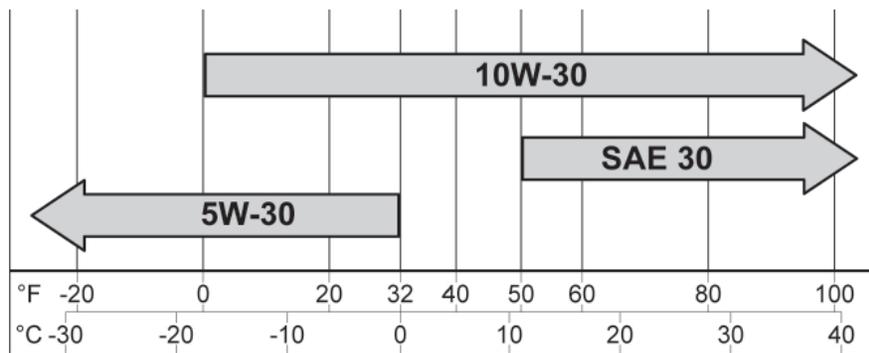


Figura 1. Viscosidad vs temperatura del aire

Polvo: tanto los equipos mecánicos, como los eléctricos se ven afectados en su funcionamiento y en la duración de su vida útil, por la presencia de polvo. Revisar que no haya presencia excesiva de polvo en el ambiente visualizando los alrededores del equipo, en el equipo mismo, o la existencia de zonas cercanas donde se produzca el mismo.

Seguridad de la instalación: Una instalación de un equipo insegura, ofrece un peligro potencial tanto al equipo mismo, como a las personas.

Se recomienda revisar la correcta instalación del equipo para que ofrezca seguridad al momento de realizar los laboratorios.

- Revisar la nivelación del equipo.
- Revisar la polarización del equipo y las conexiones eléctricas.
- Verificar que no exista ningún elemento que pueda causar un cortocircuito por movimiento mecánico.

Temperatura: verificar que la temperatura cumpla con lo permitido por la norma SAE J1349

Tabla 1. Condiciones Atmosféricas<sup>5</sup>

	Condición estándar	Rango de limite
<b>Presión (Absoluta) de entrada de aire</b>	100 Kpa	----
<b>Presión (Absoluta) de aire seco</b>	99 Kpa	90/105 Kpa
<b>Temperatura de entrada de aire</b>	25°C	15- 35°C

<sup>5</sup> SAE International, SAE J1349. Engine power Test Code.

## **LIMPIEZA INTEGRAL EXTERNA**

Eliminar cualquier suciedad, desechos, polvo, hongos, etc. En las partes externas que componen al equipo mediante los métodos adecuados según corresponda.

- Limpieza de superficie externa utilizando limpiador de superficie líquido, limpiador de superficies, etc.

## **INSPECCIÓN EXTERNA DEL EQUIPO:**

Examinar o reconocer atentamente el equipo, partes o accesorios que se encuentran a la vista, sin necesidad de quitar partes, tapas, etc., tales como mangueras, carcasa, conexiones eléctricas, conector de alimentación, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, fatiga, roturas, fugas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o a tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo.

Actividades involucradas

- a) Revisión del aspecto físico general del equipo y sus componentes, para detectar posibles impactos físicos, maltratos, corrosión en la carcasa o levantamiento de pintura, cualquier otro daño físico. Esto incluye viñetas y señalizaciones, falta de componentes o accesorios, etc.
- b) Revisión de componentes mecánicos, para determinar falta de lubricación, desgaste de piezas, sobrecalentamiento, roturas, etc. Esto incluye sistema de transmisión de potencia, eléctricos e hidráulicos, en los cuales también es necesario detectar fugas en el sistema.
- c) Revisión de componentes eléctricos. Esto incluye: Cordón de alimentación: revisar que este se encuentre íntegro, sin dobleces ni roturas, cualquier signo de deterioro de aislamiento, la toma deberá ser adecuado al tipo y potencia demandada por el equipo y debe hacer buen contacto con la toma de pared. Hacer mediciones con un multímetro si es necesario acerca de la conductividad del mismo, estado del portafusibles, etc.

Hacer mediciones de conductividad con un multímetro verificando una buena transmisión de conductividad.

## **LIMPIEZA INTEGRAL INTERNA.**

Eliminar cualquier suciedad, desechos, polvo, moho, hongos, etc., en las partes internas que componen al equipo, mediante los métodos adecuados según corresponda.

Esto podría incluir:

- Limpieza de superficie interna utilizando limpiador para superficies, líquido, espumas, y aditamentos especiales. Se debe usar limpiador de contactos eléctricos, para garantizar que las partes internas con conexiones eléctricas no sufran daños y se les realice la limpieza adecuada.



Figura 2. Limpiador de contactos eléctricos

## INSPECCION INTERNA:

Examinar o reconocer atentamente las partes internas del equipo y sus componentes, para detectar signos de corrosión, impactos físicos, desgastes, vibración, sobrecalentamiento, sobrecalentamiento, roturas, fugas, partes faltantes, o cualquier signo que obligue a sustituir las partes afectadas o a tomar alguna acción pertinente al mantenimiento preventivo.

Esta actividad podría conllevar de ser necesario, la puesta en funcionamiento de un equipo o de una parte de éste, para comprobar los signos mencionados en el párrafo anterior.

Actividades involucradas:

Revisión general del aspecto físico de la parte interna del equipo y sus componentes, para detectar posibles impactos físicos, maltratos, corrosión en la carcasa o levantamiento de pintura, cualquier otro daño físico.

Revisión de componentes mecánicos, para determinar falta de lubricación, desgaste de piezas, sobrecalentamiento, roturas, etc. Esto incluye los sistemas eléctricos y mecánicos en los cuales también es necesario detectar fugas en el

sistema. Revisión de componentes eléctricos, para determinar falta o deterioro del aislamiento, de los cables internos, conectores etc., que no hayan sido verificados en la revisión externa del equipo, revisando cuando sea necesario, el adecuado funcionamiento de estos con un multímetro.

Revisión de componentes electrónicos, tanto el Arduino como circuitos integrados, inspeccionando de manera visual y táctil si es necesario, el posible sobrecalentamiento de estos. Visualizar el estado físico de la celda de carga y el sensor de rpm; comprobar su funcionamiento realizando mediciones de continuidad o voltaje que permita verificarlo con adecuada exactitud.

## **LUBRICACIÓN Y ENGRASE**

Lubricar y engrasar de forma directa, los rodamientos externos e internos del freno diamétrico hidráulico para garantizar un que este trabaje de una forma libre y no adicione una carga adicional a la fuerza de fricción que opone al motor.

Realizar estas actividades cada 30 horas de trabajo.

Para el motor de combustión interna se deberá realizar el cambio de lubricante cada 5 horas de funcionamiento. Seleccione la viscosidad basada en temperatura del aire en el momento de la operación como se muestra en la figura 1.

## **REEMPLAZO DE CIERTAS PARTES**

La mayoría de los equipos tienen partes diseñadas para gastarse durante el funcionamiento del equipo, de modo que prevengan el desgaste en otras partes o sistemas del mismo. Ejemplo de estos son los empaques, los dispositivos protectores, los carbones, buriles, brocas, mordazas, schucks, refrigerantes, etc.

El reemplazo de estas partes es un paso esencial del mantenimiento preventivo, y puede ser realizado en el momento de la inspección.

### **PARTES A REEMPLAZAR.**

- **FRENO**
  - Reemplazo de rodamientos principales cada 150 horas.
  - Sustituir sellos mecánicos cada 150 horas.
  
- **MOTOR**
  - Reemplazo de pre filtro de elemento doble cada 50 horas o anualmente.
  - Limpieza del elemento de filtro de aire debajo perfil cada 100 horas
  - Cambiar la bujía cada 125 horas o anualmente
  - Reemplazo de la línea de combustible cada 200 horas

- Controle y ajuste la holgura de la válvula cada 100 horas
- Descarbonizar la cámara de combustión cada 100 horas

## AJUSTE Y CALIBRACIÓN

En el mantenimiento preventivo es necesario ajustar y calibrar los equipos, ya sea ésta una calibración o ajuste mecánico, eléctrico, o electrónico. Para esto deberá tomarse en cuenta lo observado anteriormente en la inspección externa e interna del equipo, y de ser necesario poner en funcionamiento el equipo y realizar mediciones de los parámetros más importantes de éste, de modo que éste sea acorde a los valores establecidos por el fabricante del motor.

Luego de esto debe realizarse la calibración o ajuste que se estime necesaria, poner en funcionamiento el equipo y realizar la medición de los parámetros correspondientes, estas dos actividades serán necesarias hasta lograr que el equipo no presente signos de desajuste o falta de calibración.

Al realizar la prueba de calibración, se deberá obtener un valor de torque de 13.8 N.m y un valor de 3600 rpm, valores que serán necesarios para la calibración del equipo.

## PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO

Además de las pruebas de funcionamiento realizadas en otras partes de la rutina, es importante poner en funcionamiento el equipo en conjunto con el operador. En todos los modos de funcionamiento que éste posea, lo cual además de detectar posibles fallas en el equipo, promueve una mejor comunicación entre el técnico y el operador, con la consecuente determinación de fallas en el proceso de operación por parte del operador.

### Instructivo de uso del formato de calendarización de mantenimiento a Equipos

En este formato se pretende programar los mantenimientos de acuerdo a su uso y necesidades de la máquina, considerando también las actividades del laboratorio y días festivos. Por lo tanto, su llenado es de la siguiente manera:

1. **PERÍODO:** Anotar el periodo actual en base a la clase.
2. **MES.** Se anota el mes a efectuar el mantenimiento.
3. **ÁREA.** Especificar el área que recibirá el mantenimiento.

4. **RESPONSABLE.** Nombre de la persona responsable del área.
5. **CANTIDAD.** Especificar el número de equipos
6. **DESCRIPCIÓN DEL EQUIPO.** Indicar una breve descripción del bien a dar mantenimiento.
7. **FECHA.** Anotar el período en que se realizará el mantenimiento.

**Tabla 2. Programa de mantenimiento.**

Periodo (1)

Mes (2)	Área (3)	Responsable (4)	Cantidad (5)	Descripción del equipo (6)	Fecha (7)

Con el programa ya establecido se pretende hacer el mantenimiento a los equipos en tiempo y forma. Para esto se deberá llenar otro mantenimiento que conste del mantenimiento realizado a la máquina.

1. **No. SERVICIO.** Indicar el número de servicio
2. **TIPO DE MANTENIMIENTO.** Especificar el tipo de mantenimiento correctivo o preventivo.
3. **FECHA DE INICIO.** Especificar la fecha de inicio del servicio.
4. **FECHA DE FIN.** Especificar la fecha de inicio del servicio.
5. **NOMBRE DEL SOLICITANTE.** Escribir el nombre del solicitante del servicio.
6. **AREA.** Indicar el área para la que se realiza el servicio.
7. **CANTIDAD.** Anotar la cantidad de bienes.
8. **DESCRIPCIÓN DEL BIEN.** Describir el bien en cuestión.
9. **NO. DE INVENTARIO SERIE O MODELO.** Escribir el número de inventario del bien, los cuatro últimos dígitos del número de serie o el modelo del bien.
10. **TRASLADO** Indicar si el bien será reparado fuera de la institución.
11. **DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO O FALLA.** Describir la falla o el servicio a realizar.
12. **DIAGNOSTICO FINAL DEL REPORTE.** Describir el diagnóstico final.
13. **OBSERVACIONES DE SALIDA.** Indicar las características físicas del bien al momento de salir.
14. **FIRMA RESPONSABLE.** El responsable de dar mantenimiento firmará el documento.

15. **FIRMA USUARIO.** ÉL solicitante del mantenimiento firmará de conformidad.
16. **OBSERVACIONES DE ENTRADA.** Indicar las características físicas del bien al momento de regresar.
17. **FIRMA USUARIO.** ÉL solicitante del mantenimiento firmará de conformidad.
18. **FIRMA RESPONSABLE.** ÉL solicitante del mantenimiento firmará de conformidad.
19. **NOMBRE.** Escribir el nombre del solicitante del servicio.
20. **No. SERVICIO.** Indicar el número de servicio, que será el mismo que en inciso número 1
21. **FECHA.** Anotar cuando se solicita el servicio.
22. **RECIBE.** Firma del personal de soporte o proveedor
23. **ENTREGA.** Firma del solicitante del mantenimiento.
24. **DESCRIPCIÓN DEL SERVICIO. Describir la falla o servicio a realizar.**
25. **OBSERVACIONES.** Cualquier imprevisto que surgiera en la realización del mantenimiento.

A continuación, se presenta el formato que se usa para el caso de mantenimiento preventivo o correctivo según sea el caso.

**Tabla 3. Formato de mantenimiento preventivo o correctivo**

No. De servicio (1)

Tipo de Mantenimiento (2): Preventiv  o Correctivo

fecha Fecha fin (4)

Inicio (3) \_\_\_\_\_ área (6) \_\_\_\_\_

Nombre de solicitante (5) \_\_\_\_\_

DESCRIPCION DEL BIEN	Cantidad (7)	Descripción del Bien (8)	No. De Inventario, Modelo o Serie (9)

Traslado (10) Si  No

Descripción de falla (11)

Descripción Final de Reporte (12)

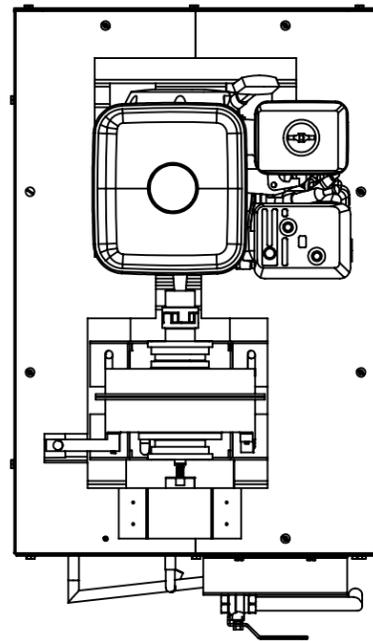
OBSERVACIONES DE SALIDA (13):

ENTREGA DE RESPONSABLE (14): \_\_\_\_\_ ENTREGA DE USUARIO (15) \_\_\_\_\_

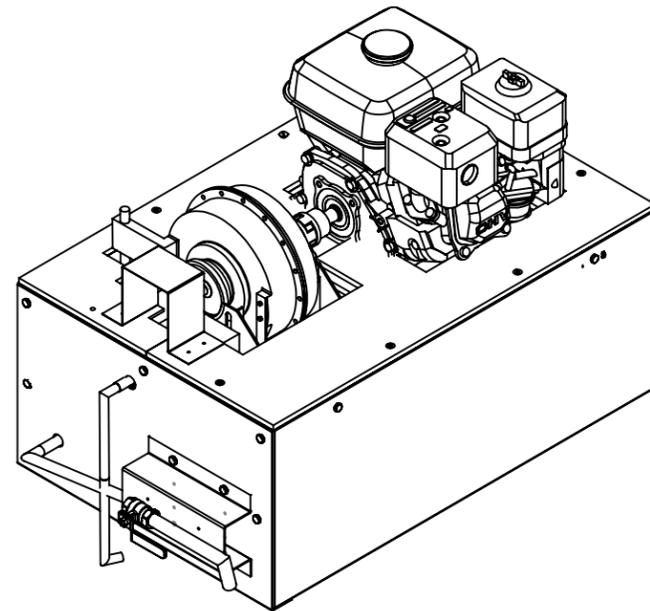
OBSERVACIONES DE ENTRADA (16):

ENTREGA USUARIO (17) \_\_\_\_\_ ENTREGA RESPONSABLE (18) \_\_\_\_\_

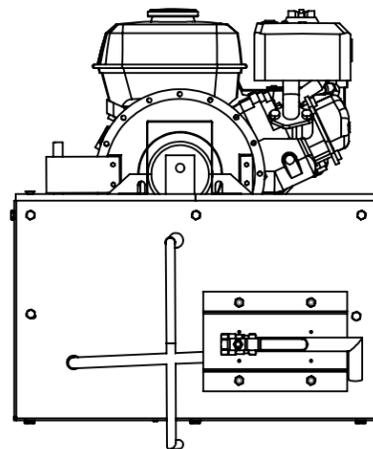
## PLANOS



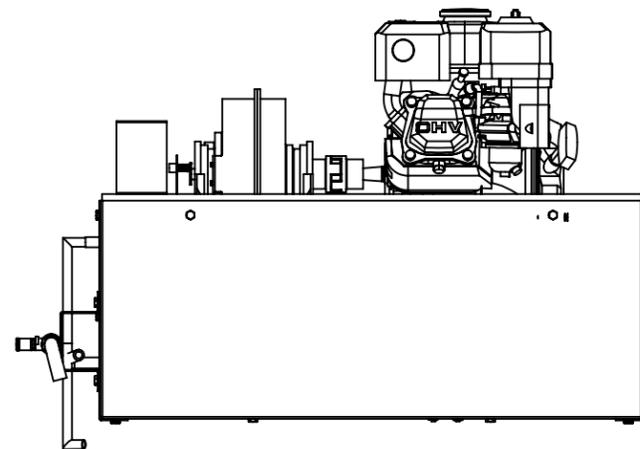
**VISTA SUPERIOR**



**ISOMÉTRICO ESC 1:10**



**VISTA FRONTAL**



**VISTA LATERAL DERECHA**

N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Bancada Estructural		1
2	Tapas Fondo		1
3	Placa Freno		2
4	Placa Motor		2
5	Freno de Agua		1
6	Acople de Araña JAW SKF		1
7	Placa Soportes		2
8	Base Sensor de Carga		1
9	Sensor de Carga		1
10	Motor Kohler SH65		1
11	Válvula Reguladora de Flujo 1/2"		1
12	Manguera Hidráulica		1
13	Manguera Hidráulica		2
14	Tapadera 1		1
15	Tapadera 2		1
16	PLMH		1
17	PLMV		1
18	TBC		1
19	Motor XYLOTEX		1
20	Perno 1/4"-28x5/8"x5/8"-N		4
21	Perno 1/4"-28x2x3/4"-N		4
22	Perno 1/4"-20x1 1/2"x3/4"-N		29
23	Arandela FW 1/4"		9
24	Tuerca 1/4"-28-D-N		8
25	Perno Avellanado 1/4"-20x1 1/4"x 3/4"-S-N		8
26	Circuito Eléctrico		1
27	TPF1		1
28	TPF2		1
29	TPL 1		1
30	Soporte de válvula		1
31	Manguera Reforzada 2		1
32	Manguera Reforzada 1		1
33	Arandela 1/4"		4
34	PTRPM		1
35	TPL2		1

ESCALA	Br. Diego Gerardo Ariola Trigueros		20/02/2017
DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto		09/03/2018
	Br. Hugo Hemberito Miranda Alemán		
REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos		
TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Diseño y construcción de un banco de pruebas para generar la curva par-velocidad de un motor de combustión interna		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MATERIAL	CANTIDAD:
	PLANO DE PRESENTACIÓN		



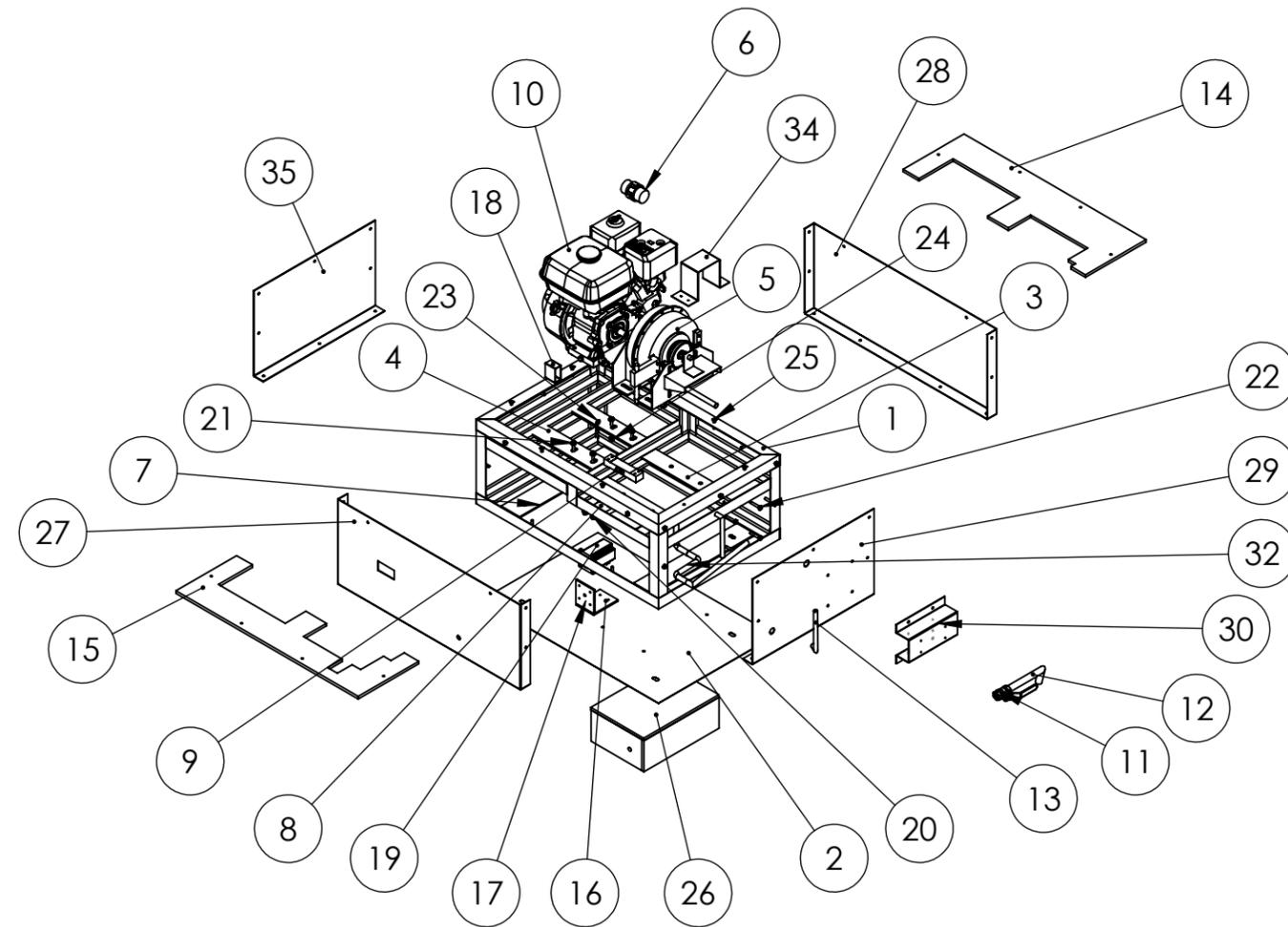
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héoes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

CÓDIGO

A3



**DIBUJO EXPLOSIONADO DE ENSAMBLE.**

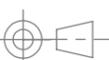
N.º DE ELEMENTO	N.º DE PIEZA	DESCRIPCIÓN	CANTIDAD
1	Bancada Estructural		1
2	Tapas Fondo		1
3	Placa Freno		2
4	Placa Motor		2
5	Freno de Agua		1
6	Acople de Araña JAW SKF		1
7	Placa Soportes		2
8	Base Sensor de Carga		1
9	Sensor de Carga		1
10	Motor Kholer SH65		1
11	Válvula reguladora 1/2"		1
12	Manguera Hidráulica		1
13	Manguera Hidráulica		2
14	Tapadera 1		1
15	Tapadera 2		1
16	PLMH		1
17	PLMV		1
18	TBC		1
19	Motor XYLOTEX		1
20	HFBOLT 0.25-28x0.625x0.625-N		4
21	Perno 1/4"-28x2x3/4"-N		4
22	Perno 1/4"-20x2x3/4"-N		29
23	Arandela FW 1/4"		9
24	Tuerca 1/4"-28-D-N		8
25	Perno Avellanado 1/4"x3/4"-S-N		8
26	Circuito Eléctrico		1
27	TPF1		1
28	TPF2		1
29	TPL 1		1
30	Soporte de válvula		1
31	Manguera Reforzada 2		1
32	Manguera Reforzada 1		1
33	Arandela 1/4"		4
34	PTRPM		1
35	TPL2		1

ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		11/05/2016
1:2	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	01/06/2016
	REVISÓ:	Br. Hugo Hemberito Miranda Alemán	
		Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un banco de pruebas para generar la curva par-velocidad de un motor de combustión interna		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DESPIECE BANCO DE PRUEBAS PARA MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA	MATERIAL
			CANTIDAD:



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

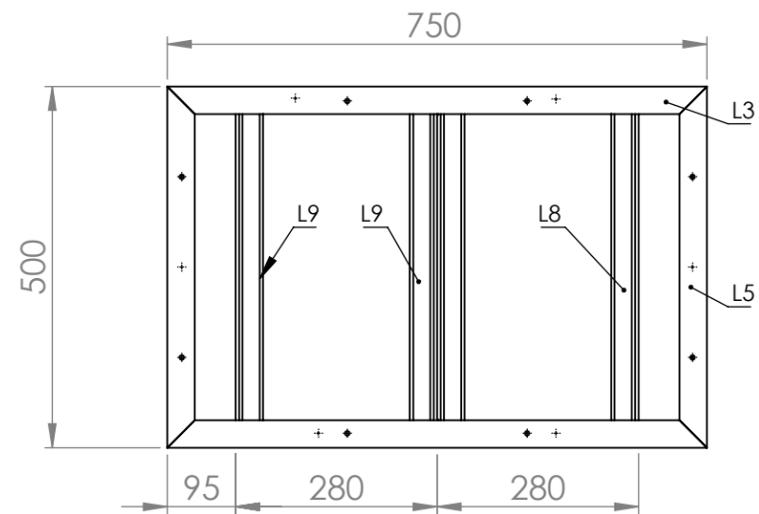
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador



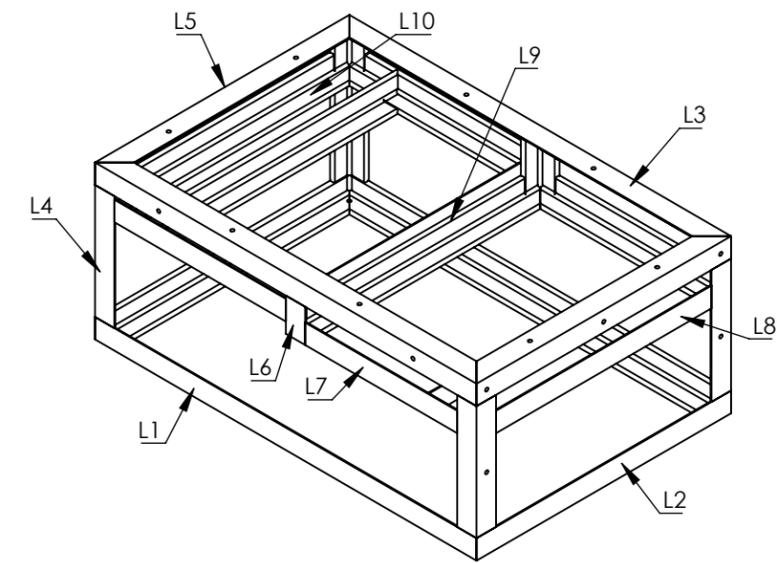
HOJA 1/1

CÓDIGO

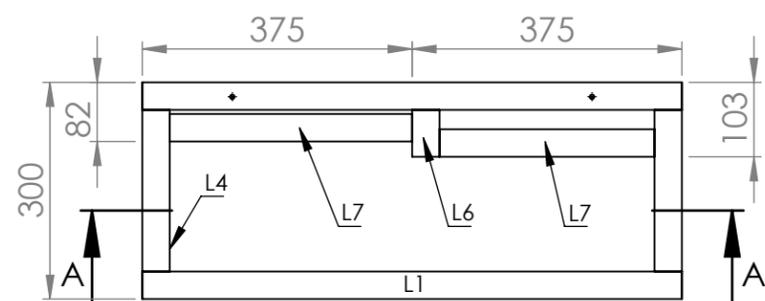
A3



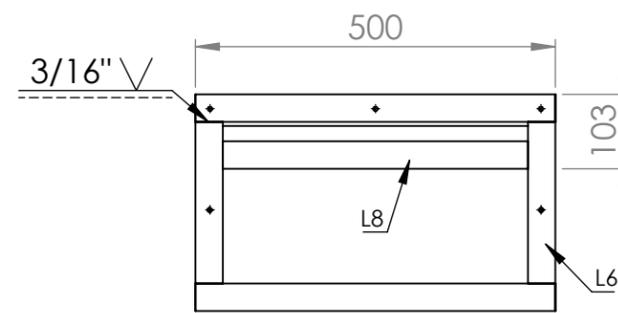
**VISTA EN PLANTA**



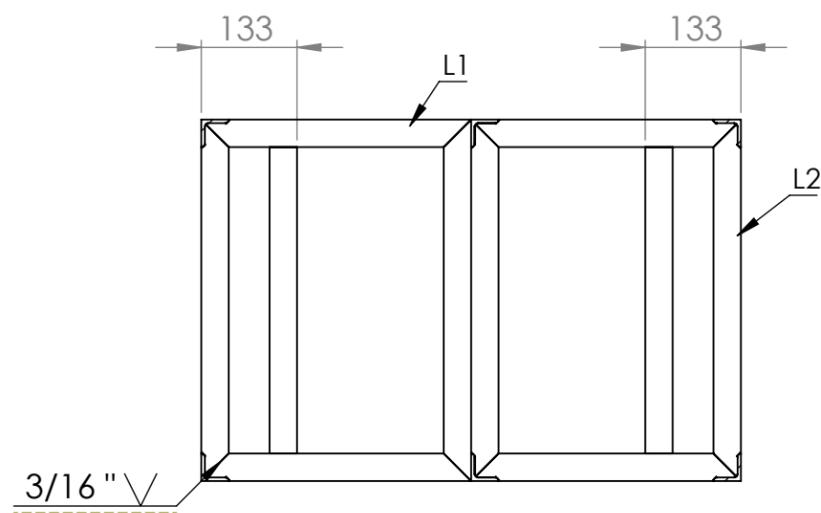
**ISOMÉTRICO ELEMENTOS ENSAMBLADOS**



**VISTA FRONTAL**



**VISTA POSTERIOR**



**SECCIÓN A-A**

ESCALA	Br. Diego Gerardo Ariola Trigueros		20/02/2017
DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto		09/03/2018
	Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán		
REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos		
TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Diseño y construcción de un banco de pruebas para generar la curva par-velocidad de un motor de combustión interna		
Cuando no se especifique	NOMBRE	MATERIAL	
Unidades: mm	PLANO ENSAMBLE <b>BANCADA</b>	CANTIDAD:	

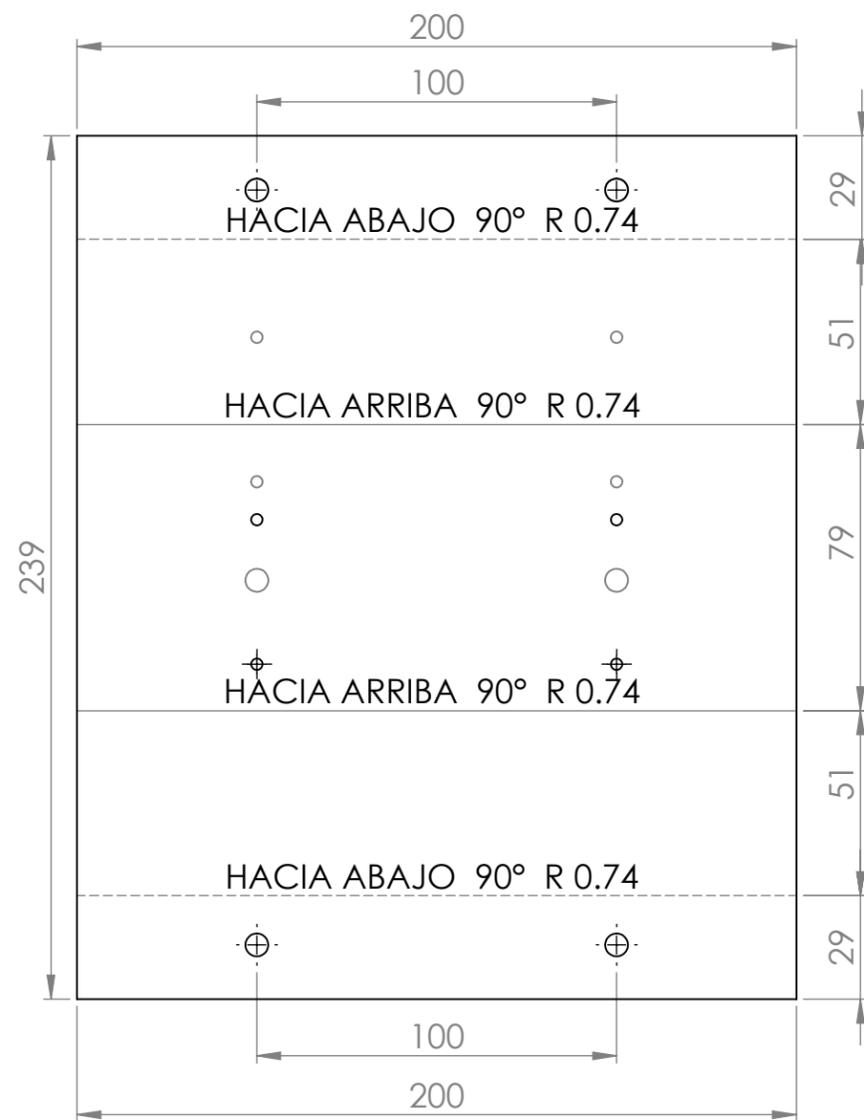


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

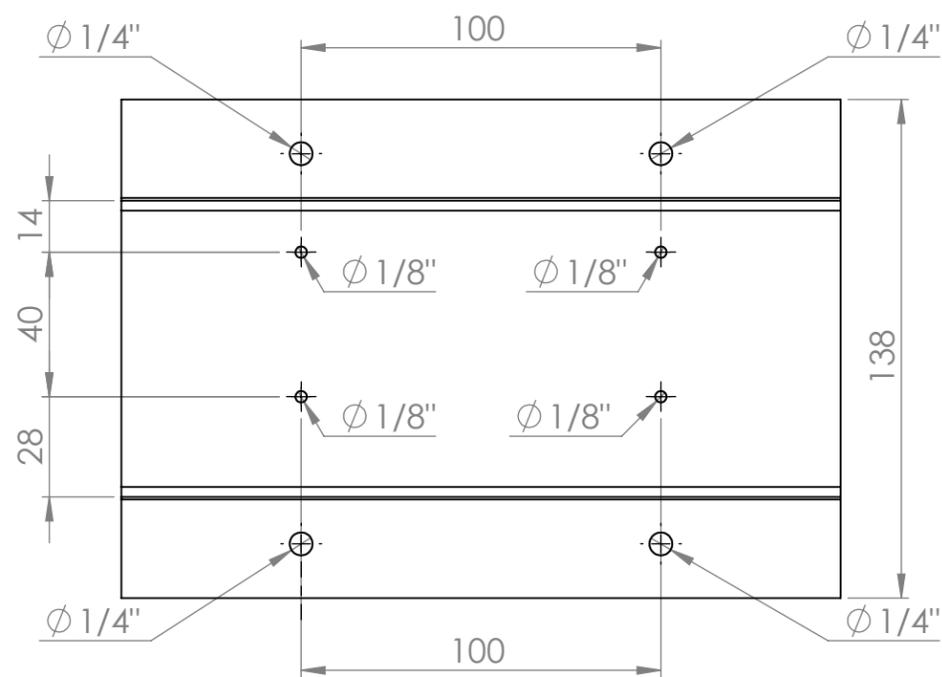
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1
CÓDIGO
FORMATO
A3

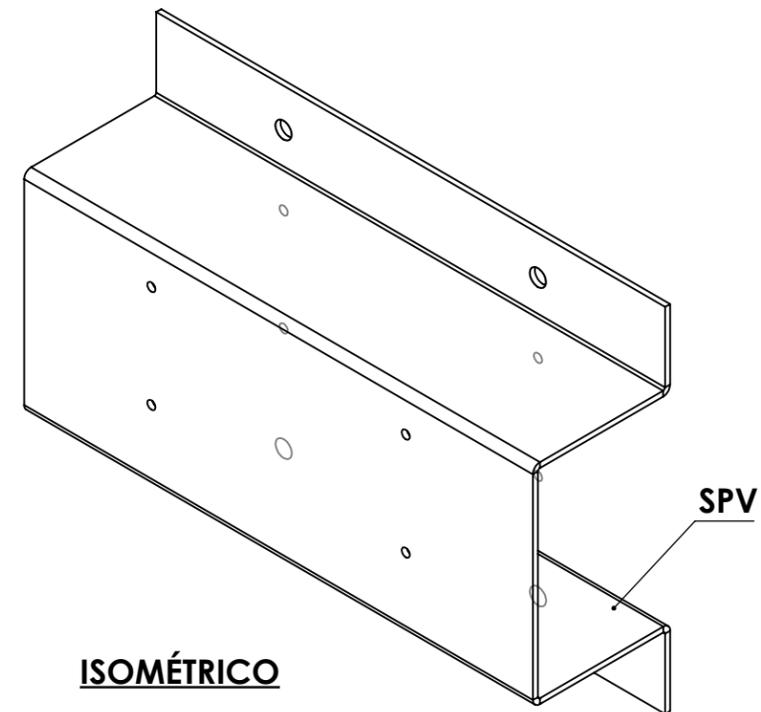
**SOPORTE PARA VÁLVULA / LÁMINA e=1mm**



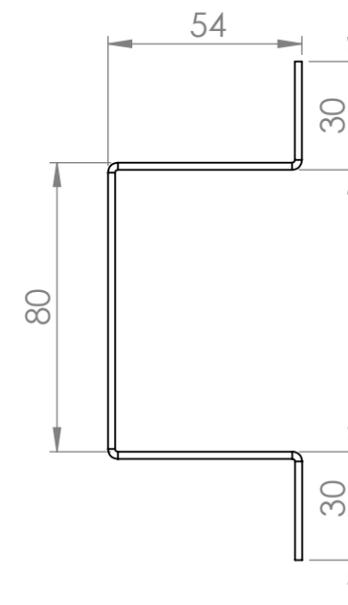
**DESARROLLO**



**VISTA FRONTAL**



**ISOMÉTRICO**



**VISTA LATERAL**

ESCALA	Br. Diego Gerardo Ariola Trigueros		20/02/2017
1:2	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018
	REVISÓ:	Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
		Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un banco de pruebas para generar la curva par-velocidad de un motor de combustión interna		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	MATERIAL	
	PLANO DE DETALLE SOPORTE PARA VÁLVULA	A36	
		CANTIDAD:	1

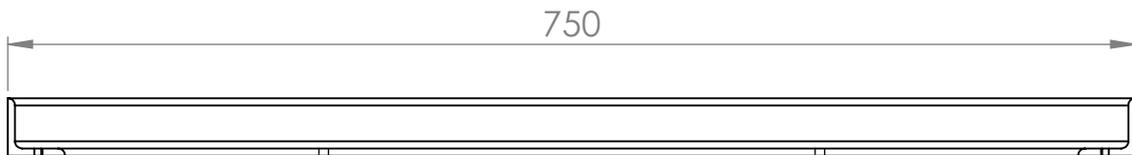


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

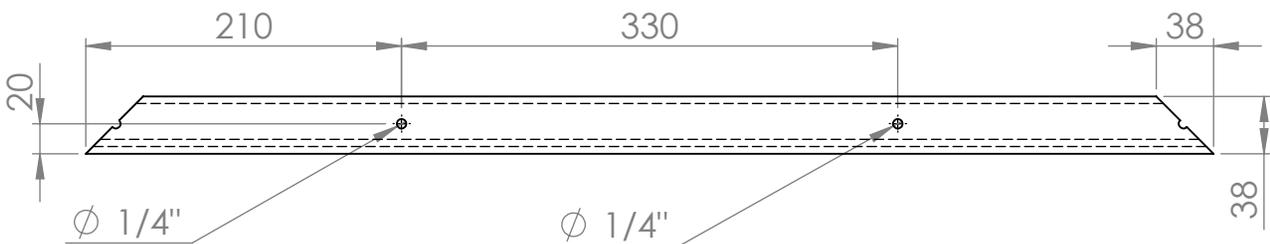
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1
CÓDIGO
SPV
FORMATO
A3

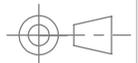
**L1 1 1/2" x 3/16 "**



**VISTA FRONTAL**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	20/02/2017
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.	
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL A36
		CANTIDAD: 2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

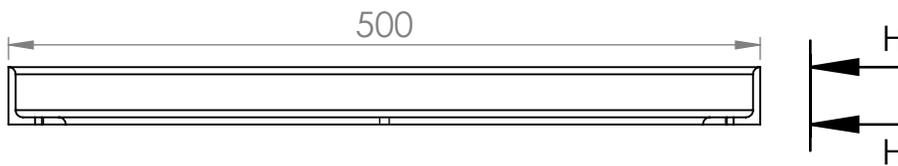
HOJA 1/10

CÓDIGO

**L1**

A4

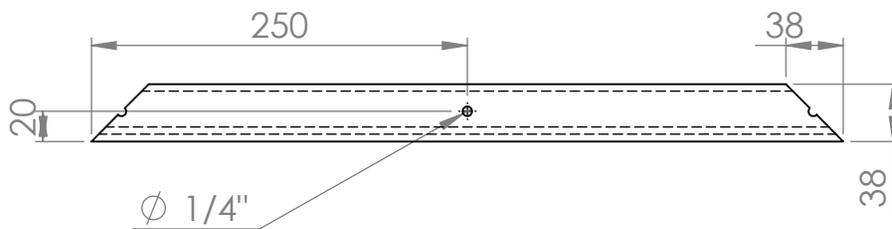
**L2 1 1/2" x 3/16 "**



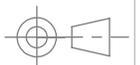
**VISTA FRONTAL**



**SECCIÓN H-H  
ESCALA 1 : 5**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA	DISEÑARON:	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	20/02/2017
1:5		Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo	
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE <b>ESTRUCTURA</b>	MATERIAL <b>A36</b>
			CANTIDAD: 2



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA**

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

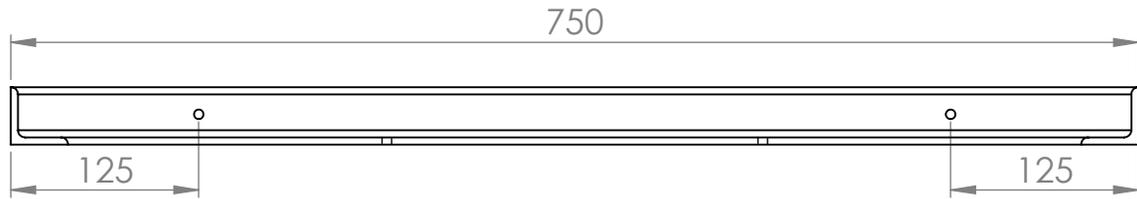
HOJA 2/10

CÓDIGO

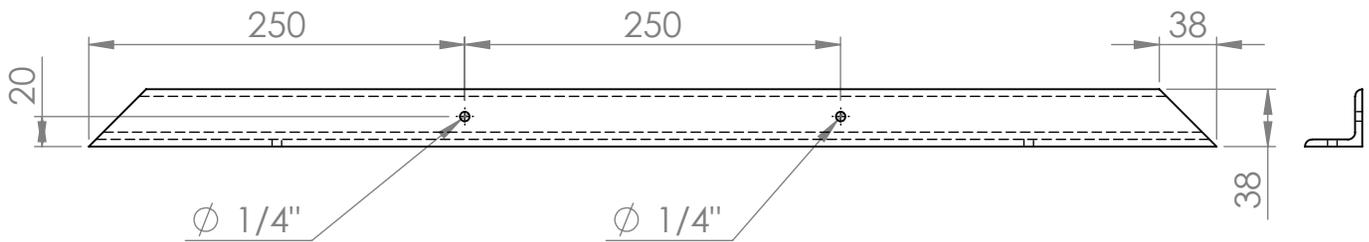
**L2**

A4

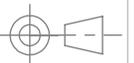
**L3 1 1/2" x 3/16 "**



**VISTA FRONTAL**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL A36
			CANTIDAD: 2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

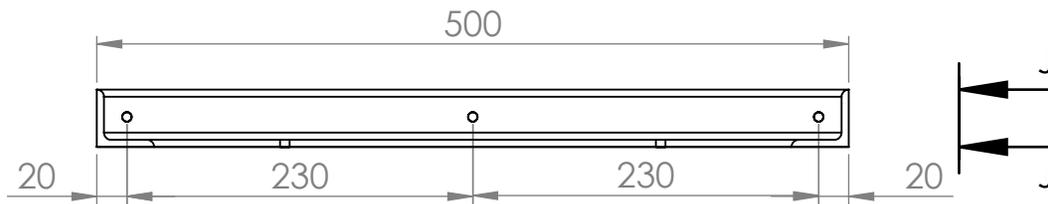
HOJA 3/10

CÓDIGO

**L3**

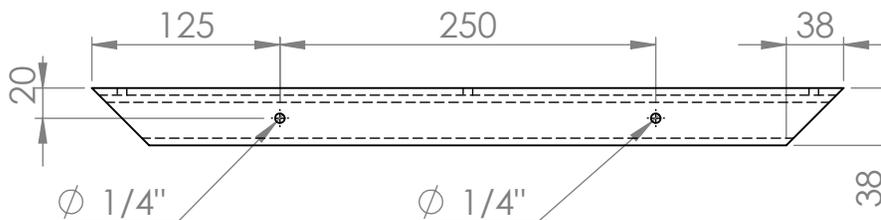
A4

**L4 1 1/2" x 3/16 "**



SECCIÓN J-J  
ESCALA 1 : 5

**VISTA FRONTAL**

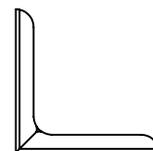
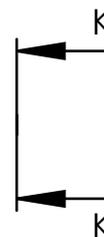
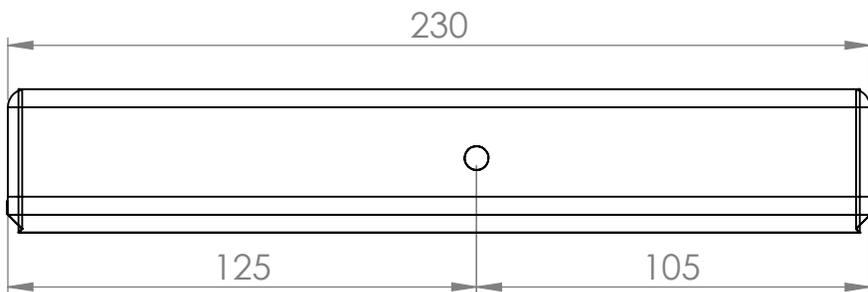


**VISTA INFERIOR**



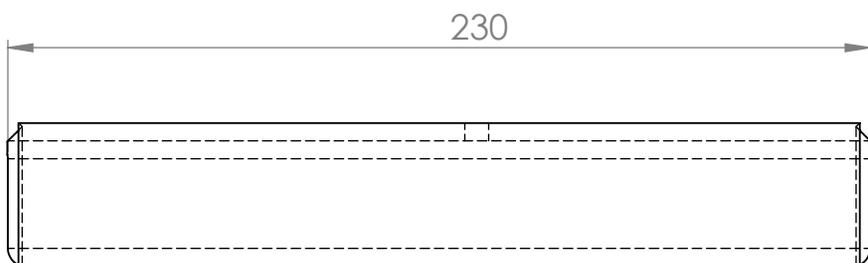
ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 4/10
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018		CÓDIGO
	REVISÓ:	Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán			L4
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos			
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA		MATERIAL	A4
				A36	
				CANTIDAD: 2	

**L5 1 1/2" x 3/16 "**



SECCIÓN K-K  
ESCALA 1 : 2

**VISTA FRONTAL**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:2	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL A36
			CANTIDAD: 4



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

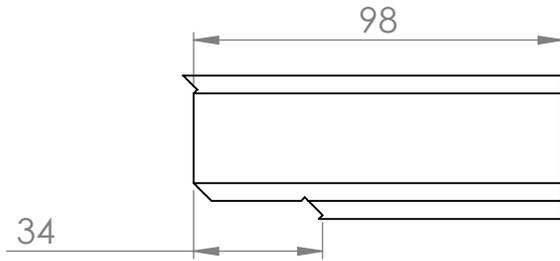
HOJA 5/10

CÓDIGO

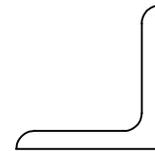
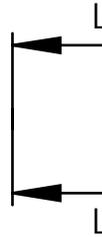
**L5**

A4

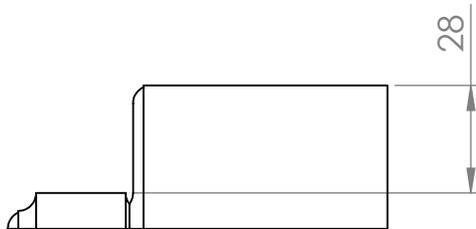
**L6 1 1/2" x 3/16 "**



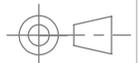
**VISTA FRONTAL**



**SECCIÓN L-L  
ESCALA 1 : 2**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:2	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE <b>ESTRUCTURA</b>	MATERIAL <b>A36</b> CANTIDAD: 2



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA**

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

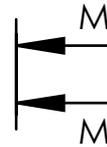
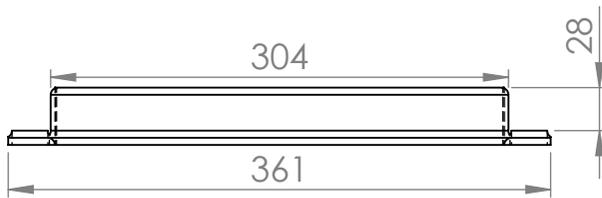
HOJA 6/10

CÓDIGO

**L6**

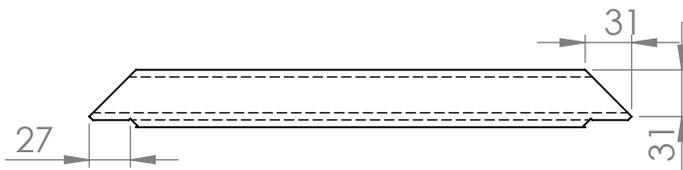
A4

**L7 1 1/2" x 3/16 "**

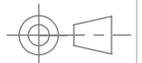


SECCIÓN M-M  
ESCALA 1 : 5

**VISTA FRONTAL**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA		Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	20/02/2017
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL A36
			CANTIDAD: 2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

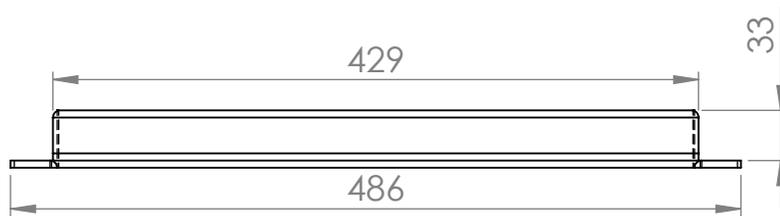
HOJA 7/10

CÓDIGO

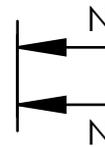
L7

A4

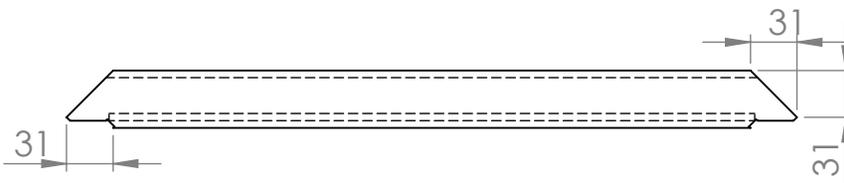
**L8 1 1/2" x 3/16 "**



**VISTA FRONTAL**



**SECCIÓN N-N  
ESCALA 1 : 5**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL A36
			CANTIDAD: 2



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA**

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

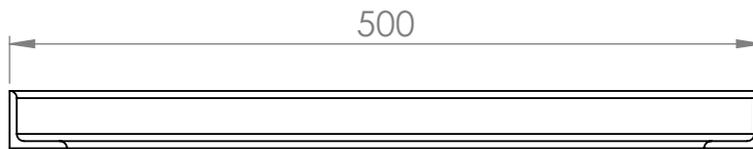
HOJA 8/10

CÓDIGO

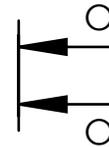
**L8**

A4

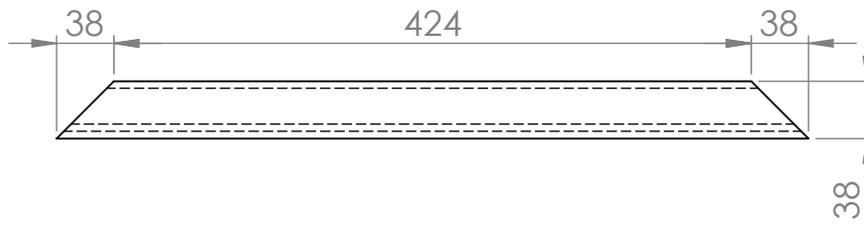
**L9 1 1/2" x 3/16 "**



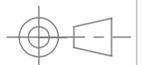
**VISTA FRONTAL**



**SECCIÓN O-O  
ESCALA 1 : 5**



**VISTA INFERIOR**



ESCALA		Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	20/02/2017
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA	MATERIAL <b>A36</b> CANTIDAD: 2



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA**

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

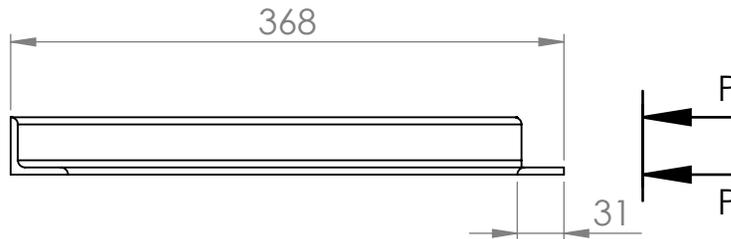
HOJA 9/10

CÓDIGO

**L9**

A4

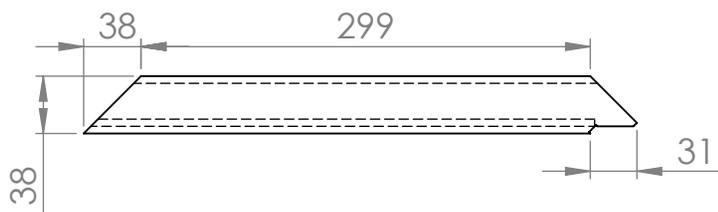
**L10 1 1/2" x 3/16 "**



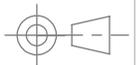
**VISTA FRONTAL**



**SECCIÓN P-P  
ESCALA 1 : 5**

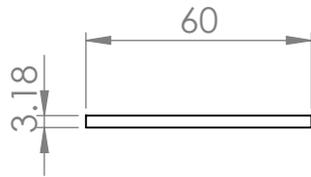


**VISTA INFERIOR**

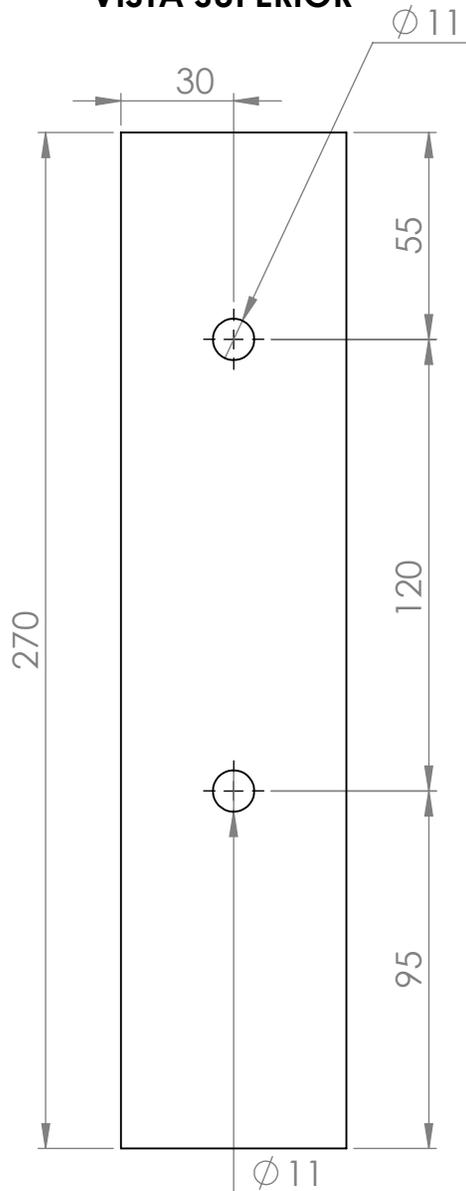


ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 10/10
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018		CÓDIGO
	REVISÓ:	Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán			L10
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos			
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE ESTRUCTURA		MATERIAL	A4
				A36	
				CANTIDAD: 2	

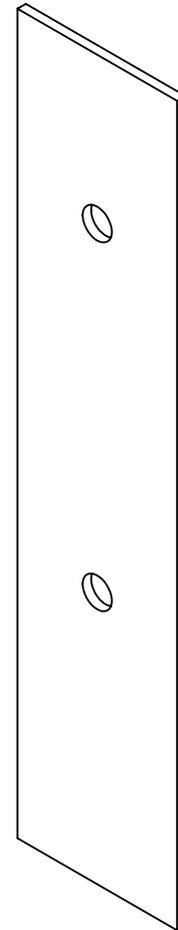
# PLACA BASE PARA FRENO.



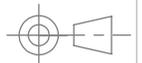
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



ISOMÉTRICO  
ESC 1:2



ESCALA		Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	
1:2	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo	20/02/2017
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE <b>PLACA BASE PARA FRENO</b>	MATERIAL <b>A36</b>
			CANTIDAD: 2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

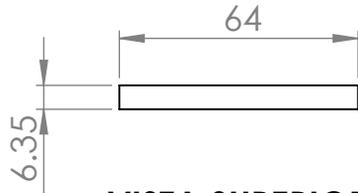
HOJA 1/1

CÓDIGO

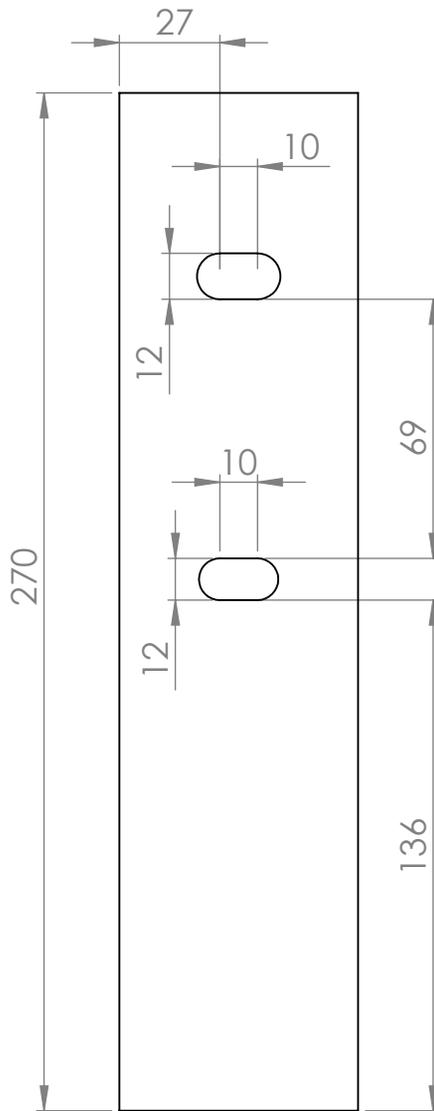
**PPF**

A4

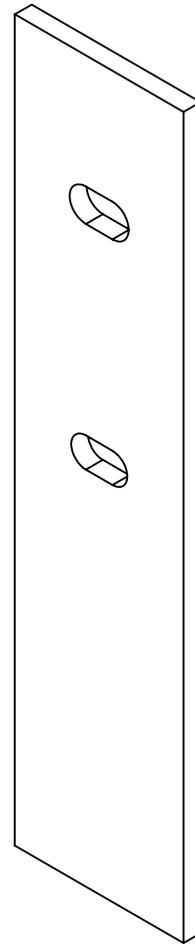
# PLACA BASE PARA MOTOR.



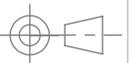
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



ISOMÉTRICO  
ESC 1:2



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:2	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE PLACA BASE PARA MOTOR	MATERIAL Acero 1020 CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

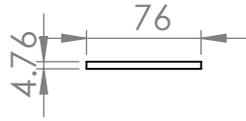
HOJA 1/1

CÓDIGO

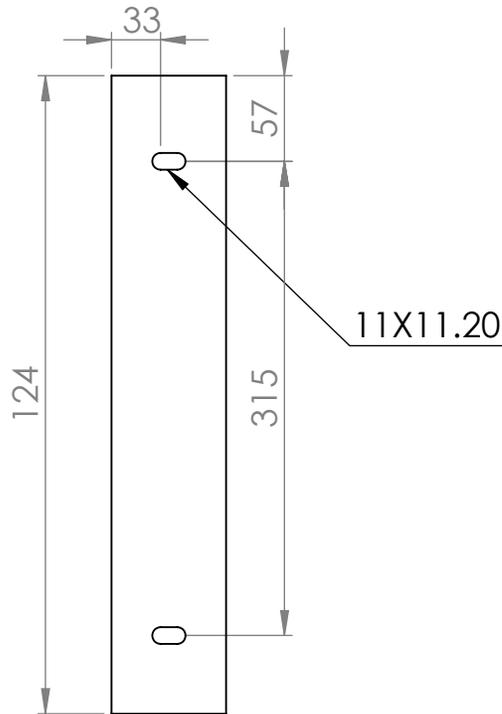
**PBM**

A4

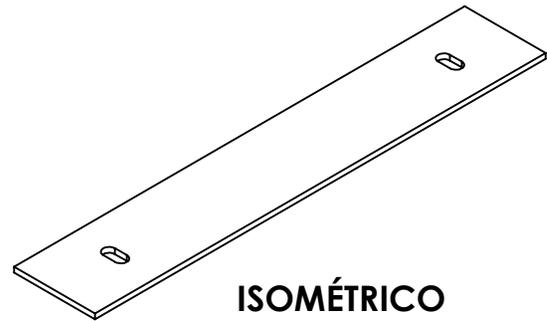
# PLACA PARA SOPORTE DE ESTRUCTURA.



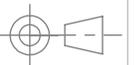
VISTA SUPERIOR



VISTA FRONTAL



ISOMÉTRICO  
ESC 1:5



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Sofó	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE PLANO DE DETALLE PLACA PARA SOPORTE DE ESTRUCTURA	MATERIAL A36	CANTIDAD: 2



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

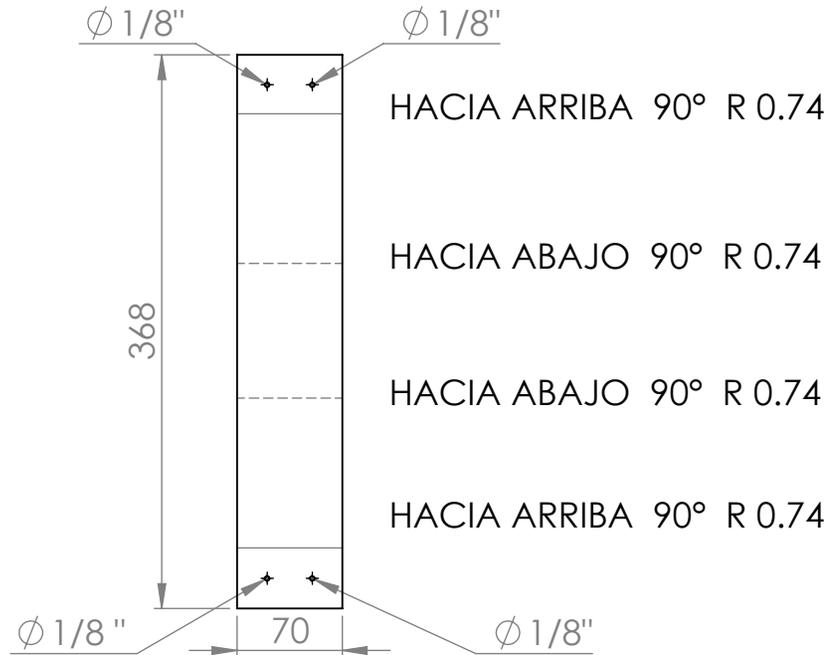
HOJA 1/1

CÓDIGO

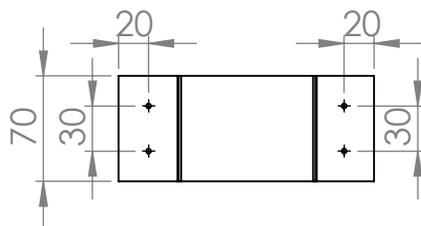
PPE

A4

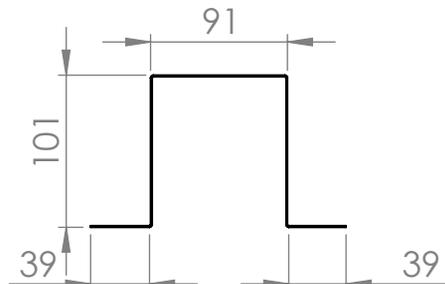
## PROTECTOR PARA SENSOR DE RPM/ e=1 mm



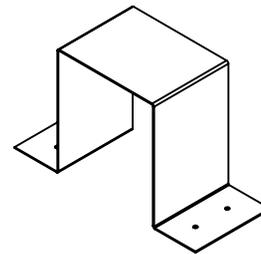
### DESARROLLO: LÁMINA DE 1mm



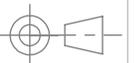
**VISTA EN PLANTA**



**VISTA FRONTAL**



**ISOMÉTRICO**  
ESC 1:5



ESCALA		Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	
<b>1:5</b>	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	20/02/2017
		Br. Hugo Hemberito Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE <b>PROTECTOR PARA SENSOR DE RPM</b>	
		MATERIAL	
		<b>A36</b>	
		CANTIDAD:	1



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA**  
**MECÁNICA**

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

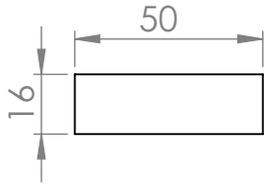
CÓDIGO

**PTRPM**

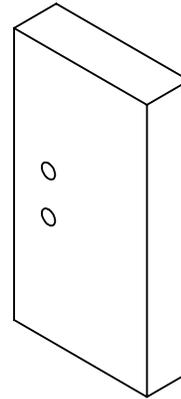
FORMATO

A4

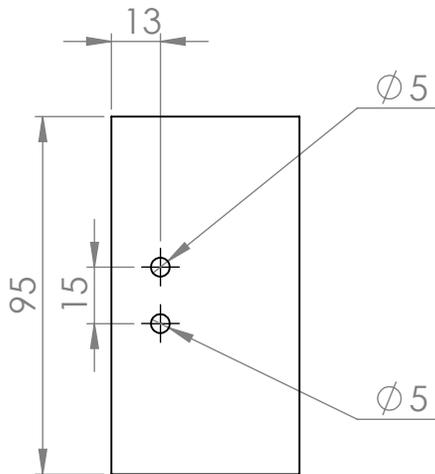
# BASE PARA CELDA DE CARGA



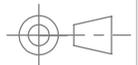
**VISTA SUPERIOR**



**ISOMÉTRICO**  
ESC 1:2



**VISTA FRONTAL**



ESCALA		Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	
1:2	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	20/02/2017
		Br. Hugo Hemberito Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE <b>SOPORTE PARA CELDA DE CARGA</b>	MATERIAL Acero 1020
			CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

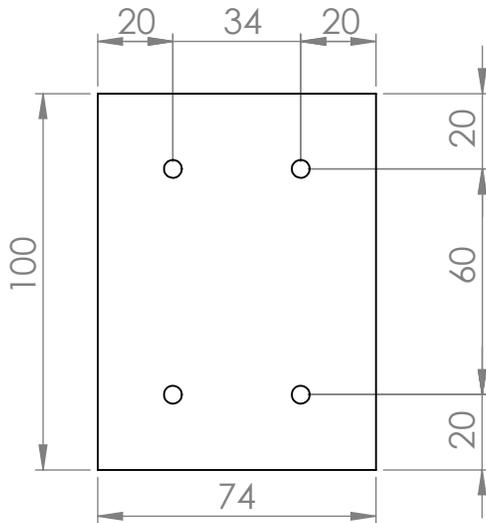
HOJA 1/1

CÓDIGO

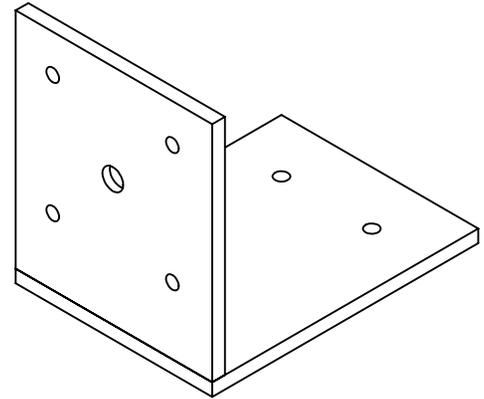
**BCC**

A4

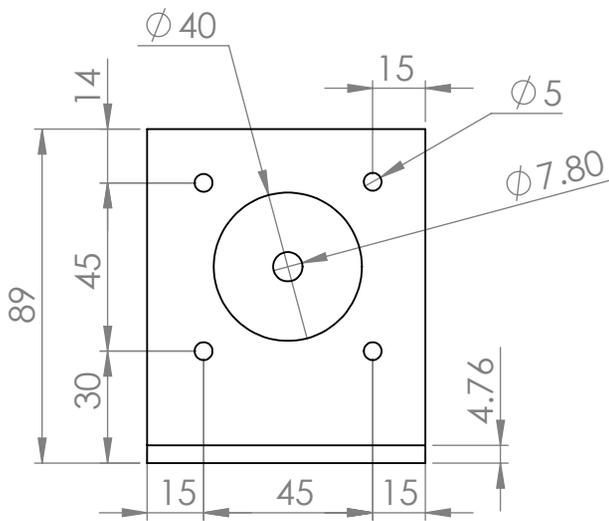
## SOPORTE PARA MOTRO A PASOS



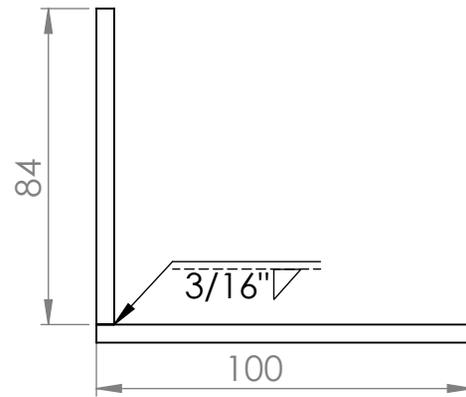
**VISTA SUPERIOR**



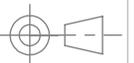
**ISOMÉTRICO**  
ESC 1:2



**VISTA FRONTAL**



**VISTA LATERAL DERECHA**



ESCALA		Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	
<b>1:2</b>	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	20/02/2017
		Br. Hugo Hemberito Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.	
Cuando no se especifique	NOMBRE	PLANO DE DETALLE SOPORTE PARA MOTOR A PASOS	
Unidades: mm		MATERIAL	A36
		CANTIDAD:	1



**UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**Y ARQUITECTURA**  
**ESCUELA DE INGENIERÍA**  
**MECÁNICA**

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

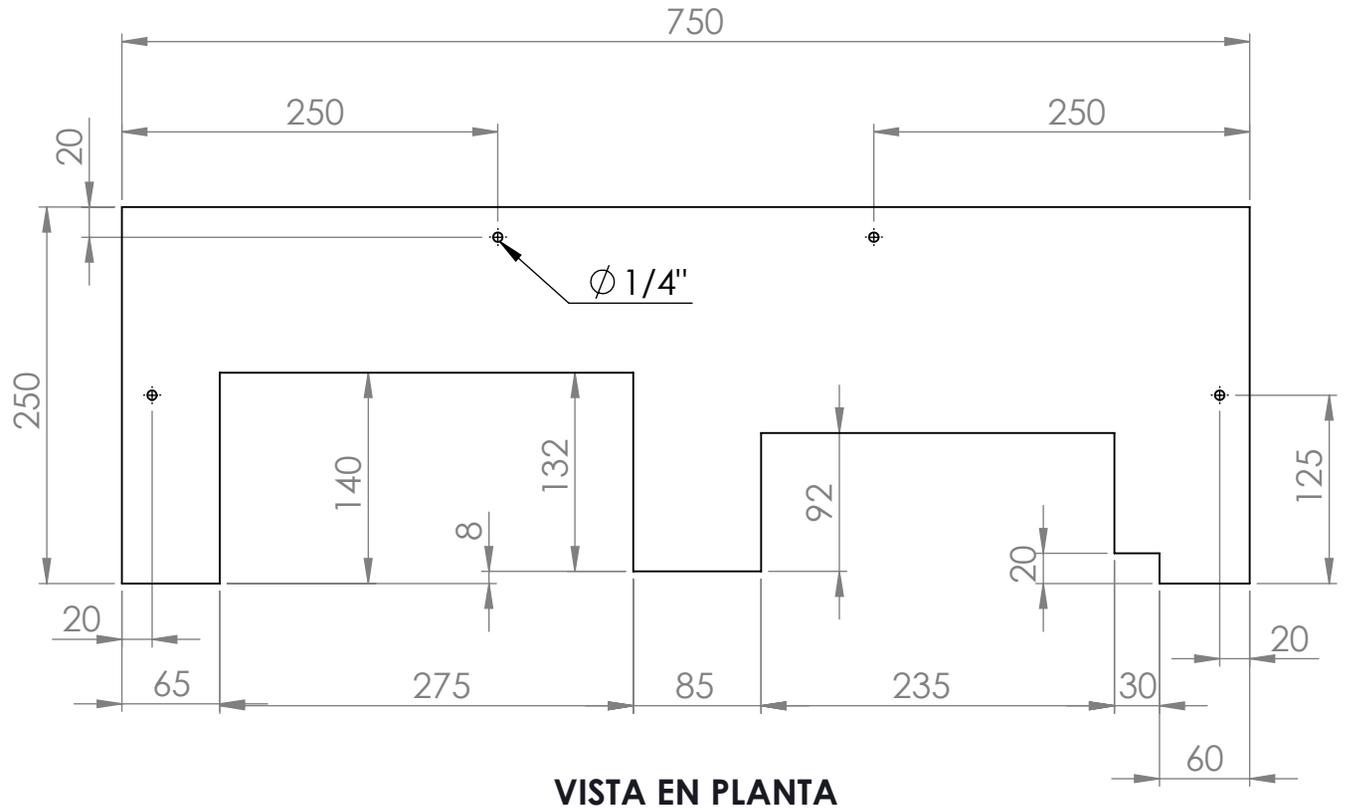
HOJA 1/1

CÓDIGO

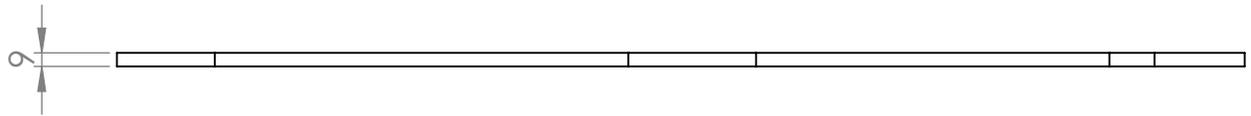
**SPM**

A4

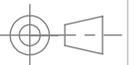
# TPD1 MADERA DE PINO 9 mm



VISTA EN PLANTA

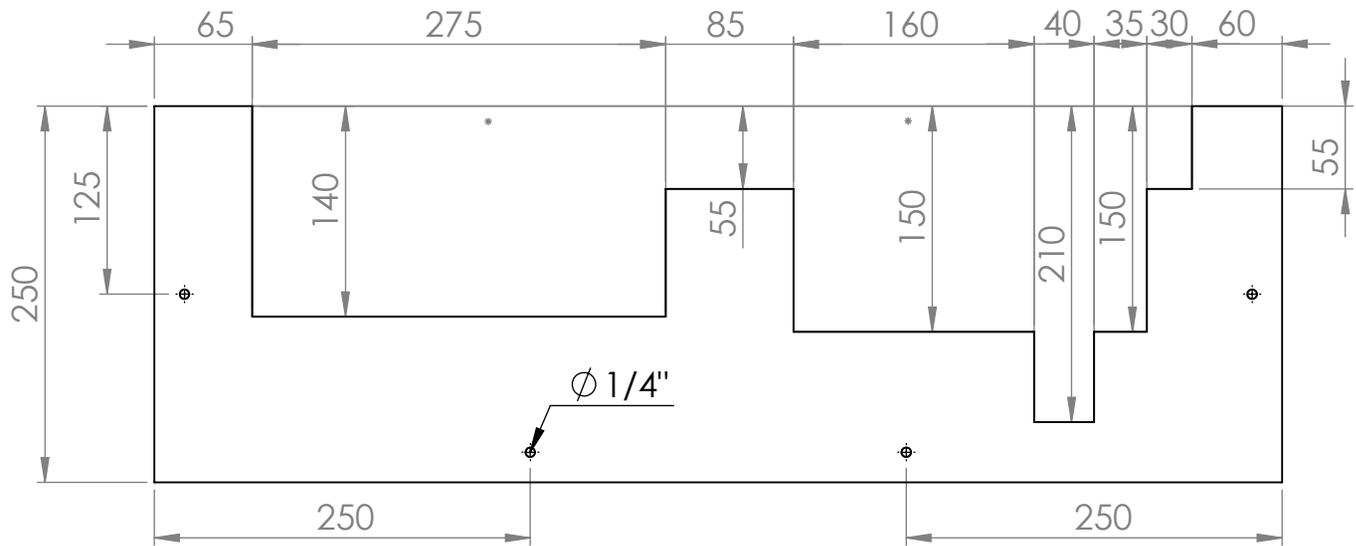


VISTA FRONTAL

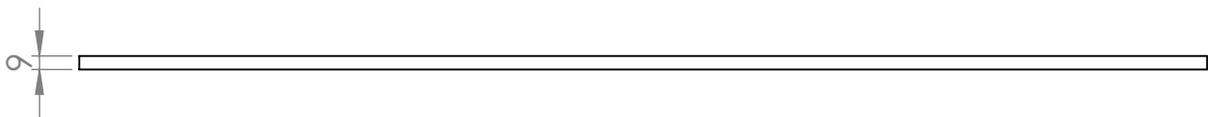


ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 1/1
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018		CÓDIGO
	REVISÓ:	Br. Hugo Hemberito Miranda Alemán			TPD1
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos			
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE TAPAS SUPERIORES		MATERIAL	A4
				M. Pino	
				CANTIDAD: 1	

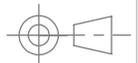
# TPD2 MADERA DE PINO 9 mm



VISTA EN PLANTA

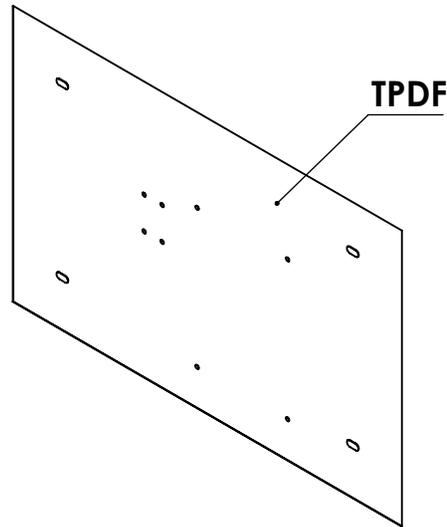


VISTA FRONTAL

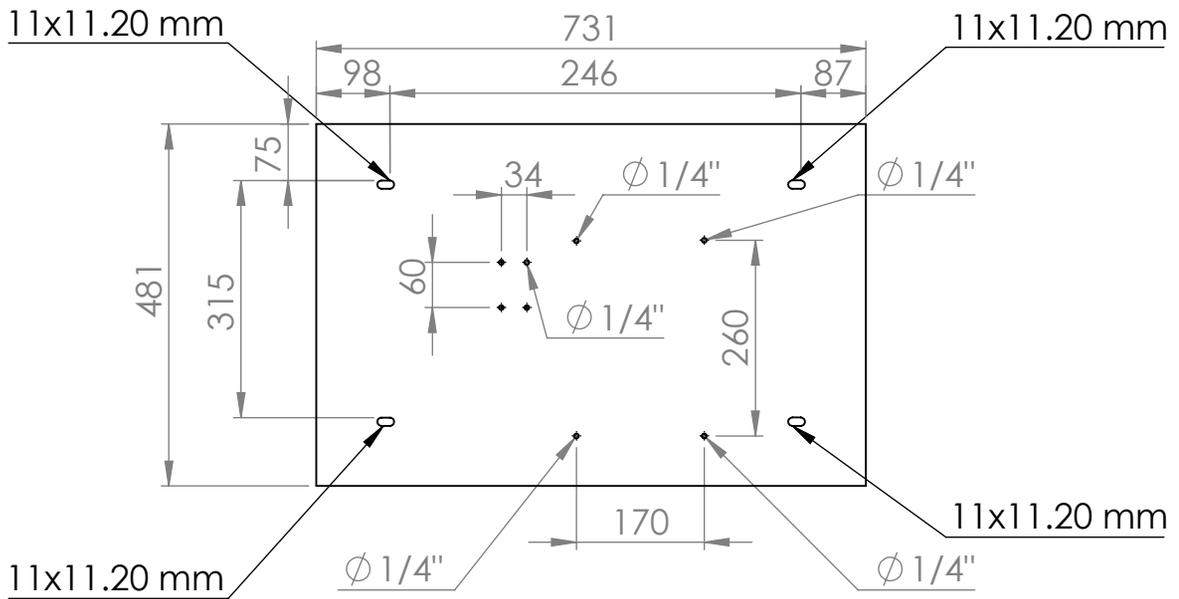


ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héoes y Mátrés del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 1/2
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018		CÓDIGO
	REVISÓ:	Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán			<b>TPD2</b>
	TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Ing. Luis José Salalá Santos			FORMATO
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE TAPAS SUPERIORES	MATERIAL M. Pino		A4
			CANTIDAD: 1		

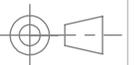
# TAPA FONDO LÁMINA e=1 mm



**ISOMÉTRICO**  
ESC 1:10

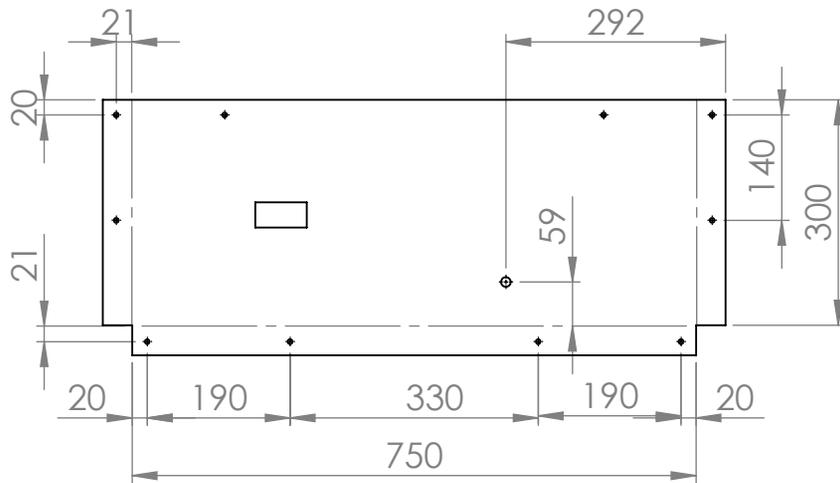


**VISTA FRONTAL**

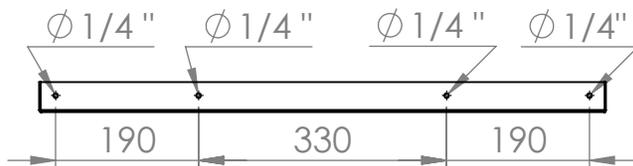


ESCALA	1:10	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	20/02/2017	 <p>UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA</p> <p>Autopista Norte y Final Avenida Héroes y Mártires del 30 de Julio, Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador</p>	HOJA 1/1
DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo	Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	09/03/2018		CÓDIGO
REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos				TPDF
TRABAJO DE GRADUACIÓN:	Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.				FORMATO
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE TAPADERA DE FONDO	MATERIAL	A36	FORMATO
			CANTIDAD:	1	A4

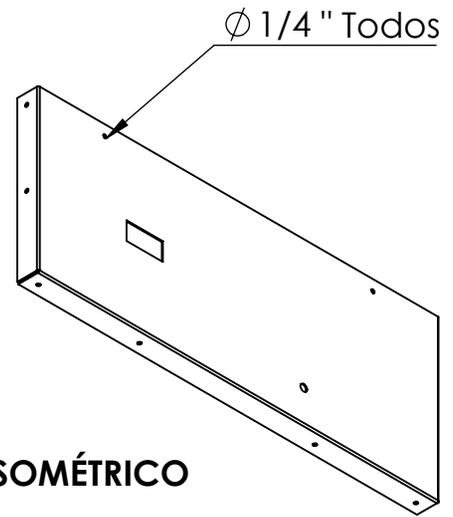
# TPF1 LÁMINA e=1mm



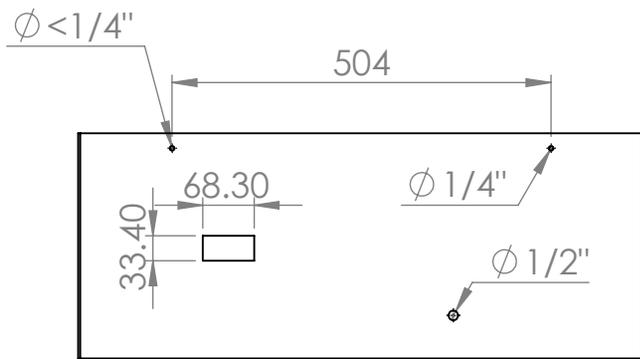
**DESARROLLO**



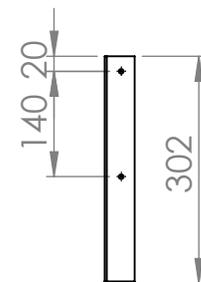
**VISTA EN PLANTA**



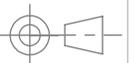
**ISOMÉTRICO**



**VISTA FRONTAL**



**VISTA LATERAL DERECHA**



ESCALA	1:10	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros	20/02/2017
DISEÑARON:		Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
REVISÓ:		Ing. Luis José Salalá Santos	
TRABAJO DE GRADUACIÓN:			
Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.			
Cuando no se especifique	NOMBRE	MATERIAL:	
Unidades: mm	PLANO DE DETALLE TAPADERA FRONTAL 1	A36	
		CANTIDAD: 1	



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

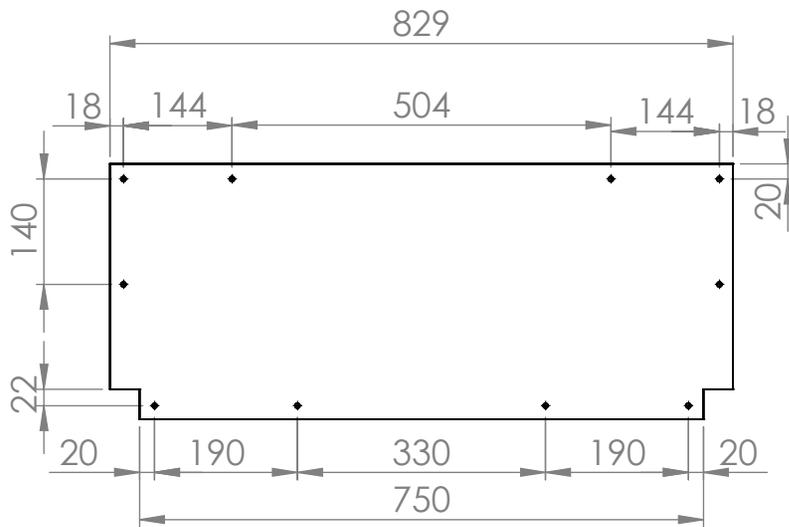
CÓDIGO

**TPF1**

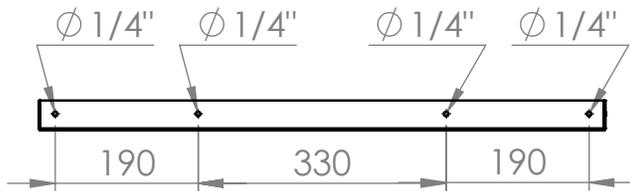
FORMATO

A4

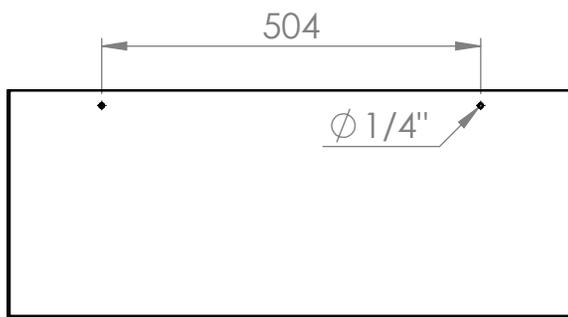
# TPF2 LÁMINA e=1mm



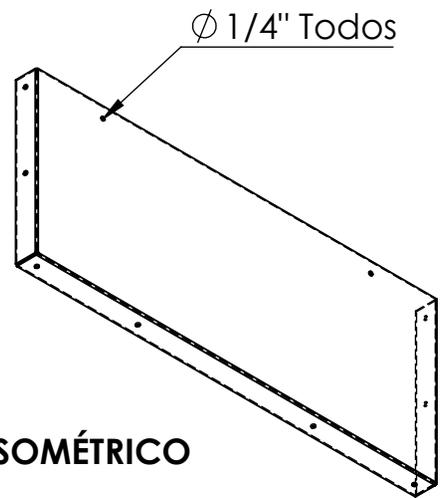
**DESARROLLO**



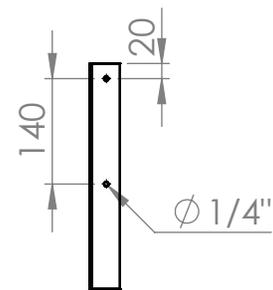
**VISTA DE PLANTA**



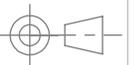
**VISTA FRONTAL**



**ISOMÉTRICO**



**VISTA LATERAL DERECHA**



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		
1:10	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	20/02/2017
		Br. Hugo Hemberito Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	09/03/2018
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE TAPADERA FRONTAL 2	MATERIAL A36
			CANTIDAD: 1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1

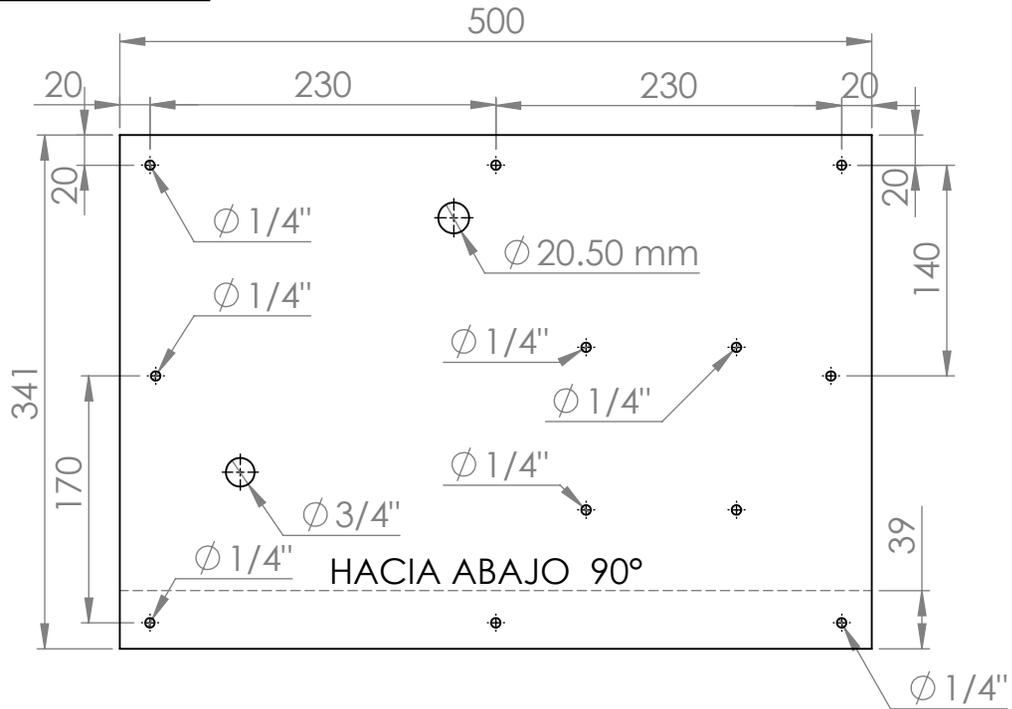
CÓDIGO

**TPF2**

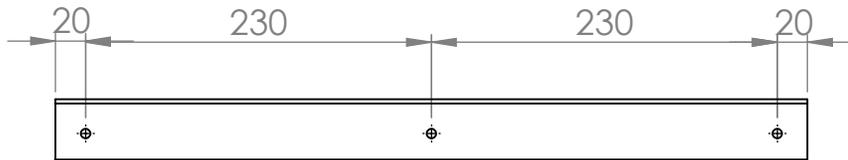
FORMATO

A4

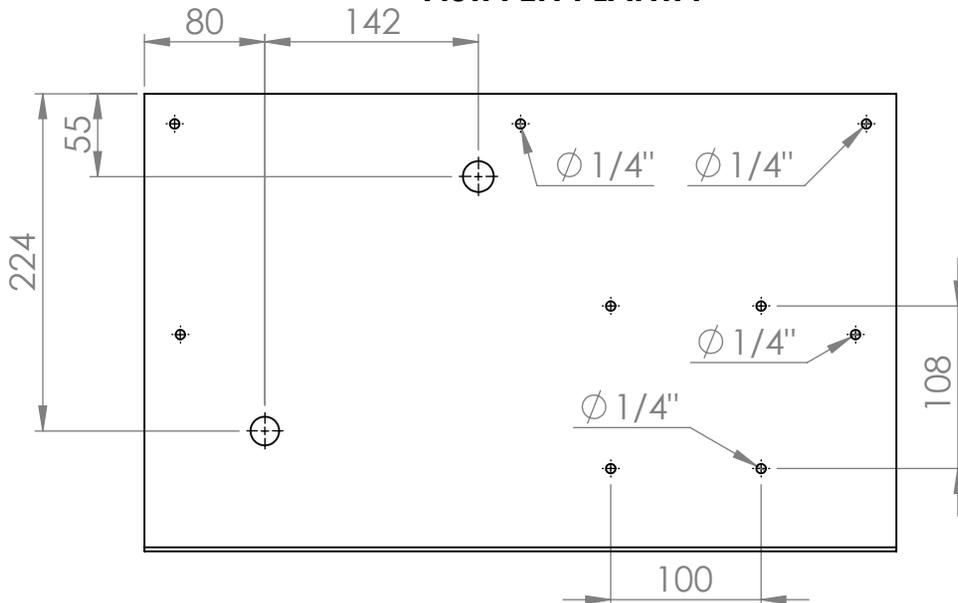
# TPL1 LÁMINA e=1mm



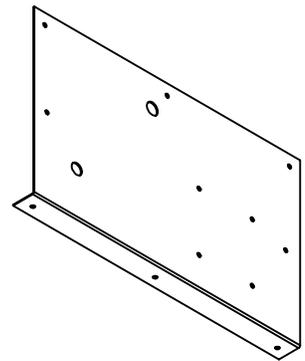
**DESARROLLO**



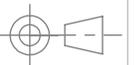
**VISTA EN PLANTA**



**VISTA FRONTAL**



**ISOMÉTRICO**



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Soto	09/03/2018
		Br. Hugo Hemberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE TAPADERA LATERAL 1	MATERIAL A36
			CANTIDAD: 1

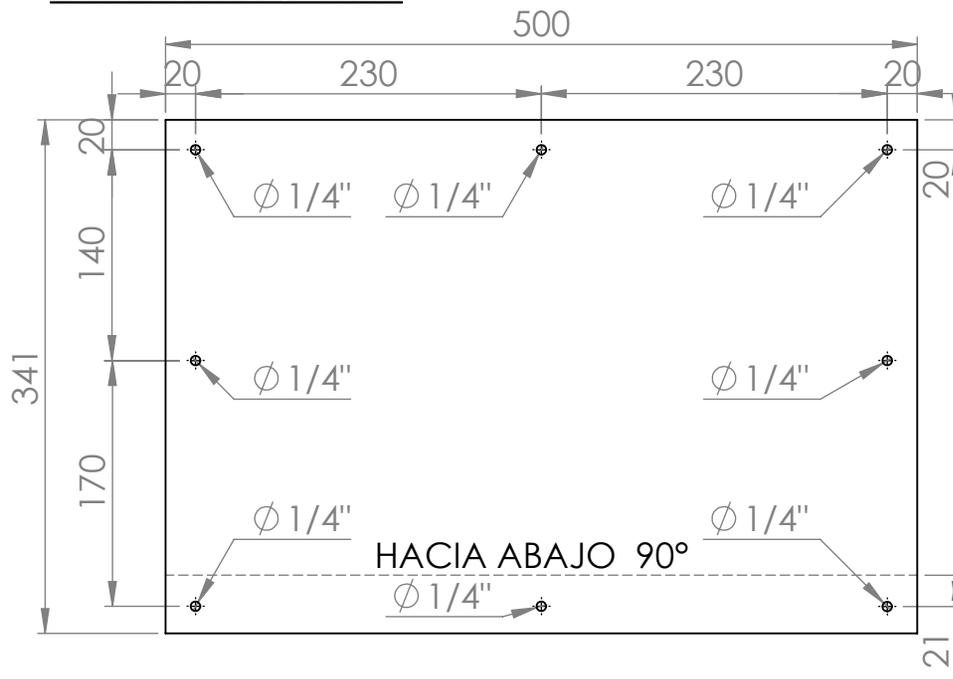


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

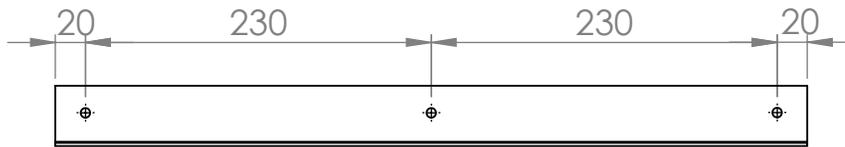
Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1
CÓDIGO
<b>TPL1</b>
FORMATO
A4

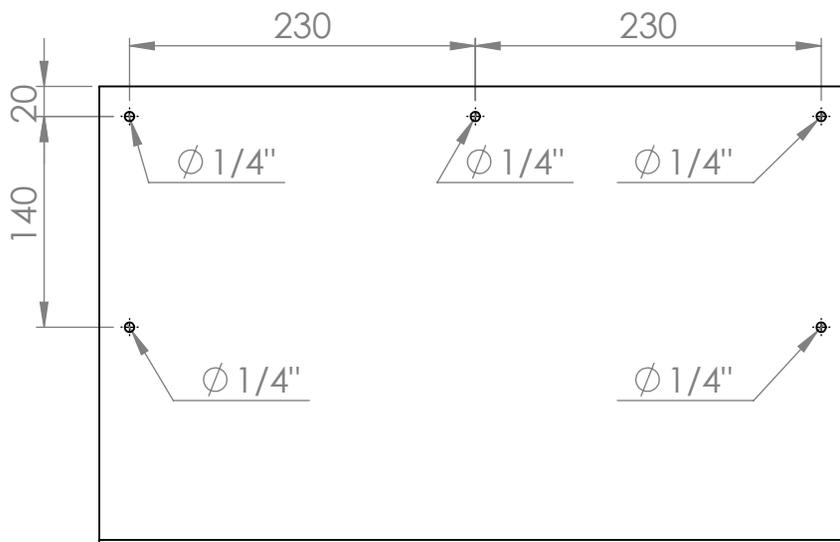
# TPL2 LÁMINA e=1mm



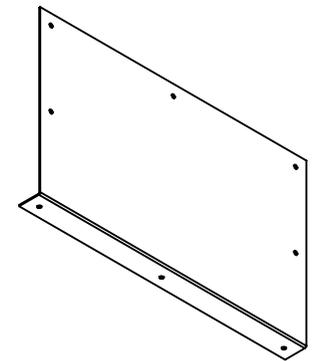
## DESARROLLO



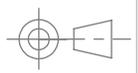
## VISTA EN PLANTA



## VISTA FRONTAL



**ISOMÉTRICO**  
ESC 1:10



ESCALA	Br. Diego Gerardo Arriola Trigueros		20/02/2017
1:5	DISEÑARON:	Br. Manuel de Jesús Avalos Sofo	09/03/2018
		Br. Hugo Humberto Miranda Alemán	
	REVISÓ:	Ing. Luis José Salalá Santos	
	TRABAJO DE GRADUACIÓN: Diseño y construcción de un Banco de Pruebas para generar la curva par-velocidad de un Motor de Combustión Interna.		
Cuando no se especifique Unidades: mm	NOMBRE	PLANO DE DETALLE TAPADERA LATERAL 2	
		MATERIAL	A36
		CANTIDAD:	1



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
Y ARQUITECTURA  
ESCUELA DE INGENIERÍA  
MECÁNICA

Autopista Norte y Final Avenida Héroes y  
Mártires del 30 de Julio,  
Ciudad Universitaria, San Salvador, El Salvador

HOJA 1/1
CÓDIGO
<b>TPL2</b>
FORMATO
A4