

DISEÑO DE UN DINAMÓMETRO HIDRÁULICO PARA MOTORES DE  
COMBUSTION INTERNA CON UNA POTENCIA MENOR A 65 HP.

CAMILO ANDRES ARIZA FORERO  
LUIS HERNANDO VANEGAS RIVERA



UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
ESCUELA EN INGENIERIAS Y ADMINISTRACIÓN  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2013

DISEÑO DE UN DINAMÓMETRO HIDRÁULICO PARA MOTORES DE  
COMBUSTION INTERNA CON UNA POTENCIA MENOR A 65 HP.

CAMILO ANDRES ARIZA FORERO  
LUIS HERNANDO VANEGAS RIVERA

Trabajo de grado para optar por el título de  
Ingeniero Mecánico

DIRECTOR:  
JAVIER MAURICIO CASTELLANOS

UNIVERSIDAD PONTIFICIA BOLIVARIANA  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA

2013

Nota de aceptación:

---

---

---

---

---

---

Firma del presidente del jurado

---

Firma del jurado

---

Firma del jurado

Bucaramanga, 18 de marzo de 2013

## DEDICATORIA

*A Dios, por haberme dado salud para poder realizar mis objetivos y llegar hasta este punto.*

*A Mi Madre Doris, por ser constante a la hora de mis estudios, por siempre recordarme que es lo más importante en la vida, brindándome todo su amor.*

*A Mi Padre Hernando, por encarrilarme en esta área, apoyándome en todo lo necesite, brindándome conocimiento a la hora de tomar decisiones, que un futuro no muy lejano deberé asumir con mucha responsabilidad.*

Y como última estancia agradecer a todas esas personas que hicieron parte de mi formación académica, mi familia, amigos, compañeros, profesores, que con gran esfuerzo me apoyaron en este gran paso, como lo es mi desempeño como profesional, mis más sinceros agradecimientos.

Luis H. Vanegas Rivera.

## DEDICATORIA

Primero que todo le doy gracias a Dios, porque me brindo la sabiduría y fortaleza para no decaer en el camino.

A mis padres Miguel Norberto y Martha, porque sin sus consejos y apoyo incondicional no hubiera podido llegar a ser lo que soy hoy en día.

A mis hermanos que de una u otra manera me estuvieron animando y apoyando.

A mis profesores, porque gracias a su paciencia y dedicación pude adquirir un poco de sus conocimientos.

Y en general a todas las personas que en su momento me dieron la mano, cuando más lo necesite.

Camilo A. Ariza Forero.

## TABLA DE CONTENIDO

|                                                                           |    |
|---------------------------------------------------------------------------|----|
| Introduccion.....                                                         | 14 |
| 1 Objetivos .....                                                         | 15 |
| 1.1 Objetivo general.....                                                 | 15 |
| 1.2 Objetivos especificos .....                                           | 15 |
| 2 Marco teórico.....                                                      | 16 |
| 2.1 Definicion de un motor .....                                          | 16 |
| 2.2 Funcionamiento del motor.....                                         | 17 |
| 2.2.1 Parametros fundamentales de un motor (potencia torque).....         | 17 |
| 2.3 Sistemas de frenado .....                                             | 19 |
| 2.3.1 Ventajas y desventajas de los diferentes tipos de dinamómetros..... | 20 |
| 2.4 Tipos de dinamómetros.....                                            | 22 |
| 2.4.1 Dinamómetros de fricción .....                                      | 22 |
| 2.4.2 Dinamómetro de corrientes de eddy .....                             | 23 |
| 2.4.3 Dinamómetro con generador d.c .....                                 | 24 |
| 2.4.4 Dinamómetro hidraulico .....                                        | 25 |
| 2.5 Principio de funcionamiento de un dinamómetro hidráulico .....        | 26 |
| 3 Diseño. ....                                                            | 29 |
| 3.1 Diseño conceptual.....                                                | 29 |
| Cálculos de la bomba: .....                                               | 30 |
| 3.2 Descripción de los elementos constitutivos del equipo .....           | 31 |
| 3.1.1 Sistema motriz .....                                                | 31 |
| 3.1.2 Acople mecánico.....                                                | 32 |
| 3.1.3 Bomba hidráulica .....                                              | 32 |
| 3.1.4 Reguladora de caudal.....                                           | 34 |
| 3.1.5 Sistema de refrigeración .....                                      | 34 |
| 3.1.6 Diámetros de la tubería.....                                        | 34 |

|                                                            |    |
|------------------------------------------------------------|----|
| 3.2 Configuración final del equipo y sus componentes ..... | 36 |
| 4. Prueba.....                                             | 37 |
| 4.1 Diseño de las pruebas de evaluación .....              | 37 |
| 4.2 Resultados de las pruebas.....                         | 39 |
| 4.2.1 Graficas de potencia y torque .....                  | 43 |
| 4.2.1 Análisis de resultados .....                         | 53 |
| 5 Conclusiones.....                                        | 54 |
| 6 Recomendaciones.....                                     | 56 |
| 7 Bibliografía.....                                        | 57 |

## LISTA DE FIGURAS

|                                                                      |    |
|----------------------------------------------------------------------|----|
| Figura 1 Tipos de motores de combustion interna. ....                | 16 |
| Figura 2 Curvas de desempeño de un motor thermo king .....           | 18 |
| Figura 3 Tipos de dinamometros .....                                 | 20 |
| Figura 4 Freno de fricción.....                                      | 22 |
| Figura 5 Dinamómetro de corrientes de eddy .....                     | 23 |
| Figura 6 Diseño del plano hidraulico para el dinamómetro .....       | 29 |
| Figura 7 Desplazamiento volumétrico de la bomba PARKER P16-180. .... | 33 |
| Figura 8 Banco dinamométrico.....                                    | 36 |
| Figura 9 Caudal generado por la bomba, prueba 1 .....                | 40 |
| Figura 10 Potencia absorbida en la prueba 1 .....                    | 41 |
| Figura 11 Torque generado por el motor, prueba 1.....                | 42 |
| Figura 12 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 1 .....                | 43 |
| Figura 13 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 2 .....                | 44 |
| Figura 14 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 3 .....                | 45 |
| Figura 15 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 4 .....                | 46 |
| Figura 16 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 5 .....                | 47 |
| Figura 17 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 6 .....                | 48 |
| Figura 18 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 7 .....                | 49 |
| Figura 19 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 8 .....                | 50 |
| Figura 20 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 9 .....                | 51 |
| Figura 21 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 10 .....               | 52 |



## LISTA DE TABLAS

|                                                                     |    |
|---------------------------------------------------------------------|----|
| Tabla 1 Cuadro comparativo dinamómetro hidraulico .....             | 20 |
| Tabla 2 Cuadro comparativo dinamómetro de corrientes de eddy .....  | 20 |
| Tabla 3 Cuadro comparativo dinamómetros eléctricos de ac y dc ..... | 21 |
| Tabla 4 Parámetros máximos de funcionamiento .....                  | 30 |
| Tabla 5 Pruebas iniciales .....                                     | 38 |
| Tabla 6 Numero de pruebas.....                                      | 38 |
| Tabla 7 Número total de pruebas de frenado .....                    | 42 |
| Tabla 8 Propiedades de la prueba 1 .....                            | 43 |
| Tabla 9 Propiedades de la prueba 2 .....                            | 44 |
| Tabla 10 Propiedades de la prueba 3 .....                           | 45 |
| Tabla 11 Propiedades de la prueba 4 .....                           | 46 |
| Tabla 12 Propiedades de la prueba 5 .....                           | 47 |
| Tabla 13 Propiedades de la prueba 6 .....                           | 48 |
| Tabla 14 Propiedades de la prueba 7 .....                           | 49 |
| Tabla 15 Propiedades de la prueba 8 .....                           | 50 |
| Tabla 16 Propiedades de la prueba 9 .....                           | 51 |
| Tabla 17 Propiedades de la prueba 10 .....                          | 52 |

## TABLA DE ANEXOS

|                                    |    |
|------------------------------------|----|
| <b>Anexo 1</b> Catalogo .....      | 58 |
| <b>Anexo 2</b> Planos .....        | 59 |
| <b>Anexo 3</b> Manual de uso ..... | 64 |

## **RESUMEN GENERAL DEL TRABAJO DE GRADO**

**TITULO:** “DISEÑO DE UN DINAMÓMETRO HIDRÁULICO PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA CON UNA POTENCIA MENOR A 65 HP.”

**AUTOR(ES):** Camilo Andrés Ariza Forero.

Luis Hernando Vanegas Rivera.

**FACULTAD:** Facultad de Ingeniería Mecánica.

**DIRECTOR(A):** Javier Mauricio Castellanos.

### **RESUMEN**

En este documento se presenta el diseño, construcción y validación de un sistema de frenado para motores alternativos de combustión interna, con una capacidad menor a 65HP, con el fin de producir las curvas de desempeño (potencia y torque). La metodología empleada incluye la recopilación de información de los distintos sistemas de frenado y su funcionamiento; el planteamiento de alternativas de solución teniendo en cuenta la disponibilidad de las piezas, la viabilidad del diseño, métodos de fabricación y costos. A partir de estas primeras etapas se realiza la selección del dispositivo de frenado más conveniente para solventar las necesidades del laboratorio de la asignatura Motores de Combustión Interna Alternativos, y finalmente se valida el prototipo con las curvas de desempeño del motor utilizado en pruebas experimentales, siguiendo los criterios planteados en la norma SAE j1349.

### **PALABRAS CLAVES:**

Dinamómetro Hidráulico, SAE j1349, Sistema de frenado, potencia, torque.

### **V° B° DIRECTOR DE TRABAJO DE GRADO**

## **GENERAL SUMMARY OF WORK OF GRADE.**

**TITLE:** “DISEÑO DE UN DINAMÓMETRO HIDRÁULICO PARA MOTORES DE COMBUSTION INTERNA CON UNA POTENCIA MENOR A 65 HP.”

**AUTHOR(S):** Camilo Andrés Ariza Forero.

Luis Hernando Vanegas Rivera.

**FACULTY:** Facultad de Ingeniería Mecánica.

**DIRECTOR:** Javier Mauricio Castellanos.

### **ABSTRACT**

This document present the design, construction and validation of a breaking system for experimental internal combustion engines (lower than 65 HP) looking forward to produce the performance curves (power and torque). The methodology includes compilation of information from the various braking systems and their operation, the alternative approach of solution considering the availability of parts, the viability of the design, manufacturing methods and costs. From these early stages the selection is made the most suitable braking device to meet the needs of the laboratory subject Alternative Internal Combustion Engines. Finally validates the prototype with the engine performance curves used in experimental tests, following the criteria outlined in SAE j1349 standar.

### **KEYWORDS:**

SAE j1349 standar, breaking system, power, torque

**V° B° DIRECTOR OF GRADUATE WORK**

## INTRODUCCION

Como resultado de las necesidades actuales del Laboratorio de Motores de Combustión Interna Alternativos de la Universidad Pontificia Bolivariana Seccional Bucaramanga, los autores de este trabajo realizaron el diseño de un dinamómetro hidráulico para motores de combustión interna con potencias menores a 65 hp. Este documento presenta de manera concreta la recopilación de información de los distintos sistemas de frenado que permiten cumplir con los objetivos planteados y su principio de funcionamiento. A partir de ello se presentan las alternativas planteadas y su evaluación teniendo en cuenta los parámetros de diseño, los métodos de fabricación, la disponibilidad y costo de los equipos en el mercado Colombiano. La alternativa final permitió seleccionar y/o dimensionar los componentes requeridos, y posteriormente construir el sistema dinamométrico que se documenta en las memorias de cálculo y en las evidencias del proceso constructivo. Finalmente, se muestran los resultados de las pruebas experimentales del equipo que buscan evaluar el funcionamiento del mismo.

# 1 OBJETIVOS

## 1.1 Objetivo General

Construir un dispositivo de frenado para bancos de pruebas en motores de combustión interna alternativos, para obtener su curva de potencia contra revoluciones, con el objeto de dotar a la Facultad de Ingeniería Mecánica de un dispositivo que permita evaluar motores de múltiples cilindros para aplicaciones de media potencia.

## 1.2 Objetivos específicos

- Realizar una investigación bibliográfica de los principios básicos de funcionamiento de los dinamómetros usados en motores alternativos de combustión interna y la norma técnica que rige las pruebas de los mismos encaminadas a la obtención de sus curvas características.
- Plantear adecuadamente las alternativas viables para el diseño del equipo de frenado y seleccionar, a partir de los cálculos correspondientes, los dispositivos necesarios para que el sistema de frenado satisfaga los requerimientos especificados por los estándares para pruebas dinamométricas.
- Construir y montar el banco de pruebas utilizando procesos de fabricación y herramientas adecuadas, sin olvidar las recomendaciones de los fabricantes de los equipos que se adquirían y adaptarán al dispositivo de frenado.
- Validar el dispositivo de frenado a partir de las curvas de desempeño de los motores disponibles en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la UPB, que se obtendrán siguiendo los criterios planteados en la norma SAE j 1349.

## 2 MARCO TEÓRICO

### 2.1 DEFINICION DE UN MOTOR

El motor alternativo de combustión interna es un motor endotérmico (maquina térmica) basado en el mecanismo pistón-biela-manivela, conocido como tren alternativo; Los motores de combustión interna alternativos, son máquinas térmicas, que reciben calor a alta temperatura, por la ignición o quemado del combustible dentro de la cámara de combustión, estos se clasifican según su tipo de combustión y mecanismo.

Son dos los tipos básicos de motores, los de combustión interna y los de combustión externa, en los primeros la mezcla de aire-combustible, se queda en la cámara de combustión, es decir dentro del propio motor, en los motores de combustión externa el combustible se quema por fuera del motor; un claro ejemplo, son las máquinas de vapor, cuyo funcionamiento es debido al vapor producido por la ebullición del agua fuera del mismo.

Los motores de combustión interna pueden ser de dos tipos, alternativos y rotativos (figura 1). Casi todos los motores de automóviles son de tipo alternativo; en este motor los pistones se desplazan hacia arriba y hacia debajo de manera alternativa (fig1-a); la otra clase de motores de combustión interna son los de tipo rotativos, en el cual gira el rotor (fig1-b) [8], un claro ejemplo de este tipo de motores es el wankel, el cual realiza los mismos cuatro tiempos de un motor convencional (alternativo), en diferentes partes del bloque, debido a que este tiene una forma de ocho (8), dentro del cual se encuentra un rotor con forma de prisma rectangular de caras convexas que realiza un giro de centro variable. Este rotor comunica su movimiento rotativo a un cigüeñal que se encuentra en su interior, y que gira ya con un centro único [9].

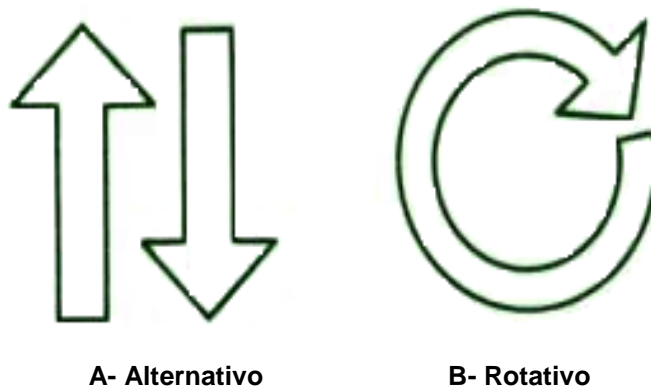


Figura 1. TIPOS DE MOTORES DE COMBUSTION INTERNA.

## **2.2 FUNCIONAMIENTO DEL MOTOR.**

Estos Motores (máquinas térmicas), utilizan el combustible que suele ser un hidrocarburo, pero a veces se utilizan GLP (Gas Licuado del Petróleo), metano (gas natural), y otros más. En situaciones normales el combustible se mezcla con el aire del ambiente, ya sea directamente en la cámara de combustión o en una pre-cámara instalada un poco antes del múltiple de admisión, cuando se da inicio a la combustión, esta mezcla se enciende rápidamente, produciendo gases de escape a presiones y temperaturas muy elevadas; realmente este proceso no es una transferencia de calor, sino más bien una liberación de energía química, la cual aumenta drásticamente la temperatura dentro de la cámara de combustión, calentando la mezcla de aire-combustible y produciendo, un aumento en la presión dentro de los cilindros, generando una expansión en los gases de combustión [2].

Estos motores funcionan a partir del volumen variable que se genera en la cámara de combustión, causado por el movimiento del pistón, guiado en el bloque del motor y que está unido a la biela, la cual se encuentra articulada al cigüeñal; la concepción básica del motor alternativo se resume en el motor de cuatro tiempos, que se caracteriza porque realiza su ciclo de funcionamiento en dos vueltas completas del cigüeñal [2], durante el proceso de combustión la mezcla de aire-combustible que se encuentra dentro de la cámara, puede alcanzar temperaturas hasta los 2500 K, hecho que ocasiona la expansión del gas y obtener la carrera de trabajo de todo el ciclo [7].

En el instante en el que se produce la carrera de expansión o de trabajo, el motor empieza a funcionar y a producir potencia (Se define como la cantidad de trabajo realizado por unidad de tiempo [1]), esta potencia normalmente se conoce como potencia al freno (en inglés bhp). Esta potencia puede variar desde unos pocos vatios, para motor pequeños de aerodelismo, a miles de KW por cilindro en los grandes motores estacionarios de los navíos; hay un gran mercado comercial para motores de baja potencia (2HP - 7HP), los cuales son utilizados en el mercado agrícola, para cortadoras de césped, moto cierras etc. La potencia de los motores modernos para los automóviles oscila entre los 50 HP y 300HP.

### **2.2.1 PARAMETROS FUNDAMENTALES DE UN MOTOR (POTENCIA TORQUE)**

El torque y la potencia entregada por los motores, depende de la velocidad de la maquina (RPM), es decir, que estos parámetros van aumentando a medida que la velocidad aumenta, hasta llegar a la velocidad de diseño del motor, punto donde el



elemento motriz, entregara la mayor cantidad de potencia y torque posibles de acuerdo a su cilindrada (Fig2); si el motor sigue aumentando su velocidad angular, estos parámetros comenzaran a disminuir paulatina o drásticamente, esto depende del diseño del motor. Como la velocidad del motor se incrementa aún más, el par alcanza un máximo y luego disminuye, esto se debe a que el motor no es capaz de ingerir una carga completa de aire a altas velocidades, afectando directamente su eficiencia volumétrica y por ende su desempeño; Esto mismo sucede cuando el motor alcanza su máxima potencia, en este caso se debe a la pérdidas ocasionadas por la fricción viscosa, debido a que esta va aumentando a medida que se aumentan las RPM del motor, y se convierte en un factor dominante a altas velocidades.

La mayoría de motores de combustión interna la potencia de frenado se produce aproximadamente entre las 6000 y 7000 RPM, cerca de 1,5 veces la velocidad del par máximo [2].

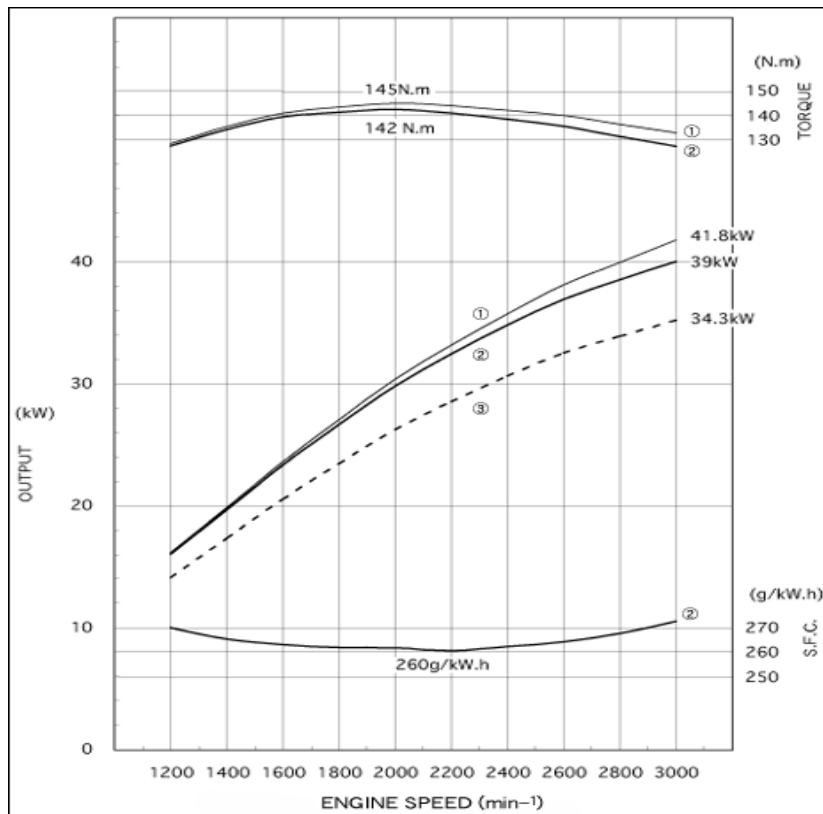


Figura 2. CURVAS DE DESEMPEÑO DE UN MOTOR THERMO KING [10]

Estos parámetros (Potencia, Torque) pueden ser medidos mediante un dispositivo de frenado usado para mantener la velocidad del motor en el valor conveniente mientras se efectúa la medición de potencia. Cuando, por ejemplo, la potencia de un motor está estimada en 300HP, ésta es realmente la potencia al freno, es decir la potencia medida en la salida del cigüeñal.

La magnitud de esta potencia realmente será la diferencia entre la potencia indicada (ihp), que es la potencia producida en la recámara de combustión, generada por la reacción exotérmica del combustible, y las pérdidas producidas por la fricción.

La ihp está definida según [2] como:

$$ihp = (W_{CICLO}) \times (N) \quad (0.1)$$

Dónde:

$W_{CICLO}$ : Es el trabajo producido en el ciclo.

N: Es el número de RPM del motor.

### **2.3 SISTEMAS DE FRENADO**

El mecanismo de frenado utilizado para especificar un motor, es conocido con el nombre de dinamómetro [8]. Para medir la potencia y el par motor es necesario utilizar este dispositivo, estos sistemas pueden ser de varias clases, en general pueden dividirse en dos grandes grupos, en el primero, estarían ubicados los dinamómetros de chasis; En este tipo de dinamómetros, se colocan las ruedas traseras o delanteras del vehículo (según el tipo de tracción), sobre rodillos; Entonces el motor impulsa las ruedas y estas a su vez los rodillos, al mismo tiempo estos pueden ser cargados con cargas regulables, de modo que se pueda medir la potencia de salida o útil del motor. En el segundo grupo estarían ubicados los dinamómetros para motores, que solo miden la potencia disponible en el volante del motor, en este grupo es donde nos centraremos para el desarrollo de nuestro trabajo. Estos dispositivos tienen un mecanismo que permite aplicar diferentes cargas al motor y se puede clasificar como muestra la figura 3 [11].

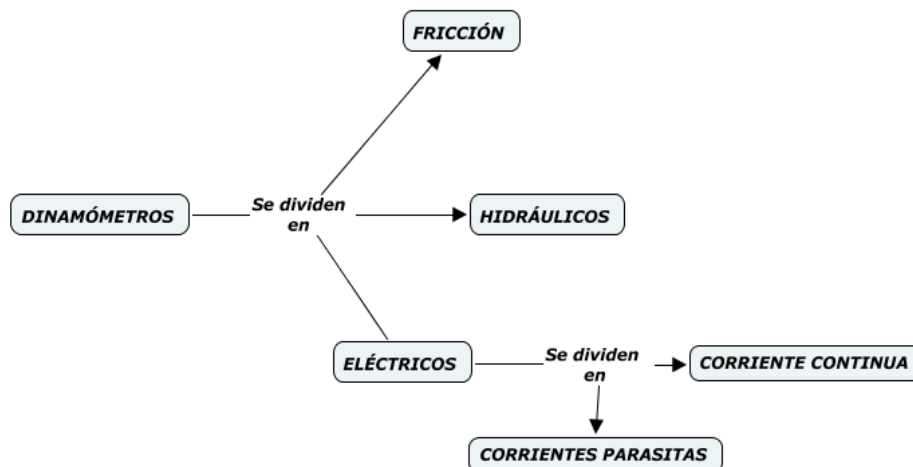


Figura 3. TIPOS DE DINAMOMETROS [4]

FUENTE: Autores del proyecto 2013

### 2.3.1 VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LOS DIFERENTES TIPOS DE DINAMÓMETROS.

Para la realización de este proyecto se tuvieron en cuenta los diferentes tipos de dinamómetros, incluyendo sus ventajas y desventajas, a continuación se muestran las más relevantes.

Tabla 1 CUADRO COMPARATIVO DINAMÓMETRO HIDRAULICO

| <b>DINAMÓMETROS HIDRÁULICOS.</b>                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                         |
|-------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                             | <b>DESVENTAJAS</b>                                                                                                                      |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menor costo.</li> </ul>                                                                                                                                            | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Bajo torque de frenado a bajas RPM</li> </ul>                                                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Tamaño reducido, incluso para potencias elevadas.</li> </ul>                                                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Infraestructura costosa (bombas, tanques, torre de enfriamiento)</li> </ul>                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Baja inercia.</li> </ul>                                                                                                                                           | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Desgaste elevado debido a la cavitación y turbulencias. Mantenimiento más frecuente</li> </ul> |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permite realizar ensayos a carga estabilizada por tiempo indefinido (limitado sólo por la capacidad de disipación de calor de la torre de enfriamiento)</li> </ul> |                                                                                                                                         |

FUENTE: Autores del proyecto 2013

Tabla 2 CUADRO COMPARATIVO DINAMÓMETRO DE CORRIENTES DE EDDY

| <b>DINAMÓMETRO DE CORRIENTES DE EDDY</b>                                                                                     |                                                                                                                                                                                                                                                    |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VENTAJAS</b>                                                                                                              | <b>DESVENTAJAS</b>                                                                                                                                                                                                                                 |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alto torque de frenado aún a muy bajas RPM</li> </ul>                               | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mayor Costo</li> </ul>                                                                                                                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Permite un control automático preciso</li> </ul>                                    | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mayor inercia</li> </ul>                                                                                                                                                                                  |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Alta precisión en el control aún en rangos muy distintos de torque y RPM</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ En dinamómetros refrigerados por agua es necesaria una instalación de refrigeración(bombas, tanques, torre de enfriamiento) aunque ligeramente más sencilla que para un dinamómetro hidráulico</li> </ul> |

FUENTE: Autores del proyecto 2013

Tabla 3 . CUADRO COMPARATIVO DINAMÓMETROS ELÉCTRICOS DE AC Y DC

| <b>DINAMÓMETROS ELÉCTRICOS DE AC O DC</b>                                                                                                            |                                                                                                       |
|------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|-------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>VENTAJAS</b>                                                                                                                                      | <b>DESVENTAJAS</b>                                                                                    |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Las mismas ventajas que los de corrientes parásitas</li> </ul>                                              | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Elevado Costo</li> </ul>                                     |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Menor inercia que los Eddy</li> </ul>                                                                       | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Mayor inercia que un hidráulico</li> </ul>                   |
| <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Posibilidad de usarlos también como motor para ensayo de transmisiones y otros elementos pasivos</li> </ul> | <ul style="list-style-type: none"> <li>▪ Solo disponibles para potencias bajas y moderadas</li> </ul> |

FUENTE: Autores del proyecto 2013

## 2.4 TIPOS DE DINAMÓMETROS

### 2.4.1 DINAMÓMETROS DE FRICCIÓN

Gaspard de Prony, inventó el primer dinamómetro conocido de la historia en 1821. Este instrumento permitía calcular el torque del motor o el de un eje, al montar una banda sobre el eje del motor y al medir la fuerza transferida a la banda por la fricción; La fricción puede incrementarse al aumentar la tensión de la banda y de esta manera reduciendo la velocidad angular del eje del motor hasta el punto deseado.

Este sistema es similar al sistema de frenado de un automóvil antiguo, en el cual se instala el tambor en el eje del cigüeñal del motor; este tambor estará sujeto a fricción, la cual será generada por las zapatas o por una banda, al aplicar presión sobre estas, se crea un torque en sentido opuesto al giro del motor. Para poder medir este torque, se colocan resortes calibrados en ciertos puntos de la zapata o de la banda que se encuentra deteniendo el tambor rotatorio, la deformación de estos resortes, muestra la carga que se está aplicando sobre el tambor y a partir de esto, se puede calcular el torque entregado por el eje del cigüeñal del motor.

La gran desventaja de este tipo de dinamómetros radica en la inexactitud que se tiene al medir el torque generado por el motor y en la dificultad de disipar la cantidad de energía, la cual se transforma en calor y afecta el coeficiente de fricción entre las zapatas y el tambor, o la banda y el tambor [4], lo cual *NO* es beneficioso para este tipo de proyecto.



Figura 4. FRENO DE FRICCIÓN. FUENTE: “<http://es.scribd.com/doc/50569588/DinAmos-dinamometro>”

## 2.4.2 DINAMÓMETRO DE CORRIENTES DE EDDY

Un Dinamómetro de Corrientes Parásitas o de Eddy, utiliza un disco que es accionado por el motor de prueba, dos bobinas son ubicadas en las caras opuestas del disco para generar un campo magnético sobre este elemento; la intensidad de dicho campo se controla variando la corriente que pasa por las dos bobinas, provocando que el disco actúe como un conductor, facilitando el paso de la corriente sobre sí mismo. Dependiendo de la potencia que se vaya a disipar, se aumenta o se disminuye la intensidad eléctrica que fluye por las bobinas, creando así un torque opuesto al del motor de combustión interna. La magnitud de la fuerza es proporcional a la corriente suministrada externamente por la fuente de poder. La potencia suministrada al dinamómetro de EDDY puede ser medida y a partir de esta información se puede calcular la potencia generada por el motor de combustión interna de prueba.

Si se conoce la potencia entregada por la fuente externa al dinamómetro, para reducir la velocidad del motor hasta el punto deseado, se puede conocer la potencia en este punto, ya que estas dos potencias son iguales (asumiendo que no existen pérdidas en el acople mecánico, ni en los devanados).

La ventaja de estos dinamómetros es el rápido dominio, que se puede obtener sobre la velocidad del motor de combustión interna, debido al fácil control del potencial enviado al dinamómetro por la fuente externa.

Pero una gran desventaja de este sistema, es la excesiva temperatura que se produce en el disco y en el rotor del dinamómetro [5], los cuales deben ser refrigerados con aire o agua circulando en su interior; Esta necesidad le añade complejidad y valor a este tipo de dinamómetro, lo cual *NO* es beneficioso para este tipo de proyecto.

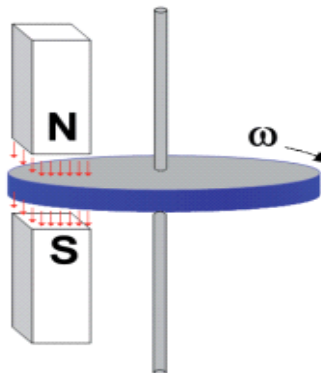


Figura 5. DINAMÓMETRO DE CORRIENTES DE EDDY [5].

### 2.4.3 DINAMÓMETRO CON GENERADOR D.C.

El dinamómetro con generador D.C. permite transformar la energía mecánica en el eje del motor de combustión, en energía eléctrica en los devanados del generador y finalmente transferir esta energía a una resistencia donde es cuantificada en potencia.

Asumiendo que no existen pérdidas en los acoples mecánicos entre el dinamómetro y el motor de combustión, la potencia se puede calcular al conocer la magnitud de la corriente eléctrica producida por el generador, utilizando la siguiente ecuación:

$$P = (I^2) \times (R) \quad (0.2)$$

Dónde:

P: Potencia

R: Resistencia (Ohmios)

I: Corriente (Amperios)

Estos dinamómetros son los más utilizados, cuando se dispone de un gran presupuesto, pero como este no es el caso, esto genera su principal desventaja, sin olvidar que estos dinamómetros no son eficientes, cuando se requiere analizar motores bajo aceleraciones rápidas, debido al gran momento de inercia polar del rotor del generador, cuando la masa del rotor de un generador DC debe ser acelerada, hasta una velocidad específica o a través de todo un rango de velocidades, existe un periodo de tiempo en el cual una cantidad considerable de potencia del motor de prueba no se refleja en las mediciones de corriente y por lo tanto no se reflejan en los cálculos de potencia, ya que es utilizada en la aceleración del rotor [4]. Por todas estas razones este sistema, *NO* es beneficioso para este tipo de proyecto.

#### 2.4.4 DINAMÓMETRO HIDRAULICO

Este sistema está diseñado para absorber la energía del motor en el eje de la bomba que se encuentra conectada al cigüeñal por medio de una reducción mecánica.

Toda la energía disipada por el motor es convertida en calor, que se transfiere al fluido hidráulico, a la bomba, a las mangueras de presión y al tanque; tiempo después es cedida al medio ambiente y a sus alrededores por radiación natural. El dinamómetro está formado por cuatro partes fundamentales, la bomba de desplazamiento positivo, una válvula reguladora de caudal, un intercambiador de calor y un tanque.

Teniendo en cuenta lo anterior y las características mostradas en la tabla 1, *este dispositivo es el más idóneo para nuestras necesidades.*

La determinación de la potencia al freno se hace a partir de la determinación del torque de frenado que ejerce el dinamómetro sobre el eje del motor. Por tanto, el concepto de torque juega un papel fundamental cuando se obtiene la potencia de freno del motor.

El torque está definido según [1] como:

$$T = F \times D \quad (0.3)$$

Dónde:

F= Fuerza de accionamiento (N).

D= Distancia perpendicular a la fuerza de accionamiento (m).

Por su parte la potencia freno del motor se puede determinar indirectamente a partir de la medición del torque de frenado y de la velocidad angular en el eje del cigüeñal mediante la conocida relación [2]:

$$bhp = T \times w \quad (0.4)$$

Dónde:

bhp = Potencia al freno.

T= Torque de frenado.

w= Velocidad angular del motor.



Sin embargo, cuando se utilizan dispositivos de carga como generadores eléctricos y sistemas hidráulicos se obtiene la denominada potencia combinada. Aquí la potencia se obtiene a partir de la medición de la corriente eléctrica producida por el generador en presencia de una resistencia eléctrica que sirve como elemento disipador de energía, o por el caudal movido por una bomba en presencia de una resistencia hidráulica que sirve como elemento disipador de energía. Para cada caso se tiene respectivamente,

$$\text{Potencia Combinada} = I \times \Delta V \text{ [W]} \quad (0.5)$$

Dónde:

$\Delta V$  = Delta de Voltaje [V].

$I$  = corriente eléctrica [A].

$$\text{Potencia combinada} = Q \times \Delta P \text{ [W]} \quad (0.6)$$

Dónde:

$\Delta P$  = Delta de presión [Pa].

$Q$  = Caudal en m<sup>3</sup>/s.

La forma en la que se relacionan la Potencia al freno y la Potencia combinada está ligada a la denominada eficiencia combinada, que a su vez es una función de las pérdidas de potencia en los elementos internos que componen el generador o la bomba acoplada al eje del motor de combustión.

## **2.5 PRINCIPIO DE FUNCIONAMIENTO DE UN DINAMÓMETRO HIDRÁULICO**

Este tipo de dinamómetro genera un torque opuesto, al giro del motor de prueba, a través de una bomba hidráulica de desplazamiento positivo, cuya descarga es regulada por una válvula, al ser un sistema cerrado y restringir el flujo del hidráulico con la válvula, se aplica carga sobre los engranajes de la bomba, generando así, un torque opuesto al del giro del motor de combustión, que permite reducir la velocidad del motor, hasta la velocidad angular deseada. Cuando el motor de prueba trabaja a una velocidad determinada, cargado por el dinamómetro hidráulico, se puede calcular la capacidad que es entregada por el motor de combustión a la bomba hidráulica mediante cálculos matemáticos y así obtener la potencia que el motor está

entregando en estas condiciones de trabajo, obteniendo sus curvas de desempeño [4].

En los dinamómetros hidráulicos, la potencia generada por el motor, se traduce en calor absorbido por el aceite hidráulico; debido a que es muy difícil medir la transferencia de calor de este sistema con eficacia, se utiliza la velocidad angular del eje de la bomba y la presión generada por el fluido hidráulico como parámetros de medida, para poder calcular indirectamente la potencia del motor; mediante la siguiente ecuación [3]:

$$Ph = \frac{P \times Q}{1714} \quad (0.7)$$

Dónde:

P: Presión [psi].

Q: caudal [GPM].

En este caso Ph, sería la potencia de entrada a la bomba, que para esta situación sería la misma potencia suministrada por el motor de combustión, Q, representa el caudal suministrado por el sistema en GPM, el cual dependerá del desplazamiento cubico por revolución de la bomba y de la velocidad angular del motor (RPM), P, representa la presión que se produce al restringir el paso del fluido a la descarga de la bomba con la válvula, medida en PSI, con la toma de estas medidas, se puede evaluar el desempeño del motor en toda una amplia gama de velocidades y así obtener las curvas de desempeño del mismo.

La presión puede ser medida con un manómetro ubicado entre la descarga de la bomba y la entrada a la válvula, por otra parte el caudal (Q), (Figura 6), suministrado por la bomba, se puede calcular al conocer el desplazamiento cubico por revolución (Dc) de la misma, y al obtener las RPM, a las que el eje de la bomba se encuentre funcionando; según [3], el caudal de una bomba se puede obtener mediante la conocida relación:

$$Q = Dc * RPM * \varepsilon \quad (0.8)$$

Dónde:

Dc: Desplazamiento cubico por revolución de la bomba.

RPM: Velocidad del motor.

$\varepsilon$ : Eficiencia general de la bomba.

Un dinamómetro hidráulico es considerado como un sistema cerrado, debido a que ningún elemento puede cruzar las fronteras del sistema, a excepción de energía disipada en forma de calor.

### 3 DISEÑO.

En este capítulo se presentan los elementos de diseño necesarios para desarrollar el sistema de frenado. Se parte de un diseño conceptual del dispositivo hidráulico requerido y se establecen las características de los componentes mecánicos más importantes.

#### 3.1 DISEÑO CONCEPTUAL

Los elementos constitutivos del sistema hidráulico de frenado se presentan en la figura 6. Se compone principalmente de una bomba hidráulica, una válvula reductora de caudal, y un tanque de almacenamiento. La bomba se acopla al eje del cigüeñal del motor mediante una reducción mecánica debido a que las revoluciones máximas de las bombas de desplazamiento positivo comerciales de tamaños pequeños, se encuentran normalmente por debajo de las velocidades máximas de los motores de combustión interna alternativos de mediana potencia como los que se van a probar en el laboratorio. Se incluye un radiador en el circuito hidráulico en razón a que por norma, el tanque debe tener en volumen, de dos a tres veces el flujo volumétrico máximo de la bomba para disipar el calor generad. Un tanque de estas dimensiones resulta difícil de adaptar a un banco móvil de laboratorio.

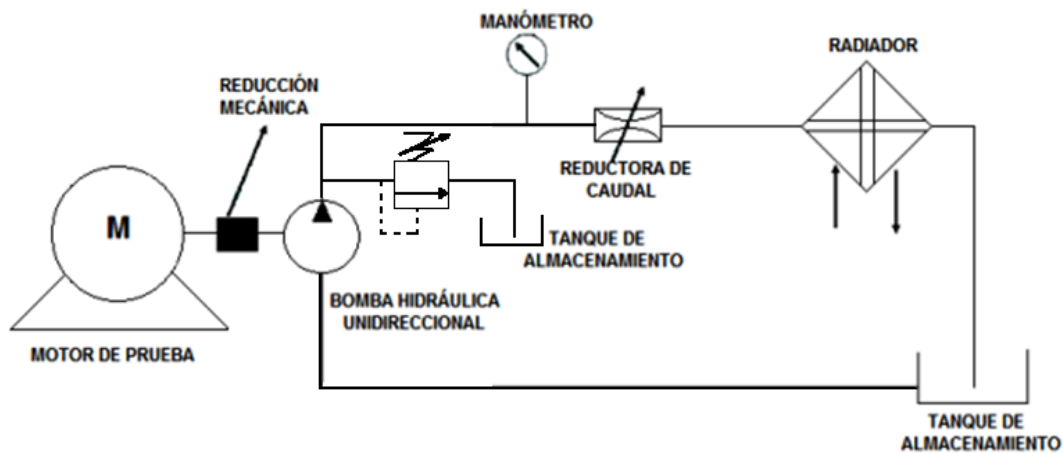


Figura 6. DISEÑO DEL PLANO HIDRAULICO PARA EL DINAMÓMETRO

FUENTE: Autores del proyecto 2013

## CÁLCULOS DE LA BOMBA:

De la ecuación general de potencia hidráulica se tiene que:

$$Ph = \left( \frac{P \times Q}{1714} \right) * 0,9 \quad (0.7)$$

Para dimensionar la bomba, se fija la potencia máxima a disipar (65HP), y se despeja de la ecuación (0.7) una de las dos variables:

$$Q = \left( \frac{Ph * 1714}{P * 0,9} \right)$$

En este caso se despeja el caudal y se establece el rango de presiones que se muestra en la tabla 4. Con ellos se establecen los rangos máximos de funcionamiento del sistema.

| <b>Presión<br/>(Psi)</b> | <b>Caudal<br/>(Gpm)</b> |
|--------------------------|-------------------------|
| <b>2000</b>              | 61,89                   |
| <b>2200</b>              | 56,27                   |
| <b>2400</b>              | 51,58                   |
| <b>2600</b>              | 47,61                   |
| <b>2800</b>              | 44,21                   |
| <b>3000*</b>             | 41,26*                  |
| <b>3200*</b>             | 38,68*                  |
| <b>3400*</b>             | 36,41*                  |
| <b>3600*</b>             | 34,39*                  |
| <b>3800</b>              | 32,58                   |
| <b>4000</b>              | 30,95                   |
| <b>4200</b>              | 29,47                   |
| <b>4400</b>              | 28,13                   |
| <b>4600</b>              | 26,91                   |

Tabla 4 Rangos máximos de funcionamiento

FUENTE: Autores del proyecto 2013

\*La tabla anterior permite mostrar las combinaciones posibles de presión y caudal que debe manejar la bomba para manejar 65 HP al freno. Desde el punto de vista económico y comercial, las cuatro alternativas más viables para el diseño del equipo son las señaladas en casillas sombreadas.

### **3.2 Descripción de los elementos constitutivos del equipo**

De acuerdo a la figura 7, el sistema hidráulico consta de una bomba de engranajes de desplazamiento positivo, marca Parker de la serie P-16 con una capacidad volumétrica de 0,0152 GPM/Revolución, la válvula de seguridad es de la marca Rex-Power, de un diámetro de tres cuartos de pulgada ( $\frac{3}{4}$ "), diseñada para soportar una presión máxima de cinco mil libras (5000 Psi), al igual que la reguladora de caudal.

El tanque está diseñado en lámina de acero, con un espesor de un cuarto de pulgada ( $\frac{1}{4}$ "), con una capacidad máxima de 23,5 galones. Por su parte, se utiliza como intercambiador de calor un radiador comercial de aceite de alta presión de una retro-excavadora Caterpillar 320. Todos estos sistemas se encuentran interconectados mediante un juego de mangueras hidráulicas de tipo R3, con una capacidad máxima de tres mil ciento veinte libras de presión (3120 Psi); la succión de la bomba está construida en su totalidad con material galvanizado, debido a que en esta parte del sistema no se presentan altas presiones. En el equipo hidráulico también se encuentra un filtro de succión de pulgada y media de diámetro junto con una válvula anti-retorno del mismo diámetro. El flujo de aire sobre el radiador se establece mediante dos moto-ventiladores comerciales de un automóvil. Finalmente, se tienen dos manómetros, uno en la descarga de la bomba y otro aguas arriba de la válvula de seguridad de todo el sistema. Sus capacidades máximas son de cinco mil libras de presión (5000 Psi) cada una.

#### **3.1.1 SISTEMA MOTRIZ**

El dispositivo de frenado será utilizado en el laboratorio en dos tipos de motores diferentes: el primero es un motor de encendido por chispa, marca Volkswagen, del año 1965, con un cilindraje de 1,6 litros y una potencia aproximada de 40 HP; y el segundo, de encendido por compresión (DIESEL), de tipo industrial (IZUZO), de cuatro cilindros en línea, de inyección indirecta y aspiración natural, con una potencia máxima de 52,2 HP a 3000 RPM.

Debido a la gran diferencia de velocidades en la que los motores entregan su máxima potencia y a las limitaciones de velocidad de la bomba hidráulica, se debe limitar la velocidad del motor de encendido por chispa a un máximo de 3600 RPM.

### **3.1.2 ACOPLE MECÁNICO**

Para conectar los dos dispositivos (Motor y el dispositivo de frenado), se utilizó un acople tipo cardan, el cual permite un amplio rango en la desalineación de los ejes. Esta última, es producida por las altas vibraciones que se generan en el motor y en su bancada cuando el dinamómetro está en funcionamiento. La vibración puede ser atribuida a que el motor no se encuentra fijamente anclado.

#### **3.1.2.1 SISTEMA DE TRANSMISIÓN**

El banco dispone de un juego de patea doble, tipo B, con una relación de 1.5:1, con el fin de limitar la velocidad de la bomba a un máximo de 2500 RPM (velocidad máxima del motor 3600 RPM), las dos correas que complementan este sistema son bandas en "V" con una longitud máxima de veintinueve pulgadas (29").

### **3.1.3 BOMBA HIDRÁULICA**

La capacidad de la bomba fue determinada inicialmente a partir de la ecuación (0.7) y de los valores mostrados en la Tabla 4. Allí, se determinó que la bomba debería manejar un caudal de 61,8 GPM, para una presión de 2000 Psi. En razón a que comercialmente la bomba que más se acerca a estas características tiene un costo muy elevado (\$ 7'500.000.00), se puede aumentar la presión del sistema para disminuir el caudal requerido para la potencia deseada.

Evaluando la oferta de bombas en el mercado local, se encontró la bomba Marca PARKER, de referencia p16-180-A-3N-5, que maneja un caudal de 27,3 GPM en condiciones ideales, es decir a 1800 RPM. De acuerdo con el catálogo del fabricante [Anexo 1], esta bomba puede trabajar perfectamente a 2500 RPM, entregando así un caudal máximo de 38 GPM según la ecuación (0.8).

La relación de transmisión de potencia se fija teniendo en cuenta que el caudal máximo de bomba que corresponde a una potencia de 65 HP se obtiene cuando gira a 2500 RPM. Como se limita la velocidad máxima de operación a 3600 RPM para que trabaje con los dos motores disponibles en el laboratorio, se requiere una transmisión de 1,44. Como se utilizan juegos de poleas comerciales se aproxima a 1.5, lo que resulta en una velocidad máxima del motor de 3750 RPM.

En estos cálculos se supone que no hay pérdidas de potencia en la transmisión. La Figura 7 muestra la curva de Caudal versus RPM de la bomba utilizada.

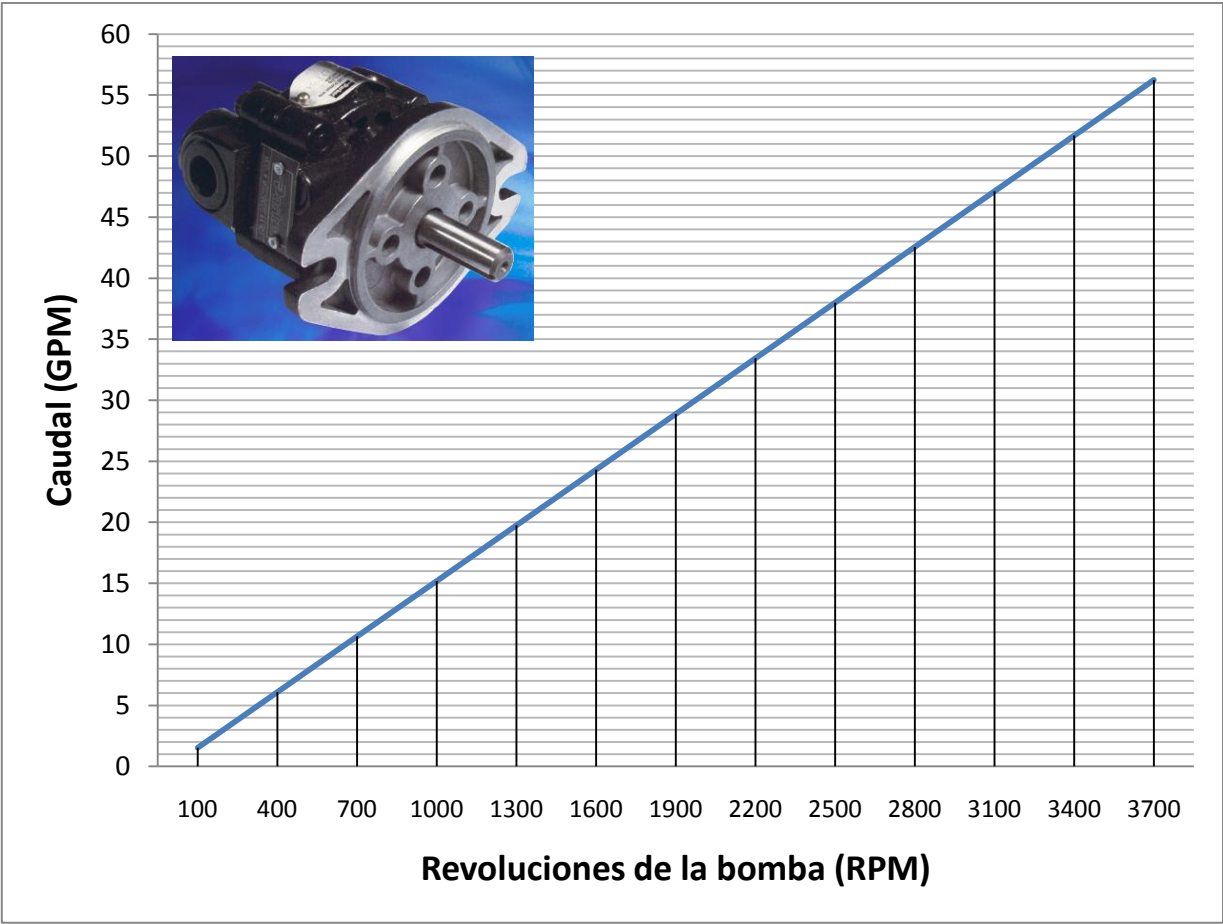


Figura 7 Desplazamiento volumétrico de la bomba PARKER P16-180.

FUENTE: Autores del proyecto 2013



### 3.1.4 REGULADORA DE CAUDAL

Esta válvula permite regular el caudal de bomba generando una obstrucción en el paso del fluido que eleva la presión del sistema y genera la carga necesaria para que el motor reduzca su velocidad y aumente progresivamente la potencia en el eje del cigüeñal.

### 3.1.5 SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

Este sistema es utilizado con la finalidad de mantener la temperatura del fluido de trabajo en valores aceptables debido a que la potencia del motor se disipa en forma de calor, por el estrangulamiento de la válvula. Adicionalmente, al utilizar el intercambiador, el sistema de almacenamiento (tanque) es relativamente pequeño, debido a que el radiador está cumpliendo las funciones de refrigeración de los tanques grandes, permitiendo minimizar los costos del fluido hidráulico.

### 3.1.6 DIÁMETROS DE LA TUBERÍA

La elección de estos diámetros se basa en el rango de velocidad que debe mantener el fluido. Según manual de oleo hidráulica de Vickers [3], la velocidad del fluido en la tubería de succión debe estar en un rango de 0,6 a 1,2 m/s, y la velocidad del fluido en la tubería de impulsión debe oscilar entre 2 y 5 m/s.

En la tubería de succión se asume una velocidad de 1,2 m/s, con un caudal que varía de 37GPM  $\sim 2,33 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , (a 3600 RPM) con el motor a gasolina a 30,4 GPM  $\sim 1,92 \cdot 10^{-3} \text{ m}^3/\text{s}$ , y a una velocidad de 3000RPM en el motor diesel.

Utilizando la siguiente ecuación, se obtiene los diámetros de succión e impulsión:

$$Q = V * A \quad (0.9)$$

Dónde:

Q: caudal [ $\text{m}^3/\text{s}$ ]

V: velocidad [ $\text{m}/\text{s}$ ]

A: área [ $\text{m}^2$ ]

Para el motor Diesel:

Despejando el área de la ecuación se tiene que se necesita un diámetro interno de 1,5 pulgadas, para mantener una velocidad máxima de succión de 1,75 m/s y una velocidad mínima de 0,53 m/s. Se puede observar que la velocidad mínima es un poco más pequeña que el valor recomendado, pero hay que tener en cuenta que este valor se registrará solamente cuando el motor se encuentre funcionando en ralentí, es decir, en lapsos de tiempo muy cortos. Lo mismo sucede cuando el motor se encuentra funcionando a su máxima velocidad, el fluido sobrepasa la velocidad recomendada, ocasionando un sobrecalentamiento del mismo. En este caso, el exceso de energía será eliminado por el intercambiador de calor.

Para la tubería de impulsión se obtiene un diámetro de  $\frac{3}{4}$  de pulgada con una velocidad máxima de 6,7 m/s y una velocidad mínima de 2,1 m/s, teniendo en cuenta la misma condición de la tubería de succión.

Para el motor a gasolina:

Teniendo en cuenta los mismos parámetros del motor diesel, el sistema de frenado accionado por el motor a gasolina funcionara con los siguientes parámetros:

- Tubería de impulsión: Velocidad máxima: 8 m/s; Velocidad mínima: 2,1 m/s
- Tubería de succión: Velocidad máxima: 2,01 m/s; Velocidad mínima: 0,53 m/s

### 3.2 CONFIGURACIÓN FINAL DEL EQUIPO Y SUS COMPONENTES

La disposición final de los componentes en el equipo de frenado se muestra en la figura 8.

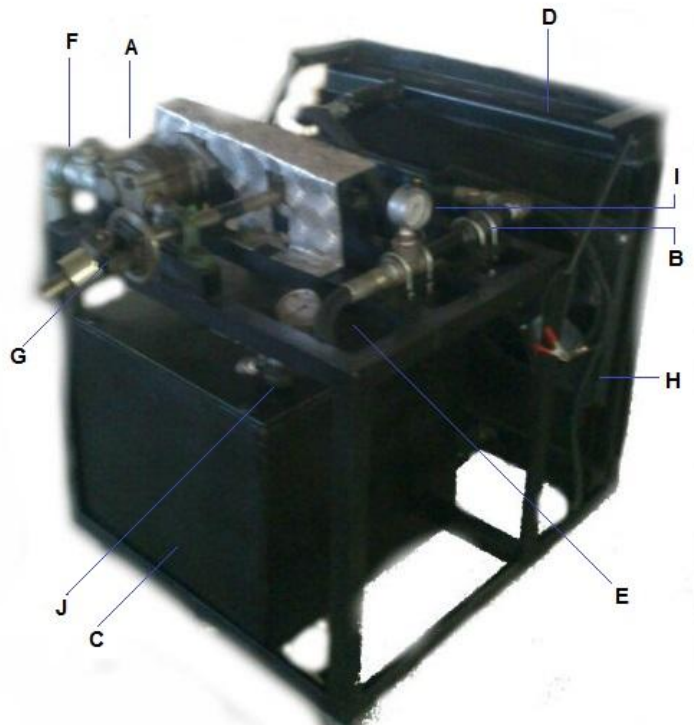


Figura 8 BANCO DINAMÓMETRICO

FUENTE: Autores del proyecto 2013

- A. Bomba hidráulica.
- B. Válvula reguladora de caudal.
- C. Tanque.
- D. Radiador.
- E. Mangueras.
- F. Tubería de succión.
- G. Acople tipo cardan.
- H. Moto-ventiladores.
- I. Manómetro.
- J. Válvula de seguridad.

## 4. PRUEBA

Las pruebas descritas en la norma SAE J1349 para obtener las curvas de torque y potencia versus revoluciones de un motor de combustión interna alternativos establecen que el motor debe estar funcionando con la mariposa totalmente abierta, asegurando que el motor pase por los puntos de máximo desempeño (Potencia y Torque).

La carga producida por el dinamómetro debe aplicarse de manera tal, que el motor disminuya la velocidad en rangos de 100 a 500 RPM, cuando el motor se acerca a los puntos de potencia y torque máximos este rango debe disminuirse a un máximo de 100 RPM, en el instante en que el motor este llegando a su torque máximo se debe aplicar la carga y liberarla rápidamente para que el motor no se apague.

### 4.1 DISEÑO DE LAS PRUEBAS DE EVALUACIÓN

El dinamómetro es probado con un motor estacionario marca IZUZO tipo industrial (encendido por compresión), de cuatro cilindros en línea, alimentado por inyección indirecta y de aspiración natural, esta máquina entrega un máximo de 52.2 HP a 3000 RPM. Debido a la cantidad de problemas mecánicos que presenta el motor y su banco, es difícil llevar la velocidad hasta el máximo señalado en las curvas de desempeño del fabricante. Por tanto, en este motor se estabiliza la velocidad en un máximo de 1000 RPM y después se aplica carga con el dinamómetro, para disminuir poco a poco sus revoluciones hasta llevarlo al punto deseado.

Para determinar el número de pruebas confiables, es necesario realizar un estudio estadístico básico con los parámetros de la ecuación (1.0). Para ello se realizan tres pruebas iniciales de referencia que muestran el comportamiento de las RPM cuando fija la caída de presión de la válvula reguladora de caudal en un valor dado.

$$N = \frac{Z^2 * \sigma^2}{e^2} \quad (1.0)$$

Dónde:

N= Numero de pruebas a tomar

Z= 1,96 para un Nivel de confiabilidad del 95%.

$\sigma$ = Desviación estándar

e= Porcentaje de error.

La tabla 5 muestra las tres pruebas conducidas y los valores registrados durante las mismas.

| <b>PRESION<br/>Psi</b> | <b>Prueba 1<br/>RPM</b> | <b>Prueba 2<br/>RPM</b> | <b>Prueba 3<br/>RPM</b> | <b>PROMEDIO<br/>RPM</b> |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|
| 100                    | 980                     | 970                     | 990                     | 980,0                   |
| 200                    | 960                     | 960                     | 980                     | 966,7                   |
| 300                    | 953                     | 947                     | 968                     | 956,0                   |
| 500                    | 930                     | 930                     | 960                     | 940,0                   |
| 600                    | 920                     | 920                     | 948                     | 929,3                   |
| 700                    | 900                     | 907                     | 930                     | 912,3                   |
| 800                    | 890                     | 893                     | 915                     | 899,3                   |
| 900                    | 880                     | 880                     | 900                     | 886,7                   |
| 1000                   | 863                     | 850                     | 885                     | 866,0                   |
| 1100                   | 835                     | 842                     | 870                     | 849,0                   |
| 1200                   | 820                     | 825                     | 845                     | 830,0                   |
| 1300                   | 790                     | 787                     | 830                     | 802,3                   |
| 1400                   | 770                     | 768                     | 815                     | 784,3                   |
| 1500                   | 740                     | 743                     | 800                     | 761,0                   |
| 1600                   | 725                     | 726                     | 780                     | 743,7                   |
| 1700                   | 700                     | 705                     | 760                     | 721,7                   |
| 1800                   | 694                     | 697                     | 743                     | 711,3                   |
| 1900                   | 688                     | 690                     | 732                     | 703,3                   |
| 2000                   | 680                     | 683                     | 725                     | 696,0                   |

Tabla 5 PRUEBAS INICIALES

FUENTE: Autores del proyecto 2013

La desviación estándar para el juego de datos de RPM de la tabla anterior resulta igual a 98,3 y el promedio general de las revoluciones es 838,9 RPM. Evaluando el número de pruebas manteniendo el nivel de confiabilidad y variando el error de las mediciones en un rango del 2 al 15 %, se tienen los resultados mostrados en la tabla 6.

| <b>Error (e)</b> | <b>Confiabilidad (95%) Z</b> | <b>Número de pruebas</b> |
|------------------|------------------------------|--------------------------|
| 15%              | 1,96                         | 2,34                     |
| 10%              | 1,96                         | 5,27                     |
| 5%               | 1,96                         | 21,1                     |
| 2%               | 1,96                         | 131,9                    |

Tabla 6 NÚMERO DE PRUEBAS. FUENTE: Autores del proyecto 2013

Los resultados muestran que para el error aceptable en pruebas de ingeniería (5%), se deben hacer 21 repeticiones. Sin embargo, la “*Guía sobre incertidumbre en la medición industrial*” [12], recomienda un máximo de 10 pruebas. Esto resulta en un error en el rango del 5 al 10%, que es aún aceptable para equipos de laboratorio con fines académicos.

## 4.2 RESULTADOS DE LAS PRUEBAS

Las mediciones registradas en cada una de las pruebas se relacionen de la tabla 8 a la tabla 17. Las curvas de Potencia y Torque versus RPM se elaboran a partir de las ecuaciones para el caudal de la bomba (Ecuación 0.8), de Potencia hidráulica (Ecuación 0.7) y de Torque (Ecuación 0.4.). Para el cálculo se consideró una eficiencia mecánica del dispositivo de frenado del 100%, debido a que la única manera de establecerlas con exactitud es comparando directamente los resultados de la medición de Torque y las revoluciones en el eje del motor.

El caudal se halla con la siguiente ecuación:

$$Q = Dc * RPM * \varepsilon$$

Dónde:

Dc: Desplazamiento cubico por revolución de la bomba [ver anexos].

RPM: Velocidad del motor.

Por ejemplo, para el juego de datos de la primera prueba (Ver tabla 8) se obtiene la siguiente curva para el caudal de la bomba con la ecuación 0.8.

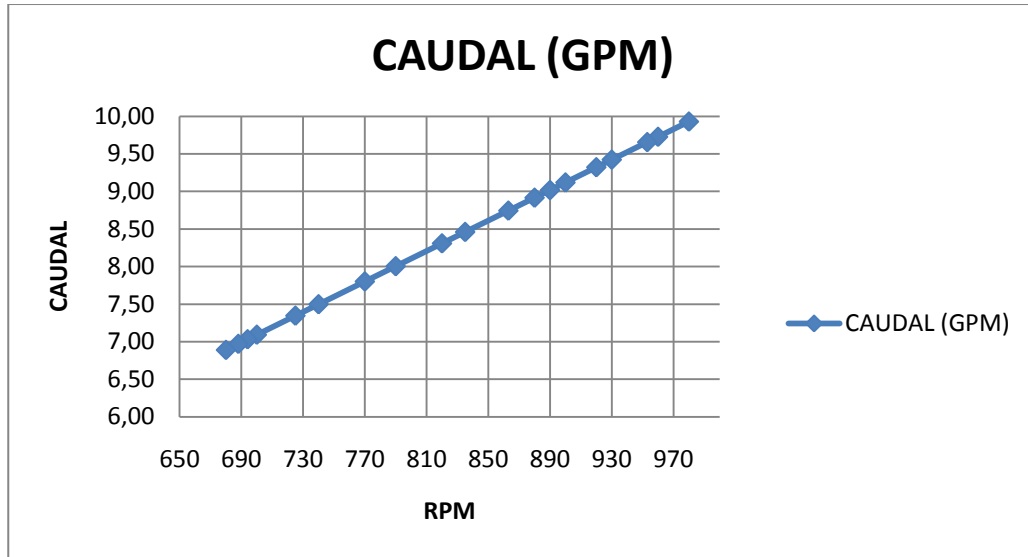


Figura 9 . CAUDAL GENERADO POR LA BOMBA, PRUEBA 1. FUENTE: Autores del proyecto 2013

La potencia se halla con la siguiente ecuación:

$$Ph = \frac{P \times Q}{1714}$$

Dónde:

P: Presión [psi].

Q: caudal [GPM].

Para el juego de datos de la primera prueba (Ver tabla 8) se obtiene la siguiente curva para la potencia hidráulica con la ecuación 0.7.

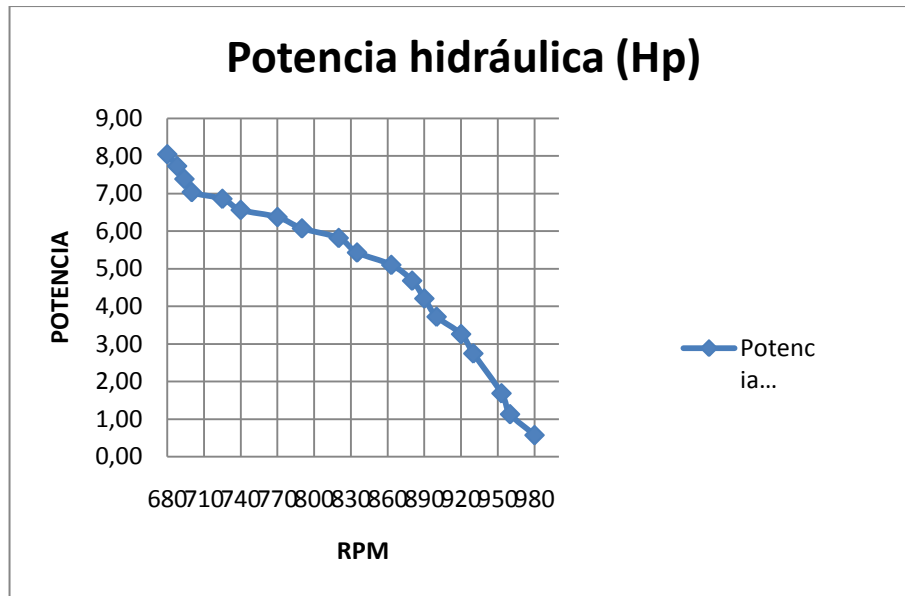


Figura 10 Potencia absorbida en la prueba 1. FUENTE: Autores del proyecto 2013

De esta manera el torque se despeja de la ecuación:

$$bhp = T \times w$$

Dónde:

bhp = Potencia al freno o hidráulica [W].

T= Torque de frenado [N-M].

w= Velocidad angular del motor [rad/s].

Finalmente, para el juego de datos de la primera prueba (Ver tabla 8) se obtiene la siguiente curva para el torque de frenado del motor con la ecuación 0.7.



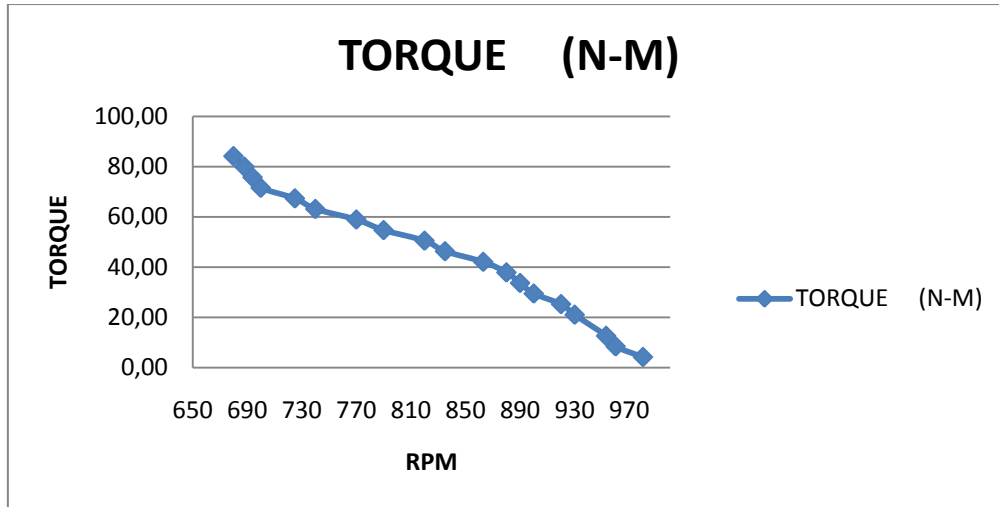


Figura 11 TORQUE GENERADO POR EL MOTOR, PRUEBA 1.

FUENTE: Autores del proyecto 2013

En la siguiente tabla se observa el aumento de presión para cada punto de la prueba, con el respectivo cambio en la velocidad del motor.

| <b>PRESION<br/>Psi</b> | <b>Prueba<br/>1 RPM</b> | <b>Prueba<br/>2 RPM</b> | <b>Prueba<br/>3 RPM</b> | <b>Prueba<br/>4 RPM</b> | <b>Prueba<br/>5 RPM</b> | <b>Prueba<br/>6 RPM</b> | <b>Prueba<br/>7 RPM</b> | <b>Prueba<br/>8 RPM</b> | <b>Prueba<br/>9 RPM</b> | <b>Prueba<br/>10 RPM</b> |
|------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|-------------------------|--------------------------|
| 100                    | 980                     | 970                     | 990                     | 990                     | 986                     | 991                     | 991                     | 990                     | 995                     | 992                      |
| 200                    | 960                     | 960                     | 980                     | 983                     | 970                     | 970                     | 983                     | 976                     | 985                     | 977                      |
| 300                    | 953                     | 947                     | 968                     | 964                     | 950                     | 947                     | 970                     | 961                     | 966                     | 960                      |
| 500                    | 930                     | 930                     | 960                     | 944                     | 933                     | 930                     | 956                     | 947                     | 974                     | 939                      |
| 600                    | 920                     | 920                     | 948                     | 935                     | 915                     | 910                     | 943                     | 932                     | 950                     | 925                      |
| 700                    | 900                     | 907                     | 930                     | 918                     | 900                     | 896                     | 931                     | 923                     | 937                     | 913                      |
| 800                    | 890                     | 893                     | 915                     | 900                     | 883                     | 880                     | 916                     | 906                     | 922                     | 891                      |
| 900                    | 880                     | 880                     | 900                     | 887                     | 873                     | 860                     | 895                     | 886                     | 904                     | 870                      |
| 1000                   | 863                     | 850                     | 885                     | 867                     | 857                     | 845                     | 882                     | 866                     | 890                     | 843                      |
| 1100                   | 835                     | 842                     | 870                     | 850                     | 840                     | 827                     | 866                     | 835                     | 878                     | 818                      |
| 1200                   | 820                     | 825                     | 845                     | 822                     | 817                     | 805                     | 845                     | 808                     | 847                     | 790                      |
| 1300                   | 790                     | 787                     | 830                     | 805                     | 790                     | 760                     | 820                     | 773                     | 820                     | 761                      |
| 1400                   | 770                     | 768                     | 815                     | 780                     | 763                     | 736                     | 791                     | 737                     | 796                     | 740                      |
| 1500                   | 740                     | 743                     | 800                     | 758                     | 740                     | 724                     | 768                     | 716                     | 783                     | 727                      |
| 1600                   | 725                     | 726                     | 780                     | 734                     | 721                     | 708                     | 754                     | 708                     | 775                     | 717                      |
| 1700                   | 700                     | 705                     | 760                     | 720                     | 712                     | 700                     | 745                     | 701                     | 770                     | 697                      |
| 1800                   | 694                     | 697                     | 743                     | 710                     | 705                     | 694                     | 746                     | 697                     | 742                     | 694                      |
| 1900                   | 688                     | 690                     | 732                     | 700                     | 698                     | 691                     | 731                     | 690                     | 735                     | 690                      |
| 2000                   | 680                     | 683                     | 725                     | 693                     | 694                     | 687                     | 716                     | 670                     | 700                     | 684                      |

Tabla 7 Número total de pruebas de frenado, FUENTE: Autores del proyecto 2013

## 4.2.1 GRAFICAS DE POTENCIA Y TORQUE

### Prueba n°1

| <i>PRESION (Psi)</i> | <i>Prueba 1 RPM</i> | <i>Potencia (W)</i> | <i>Potencia hidráulica (Hp)</i> | <i>CAUDAL (GPM)</i> | <i>VELOCIDAD ANGULAR (W)</i> | <i>TORQUE (N-M)</i> |
|----------------------|---------------------|---------------------|---------------------------------|---------------------|------------------------------|---------------------|
| 100                  | 980                 | 432,0               | 0,6                             | 9,93                | 102,6                        | 4,2                 |
| 200                  | 960                 | 846,5               | 1,1                             | 9,73                | 100,5                        | 8,4                 |
| 300                  | 953                 | 1260,4              | 1,7                             | 9,66                | 99,8                         | 12,6                |
| 500                  | 930                 | 2050,0              | 2,7                             | 9,42                | 97,4                         | 21,0                |
| 600                  | 920                 | 2433,6              | 3,3                             | 9,32                | 96,3                         | 25,3                |
| 700                  | 900                 | 2777,4              | 3,7                             | 9,12                | 94,2                         | 29,5                |
| 800                  | 890                 | 3139,0              | 4,2                             | 9,02                | 93,2                         | 33,7                |
| 900                  | 880                 | 3491,7              | 4,7                             | 8,92                | 92,2                         | 37,9                |
| 1000                 | 863                 | 3804,7              | 5,1                             | 8,75                | 90,4                         | 42,1                |
| 1100                 | 835                 | 4049,3              | 5,4                             | 8,46                | 87,4                         | 46,3                |
| 1200                 | 820                 | 4338,1              | 5,8                             | 8,31                | 85,9                         | 50,5                |
| 1300                 | 790                 | 4527,7              | 6,1                             | 8,01                | 82,7                         | 54,7                |
| 1400                 | 770                 | 4752,5              | 6,4                             | 7,80                | 80,6                         | 58,9                |
| 1500                 | 740                 | 4893,6              | 6,6                             | 7,50                | 77,5                         | 63,1                |
| 1600                 | 725                 | 5114,0              | 6,9                             | 7,35                | 75,9                         | 67,4                |
| 1700                 | 700                 | 5246,3              | 7,0                             | 7,09                | 73,3                         | 71,6                |
| 1800                 | 694                 | 5507,3              | 7,4                             | 7,03                | 72,7                         | 75,8                |
| 1900                 | 688                 | 5763,0              | 7,7                             | 6,97                | 72,0                         | 80,0                |
| 2000                 | 680                 | 5995,8              | 8,0                             | 6,89                | 71,2                         | 84,2                |

Tabla 8 Propiedades de la prueba 1, FUENTE: Autores del proyecto 2013

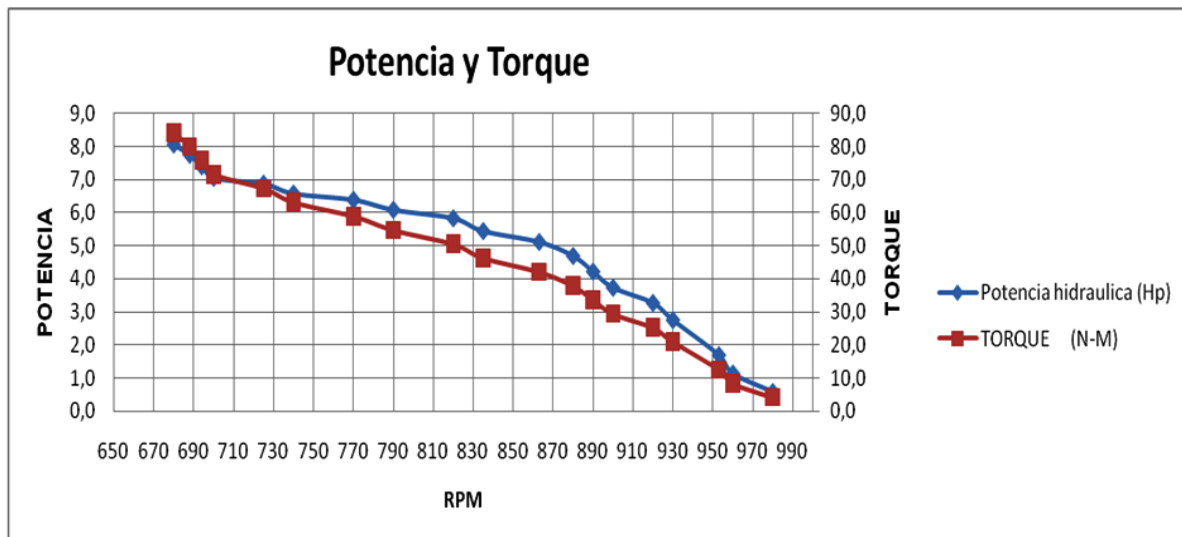


Figura 12 . Curva de Potencia Vs Torque, prueba 1, FUENTE: Autores del proyecto 2013

## Prueba N°2

| PRESION (Psi) | Prueba 2 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 970          | 427,6        | 0,6                      | 9,83         | 101,6                 | 4,2          |
| 200           | 960          | 846,5        | 1,1                      | 9,73         | 100,5                 | 8,4          |
| 300           | 947          | 1252,5       | 1,7                      | 9,60         | 99,2                  | 12,6         |
| 500           | 930          | 2050,0       | 2,7                      | 9,42         | 97,4                  | 21,0         |
| 600           | 920          | 2433,6       | 3,3                      | 9,32         | 96,3                  | 25,3         |
| 700           | 907          | 2799,1       | 3,8                      | 9,19         | 95,0                  | 29,5         |
| 800           | 893          | 3149,5       | 4,2                      | 9,05         | 93,5                  | 33,7         |
| 900           | 880          | 3491,7       | 4,7                      | 8,92         | 92,2                  | 37,9         |
| 1000          | 850          | 3747,4       | 5,0                      | 8,61         | 89,0                  | 42,1         |
| 1100          | 842          | 4083,3       | 5,5                      | 8,53         | 88,2                  | 46,3         |
| 1200          | 825          | 4364,6       | 5,9                      | 8,36         | 86,4                  | 50,5         |
| 1300          | 787          | 4510,5       | 6,0                      | 7,97         | 82,4                  | 54,7         |
| 1400          | 768          | 4740,2       | 6,4                      | 7,78         | 80,4                  | 58,9         |
| 1500          | 743          | 4913,4       | 6,6                      | 7,53         | 77,8                  | 63,1         |
| 1600          | 726          | 5121,1       | 6,9                      | 7,36         | 76,0                  | 67,4         |
| 1700          | 705          | 5283,8       | 7,1                      | 7,14         | 73,8                  | 71,6         |
| 1800          | 697          | 5531,1       | 7,4                      | 7,06         | 73,0                  | 75,8         |
| 1900          | 690          | 5779,7       | 7,8                      | 6,99         | 72,3                  | 80,0         |
| 2000          | 683          | 6022,2       | 8,1                      | 6,92         | 71,5                  | 84,2         |

Tabla 9 Propiedades de la prueba 2, FUENTE: Autores del proyecto 2013

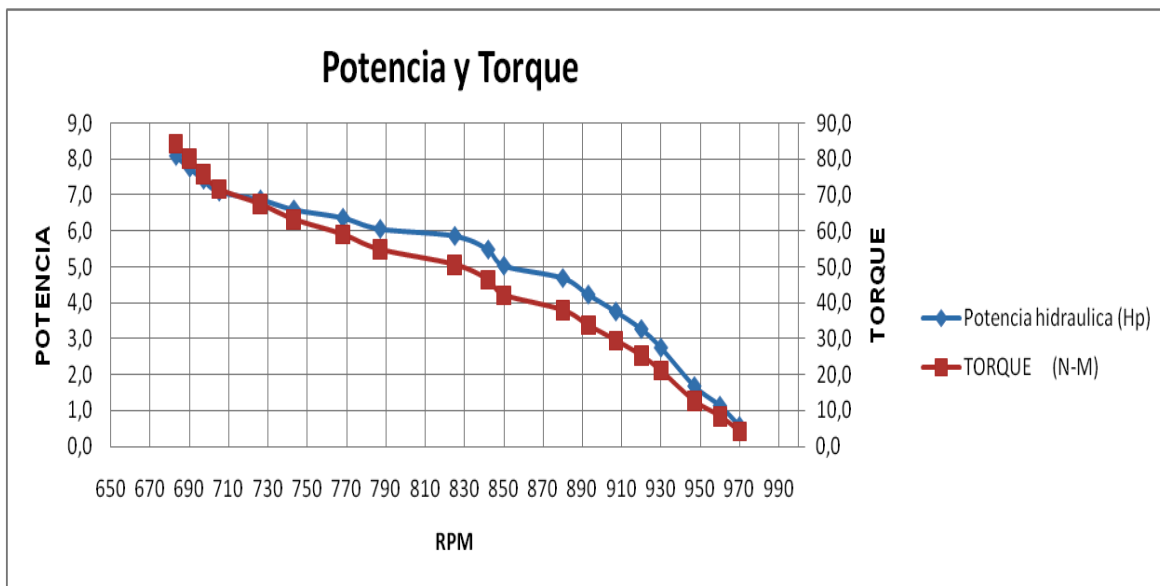


Figura 13 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 2, FUENTE: Autores del proyecto 2013

### Prueba N°3

| PRESION (Psi) | Prueba 3 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 990          | 436,5        | 0,6                      | 10,03        | 103,7                 | 4,2          |
| 200           | 980          | 864,1        | 1,2                      | 9,93         | 102,6                 | 8,4          |
| 300           | 968          | 1280,3       | 1,7                      | 9,81         | 101,4                 | 12,6         |
| 500           | 960          | 2116,2       | 2,8                      | 9,73         | 100,5                 | 21,0         |
| 600           | 948          | 2507,6       | 3,4                      | 9,61         | 99,3                  | 25,3         |
| 700           | 930          | 2870,0       | 3,8                      | 9,42         | 97,4                  | 29,5         |
| 800           | 915          | 3227,1       | 4,3                      | 9,27         | 95,8                  | 33,7         |
| 900           | 900          | 3571,0       | 4,8                      | 9,12         | 94,2                  | 37,9         |
| 1000          | 885          | 3901,7       | 5,2                      | 8,97         | 92,7                  | 42,1         |
| 1100          | 870          | 4219,1       | 5,7                      | 8,82         | 91,1                  | 46,3         |
| 1200          | 845          | 4470,4       | 6,0                      | 8,56         | 88,5                  | 50,5         |
| 1300          | 830          | 4756,9       | 6,4                      | 8,41         | 86,9                  | 54,7         |
| 1400          | 815          | 5030,3       | 6,7                      | 8,26         | 85,3                  | 58,9         |
| 1500          | 800          | 5290,4       | 7,1                      | 8,11         | 83,8                  | 63,1         |
| 1600          | 780          | 5502,0       | 7,4                      | 7,90         | 81,7                  | 67,4         |
| 1700          | 760          | 5696,0       | 7,6                      | 7,70         | 79,6                  | 71,6         |
| 1800          | 743          | 5896,1       | 7,9                      | 7,53         | 77,8                  | 75,8         |
| 1900          | 732          | 6131,6       | 8,2                      | 7,42         | 76,7                  | 80,0         |
| 2000          | 725          | 6392,5       | 8,6                      | 7,35         | 75,9                  | 84,2         |

Tabla 10 Propiedades de la prueba 3, FUENTE: Autores del proyecto 2013

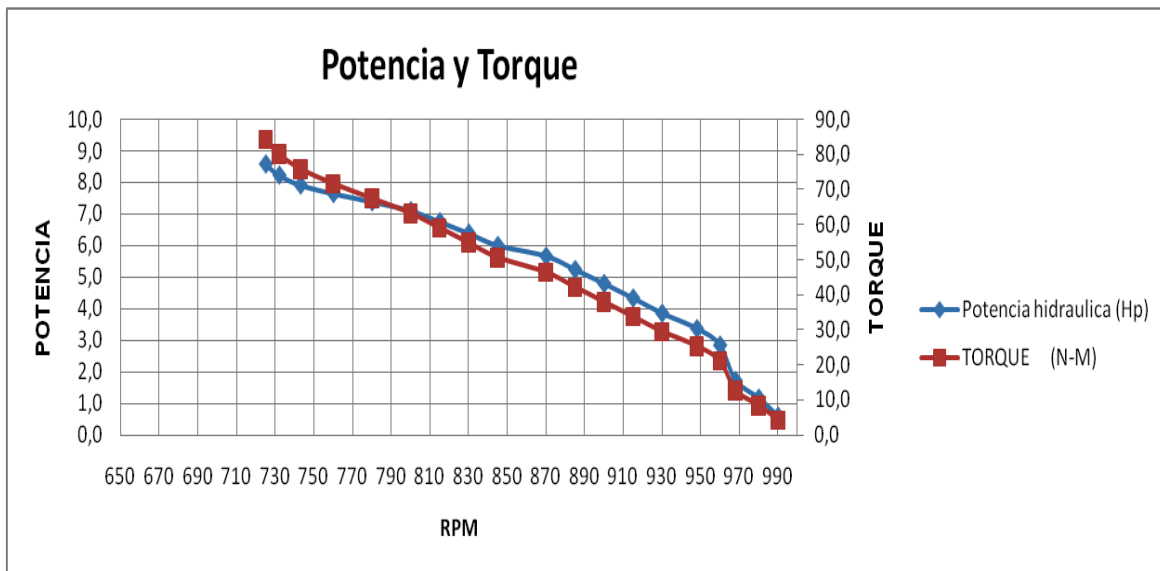


Figura 14 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 3, FUENTE: Autores del proyecto 2013

## Prueba N°4

| PRESION (Psi) | Prueba 4 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 990          | 436,5        | 0,6                      | 10,03        | 103,7                 | 4,2          |
| 200           | 983          | 866,7        | 1,2                      | 9,96         | 102,9                 | 8,4          |
| 300           | 964          | 1275,0       | 1,7                      | 9,77         | 100,9                 | 12,6         |
| 500           | 944          | 2080,9       | 2,8                      | 9,57         | 98,9                  | 21,0         |
| 600           | 935          | 2473,3       | 3,3                      | 9,47         | 97,9                  | 25,3         |
| 700           | 918          | 2833,0       | 3,8                      | 9,30         | 96,1                  | 29,5         |
| 800           | 900          | 3174,2       | 4,3                      | 9,12         | 94,2                  | 33,7         |
| 900           | 887          | 3519,4       | 4,7                      | 8,99         | 92,9                  | 37,9         |
| 1000          | 867          | 3822,3       | 5,1                      | 8,79         | 90,8                  | 42,1         |
| 1100          | 850          | 4122,1       | 5,5                      | 8,61         | 89,0                  | 46,3         |
| 1200          | 822          | 4348,7       | 5,8                      | 8,33         | 86,1                  | 50,5         |
| 1300          | 805          | 4613,7       | 6,2                      | 8,16         | 84,3                  | 54,7         |
| 1400          | 780          | 4814,2       | 6,5                      | 7,90         | 81,7                  | 58,9         |
| 1500          | 758          | 5012,6       | 6,7                      | 7,68         | 79,4                  | 63,1         |
| 1600          | 734          | 5177,5       | 6,9                      | 7,44         | 76,9                  | 67,4         |
| 1700          | 720          | 5396,2       | 7,2                      | 7,30         | 75,4                  | 71,6         |
| 1800          | 710          | 5634,3       | 7,6                      | 7,19         | 74,4                  | 75,8         |
| 1900          | 700          | 5863,5       | 7,9                      | 7,09         | 73,3                  | 80,0         |
| 2000          | 693          | 6110,4       | 8,2                      | 7,02         | 72,6                  | 84,2         |

Tabla 11 Propiedades de la prueba 4, FUENTE: Autores del proyecto 2013

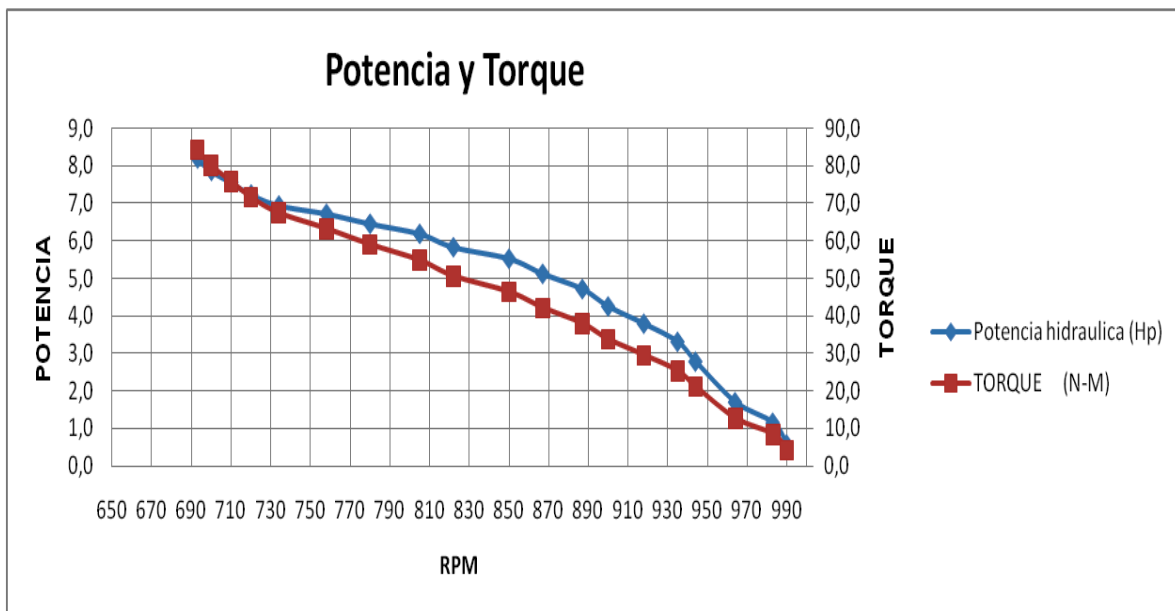


Figura 15 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 4, FUENTE: Autores del proyecto 2013

## Prueba N°5

| PRESION (Psi) | Prueba 5 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 986          | 434,7        | 0,6                      | 9,99         | 103,3                 | 4,2          |
| 200           | 970          | 855,3        | 1,1                      | 9,83         | 101,6                 | 8,4          |
| 300           | 950          | 1256,5       | 1,7                      | 9,63         | 99,5                  | 12,6         |
| 500           | 933          | 2056,6       | 2,8                      | 9,45         | 97,7                  | 21,0         |
| 600           | 915          | 2420,3       | 3,2                      | 9,27         | 95,8                  | 25,3         |
| 700           | 900          | 2777,4       | 3,7                      | 9,12         | 94,2                  | 29,5         |
| 800           | 883          | 3114,3       | 4,2                      | 8,95         | 92,5                  | 33,7         |
| 900           | 873          | 3463,9       | 4,6                      | 8,85         | 91,4                  | 37,9         |
| 1000          | 857          | 3778,2       | 5,1                      | 8,68         | 89,7                  | 42,1         |
| 1100          | 840          | 4073,6       | 5,5                      | 8,51         | 88,0                  | 46,3         |
| 1200          | 817          | 4322,2       | 5,8                      | 8,28         | 85,6                  | 50,5         |
| 1300          | 790          | 4527,7       | 6,1                      | 8,01         | 82,7                  | 54,7         |
| 1400          | 763          | 4709,3       | 6,3                      | 7,73         | 79,9                  | 58,9         |
| 1500          | 740          | 4893,6       | 6,6                      | 7,50         | 77,5                  | 63,1         |
| 1600          | 721          | 5085,8       | 6,8                      | 7,31         | 75,5                  | 67,4         |
| 1700          | 712          | 5336,2       | 7,2                      | 7,21         | 74,6                  | 71,6         |
| 1800          | 705          | 5594,6       | 7,5                      | 7,14         | 73,8                  | 75,8         |
| 1900          | 698          | 5846,8       | 7,8                      | 7,07         | 73,1                  | 80,0         |
| 2000          | 694          | 6119,2       | 8,2                      | 7,03         | 72,7                  | 84,2         |

Tabla 12 Propiedades de la prueba 5, FUENTE: Autores del proyecto 2013

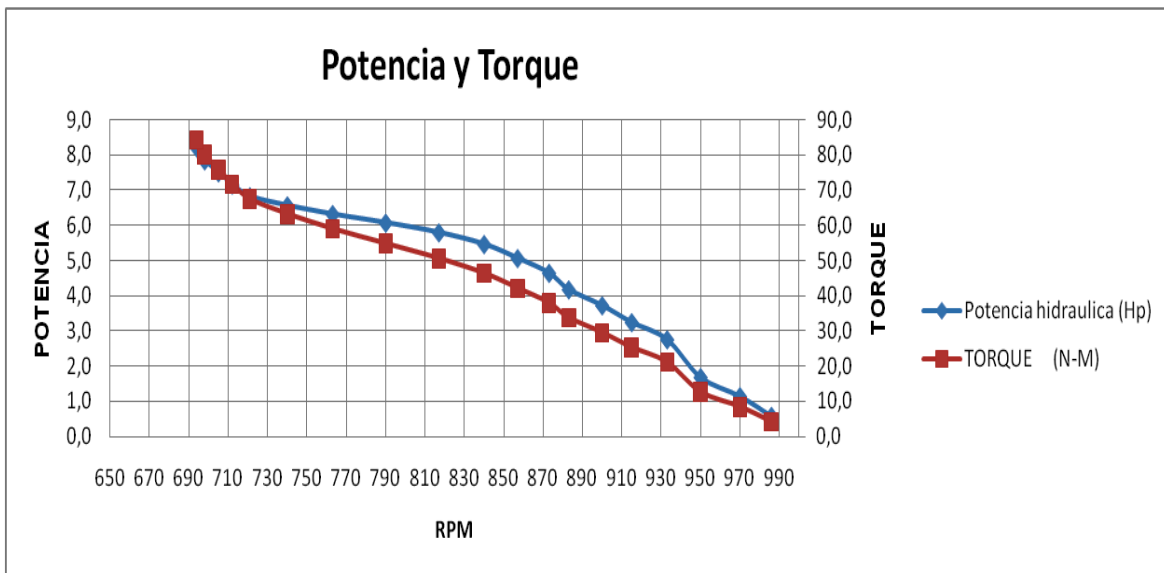


Figura 16 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 5, FUENTE: Autores del proyecto 2013

## Prueba N°6

| PRESION (Psi) | Prueba 6 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 991          | 436,9        | 0,6                      | 10,04        | 103,8                 | 4,2          |
| 200           | 970          | 855,3        | 1,1                      | 9,83         | 101,6                 | 8,4          |
| 300           | 947          | 1252,5       | 1,7                      | 9,60         | 99,2                  | 12,6         |
| 500           | 930          | 2050,0       | 2,7                      | 9,42         | 97,4                  | 21,0         |
| 600           | 910          | 2407,1       | 3,2                      | 9,22         | 95,3                  | 25,3         |
| 700           | 896          | 2765,1       | 3,7                      | 9,08         | 93,8                  | 29,5         |
| 800           | 880          | 3103,7       | 4,2                      | 8,92         | 92,2                  | 33,7         |
| 900           | 860          | 3412,3       | 4,6                      | 8,71         | 90,1                  | 37,9         |
| 1000          | 845          | 3725,3       | 5,0                      | 8,56         | 88,5                  | 42,1         |
| 1100          | 827          | 4010,5       | 5,4                      | 8,38         | 86,6                  | 46,3         |
| 1200          | 805          | 4258,8       | 5,7                      | 8,16         | 84,3                  | 50,5         |
| 1300          | 760          | 4355,7       | 5,8                      | 7,70         | 79,6                  | 54,7         |
| 1400          | 736          | 4542,7       | 6,1                      | 7,46         | 77,1                  | 58,9         |
| 1500          | 724          | 4787,8       | 6,4                      | 7,34         | 75,8                  | 63,1         |
| 1600          | 708          | 4994,1       | 6,7                      | 7,17         | 74,1                  | 67,4         |
| 1700          | 700          | 5246,3       | 7,0                      | 7,09         | 73,3                  | 71,6         |
| 1800          | 694          | 5507,3       | 7,4                      | 7,03         | 72,7                  | 75,8         |
| 1900          | 691          | 5788,1       | 7,8                      | 7,00         | 72,4                  | 80,0         |
| 2000          | 687          | 6057,5       | 8,1                      | 6,96         | 71,9                  | 84,2         |

Tabla 13 Propiedades de la prueba 6, FUENTE: Autores del proyecto 2013

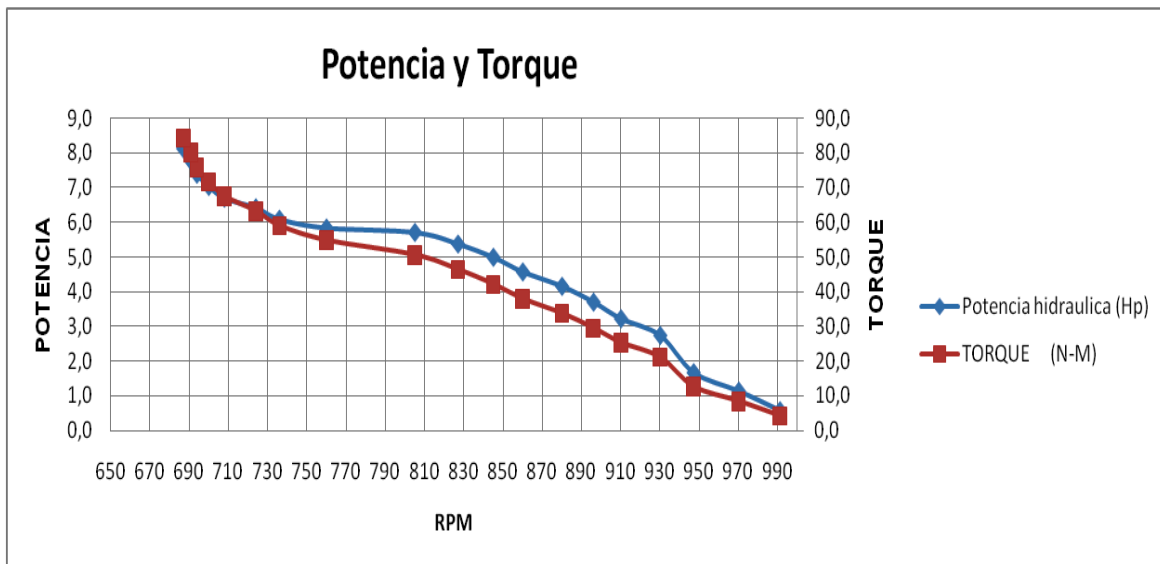


Figura17 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 6, FUENTE: Autores del proyecto 2013

## Prueba N°7

| PRESION (Psi) | Prueba 7 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 991          | 436,9        | 0,6                      | 10,04        | 103,8                 | 4,21         |
| 200           | 983          | 866,7        | 1,2                      | 9,96         | 102,9                 | 8,42         |
| 300           | 970          | 1282,9       | 1,7                      | 9,83         | 101,6                 | 12,63        |
| 500           | 956          | 2107,3       | 2,8                      | 9,69         | 100,1                 | 21,05        |
| 600           | 943          | 2494,4       | 3,3                      | 9,56         | 98,8                  | 25,26        |
| 700           | 931          | 2873,1       | 3,9                      | 9,43         | 97,5                  | 29,47        |
| 800           | 916          | 3230,7       | 4,3                      | 9,28         | 95,9                  | 33,68        |
| 900           | 895          | 3551,2       | 4,8                      | 9,07         | 93,7                  | 37,89        |
| 1000          | 882          | 3888,4       | 5,2                      | 8,94         | 92,4                  | 42,10        |
| 1100          | 866          | 4199,7       | 5,6                      | 8,78         | 90,7                  | 46,31        |
| 1200          | 845          | 4470,4       | 6,0                      | 8,56         | 88,5                  | 50,52        |
| 1300          | 820          | 4699,6       | 6,3                      | 8,31         | 85,9                  | 54,73        |
| 1400          | 791          | 4882,1       | 6,5                      | 8,02         | 82,8                  | 58,94        |
| 1500          | 768          | 5078,8       | 6,8                      | 7,78         | 80,4                  | 63,15        |
| 1600          | 754          | 5318,6       | 7,1                      | 7,64         | 79,0                  | 67,36        |
| 1700          | 745          | 5583,6       | 7,5                      | 7,55         | 78,0                  | 71,57        |
| 1800          | 746          | 5919,9       | 7,9                      | 7,56         | 78,1                  | 75,78        |
| 1900          | 731          | 6123,2       | 8,2                      | 7,41         | 76,6                  | 79,99        |
| 2000          | 716          | 6313,2       | 8,5                      | 7,26         | 75,0                  | 84,20        |

Tabla 14 Propiedades de la prueba 7, FUENTE: Autores del proyecto 2013

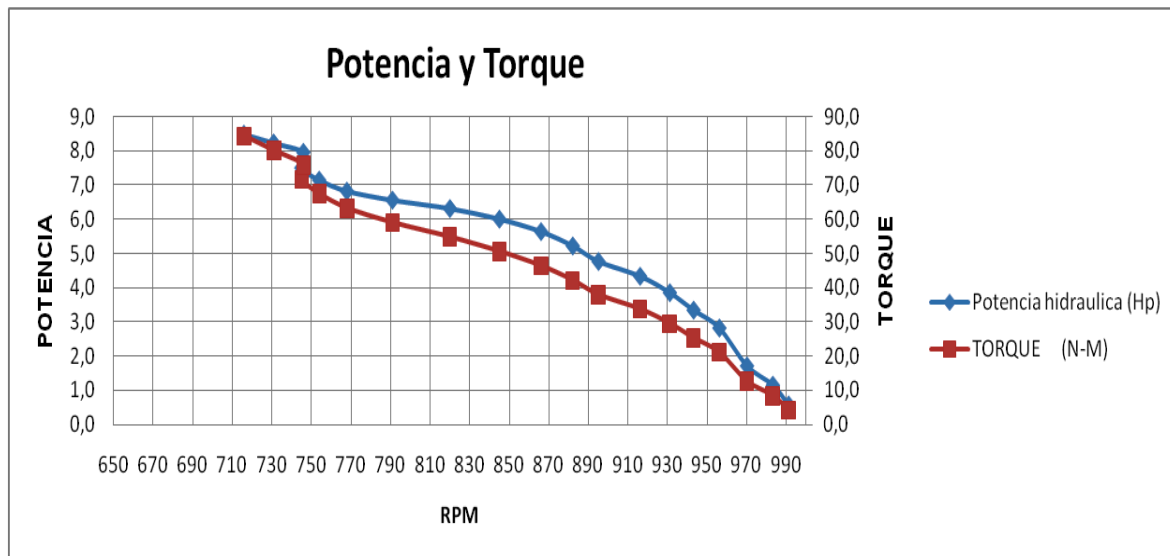


Figura 18 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 7, FUENTE: Autores del proyecto 2013



## Prueba N°8

| PRESION (Psi) | Prueba 8 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 990          | 436,5        | 0,6                      | 10,03        | 103,7                 | 4,21         |
| 200           | 976          | 860,6        | 1,2                      | 9,89         | 102,2                 | 8,42         |
| 300           | 961          | 1271,0       | 1,7                      | 9,74         | 100,6                 | 12,63        |
| 500           | 947          | 2087,5       | 2,8                      | 9,60         | 99,2                  | 21,05        |
| 600           | 932          | 2465,3       | 3,3                      | 9,44         | 97,6                  | 25,26        |
| 700           | 923          | 2848,4       | 3,8                      | 9,35         | 96,7                  | 29,47        |
| 800           | 906          | 3195,4       | 4,3                      | 9,18         | 94,9                  | 33,68        |
| 900           | 886          | 3515,5       | 4,7                      | 8,98         | 92,8                  | 37,89        |
| 1000          | 866          | 3817,9       | 5,1                      | 8,78         | 90,7                  | 42,10        |
| 1100          | 835          | 4049,3       | 5,4                      | 8,46         | 87,4                  | 46,31        |
| 1200          | 808          | 4274,6       | 5,7                      | 8,19         | 84,6                  | 50,52        |
| 1300          | 773          | 4430,3       | 5,9                      | 7,83         | 80,9                  | 54,73        |
| 1400          | 737          | 4548,8       | 6,1                      | 7,47         | 77,2                  | 58,94        |
| 1500          | 716          | 4734,9       | 6,3                      | 7,26         | 75,0                  | 63,15        |
| 1600          | 708          | 4994,1       | 6,7                      | 7,17         | 74,1                  | 67,36        |
| 1700          | 701          | 5253,8       | 7,0                      | 7,10         | 73,4                  | 71,57        |
| 1800          | 697          | 5531,1       | 7,4                      | 7,06         | 73,0                  | 75,78        |
| 1900          | 690          | 5779,7       | 7,8                      | 6,99         | 72,3                  | 79,99        |
| 2000          | 670          | 5907,6       | 7,9                      | 6,79         | 70,2                  | 84,20        |

Tabla 15 Propiedades de la prueba 8, FUENTE: Autores del proyecto 2013

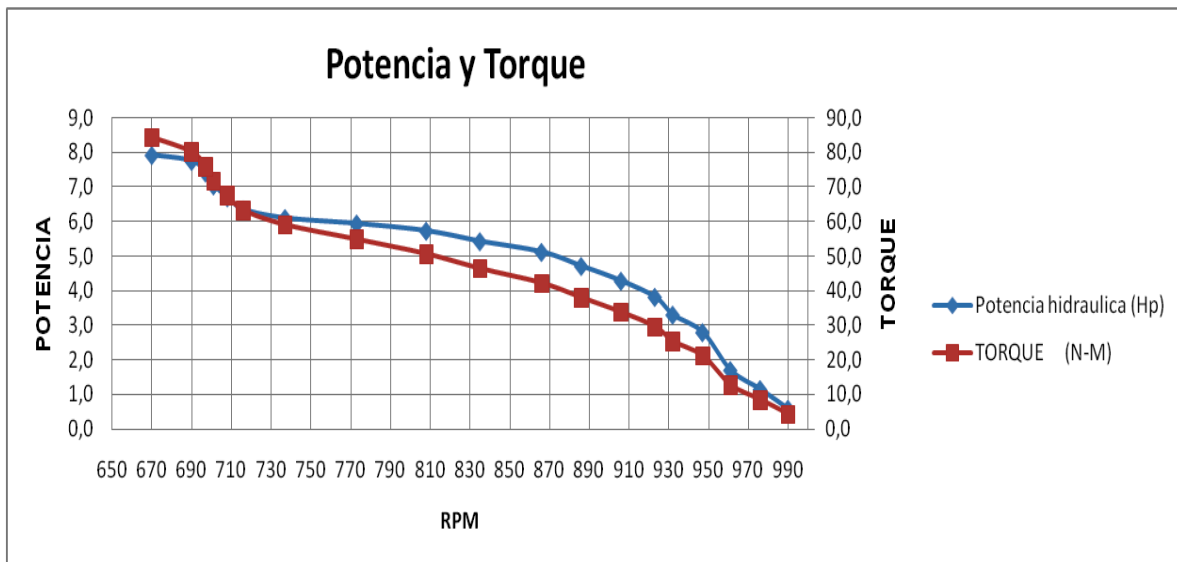


Figura 19 . Curva de Potencia Vs Torque, prueba 8, FUENTE: Autores del proyecto 2013

## Prueba N°9

| PRESION (Psi) | Prueba 9 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|--------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 995          | 438,7        | 0,6                      | 10,08        | 104,2                 | 4,21         |
| 200           | 985          | 868,5        | 1,2                      | 9,98         | 103,1                 | 8,42         |
| 300           | 966          | 1277,6       | 1,7                      | 9,79         | 101,2                 | 12,63        |
| 500           | 974          | 2147,0       | 2,9                      | 9,87         | 102,0                 | 21,05        |
| 600           | 950          | 2512,9       | 3,4                      | 9,63         | 99,5                  | 25,26        |
| 700           | 937          | 2891,6       | 3,9                      | 9,49         | 98,1                  | 29,47        |
| 800           | 922          | 3251,8       | 4,4                      | 9,34         | 96,6                  | 33,68        |
| 900           | 904          | 3586,9       | 4,8                      | 9,16         | 94,7                  | 37,89        |
| 1000          | 890          | 3923,7       | 5,3                      | 9,02         | 93,2                  | 42,10        |
| 1100          | 878          | 4257,9       | 5,7                      | 8,90         | 91,9                  | 46,31        |
| 1200          | 847          | 4481,0       | 6,0                      | 8,58         | 88,7                  | 50,52        |
| 1300          | 820          | 4699,6       | 6,3                      | 8,31         | 85,9                  | 54,73        |
| 1400          | 796          | 4913,0       | 6,6                      | 8,07         | 83,4                  | 58,94        |
| 1500          | 783          | 5178,0       | 6,9                      | 7,93         | 82,0                  | 63,15        |
| 1600          | 775          | 5466,7       | 7,3                      | 7,85         | 81,2                  | 67,36        |
| 1700          | 770          | 5770,9       | 7,7                      | 7,80         | 80,6                  | 71,57        |
| 1800          | 742          | 5888,2       | 7,9                      | 7,52         | 77,7                  | 75,78        |
| 1900          | 735          | 6156,7       | 8,3                      | 7,45         | 77,0                  | 79,99        |
| 2000          | 700          | 6172,1       | 8,3                      | 7,09         | 73,3                  | 84,20        |

Tabla 16 Propiedades de la prueba 9, FUENTE: Autores del proyecto 2013

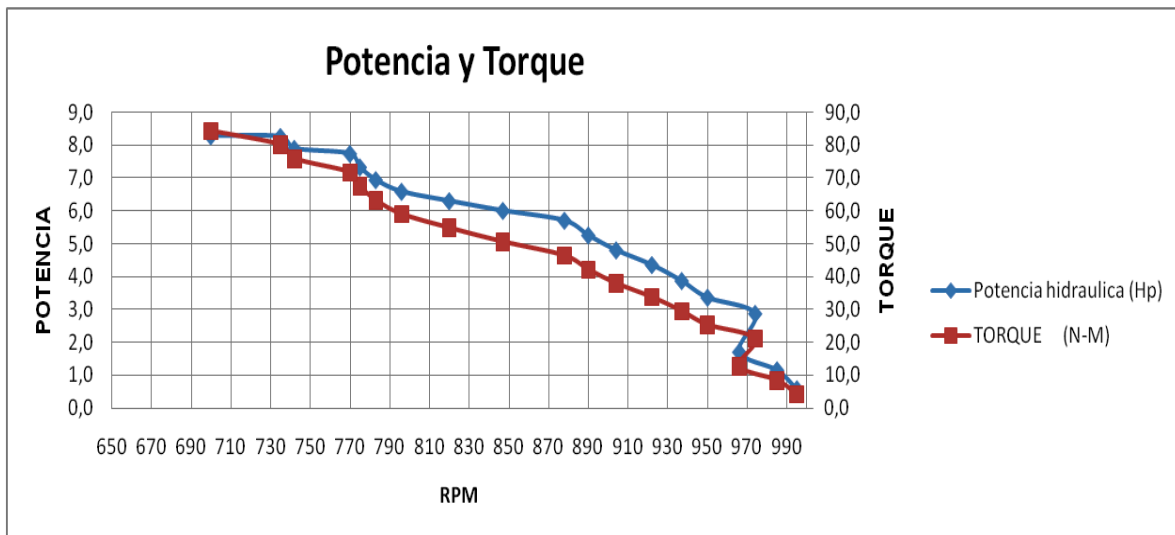


Figura 20 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 9. FUENTE: Autores del proyecto 2013

## Prueba N°10

| PRESION (Psi) | Prueba 10 RPM | Potencia (W) | Potencia hidráulica (Hp) | CAUDAL (GPM) | VELOCIDAD ANGULAR (W) | TORQUE (N-M) |
|---------------|---------------|--------------|--------------------------|--------------|-----------------------|--------------|
| 100           | 992           | 437,3        | 0,6                      | 10,05        | 103,9                 | 4,21         |
| 200           | 977           | 861,5        | 1,2                      | 9,90         | 102,3                 | 8,42         |
| 300           | 960           | 1269,7       | 1,7                      | 9,73         | 100,5                 | 12,63        |
| 500           | 939           | 2069,9       | 2,8                      | 9,52         | 98,3                  | 21,05        |
| 600           | 925           | 2446,8       | 3,3                      | 9,37         | 96,9                  | 25,26        |
| 700           | 913           | 2817,6       | 3,8                      | 9,25         | 95,6                  | 29,47        |
| 800           | 891           | 3142,5       | 4,2                      | 9,03         | 93,3                  | 33,68        |
| 900           | 870           | 3452,0       | 4,6                      | 8,82         | 91,1                  | 37,89        |
| 1000          | 843           | 3716,5       | 5,0                      | 8,54         | 88,3                  | 42,10        |
| 1100          | 818           | 3966,9       | 5,3                      | 8,29         | 85,7                  | 46,31        |
| 1200          | 790           | 4179,4       | 5,6                      | 8,01         | 82,7                  | 50,52        |
| 1300          | 761           | 4361,5       | 5,8                      | 7,71         | 79,7                  | 54,73        |
| 1400          | 740           | 4567,4       | 6,1                      | 7,50         | 77,5                  | 58,94        |
| 1500          | 727           | 4807,6       | 6,4                      | 7,37         | 76,1                  | 63,15        |
| 1600          | 717           | 5057,6       | 6,8                      | 7,27         | 75,1                  | 67,36        |
| 1700          | 697           | 5223,8       | 7,0                      | 7,06         | 73,0                  | 71,57        |
| 1800          | 694           | 5507,3       | 7,4                      | 7,03         | 72,7                  | 75,78        |
| 1900          | 690           | 5779,7       | 7,8                      | 6,99         | 72,3                  | 79,99        |
| 2000          | 684           | 6031,0       | 8,1                      | 6,93         | 71,6                  | 84,20        |

Tabla 17 Propiedades de la prueba 10, FUENTE: Autores del proyecto 2013

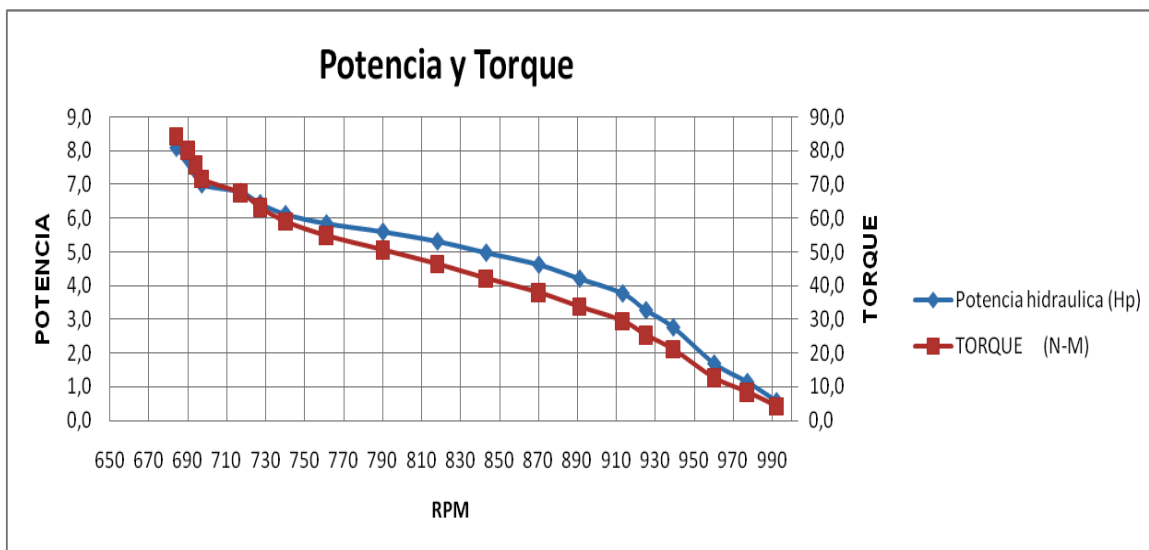


Figura 21 Curva de Potencia Vs Torque, prueba 10, FUENTE: Autores del proyecto 2013

#### 4.2.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

- Después de realizar las pruebas se concluye que el motor tiene un comportamiento similar al de una prueba a altas revoluciones (5000 a 6000 rpm), la potencia y el torque van aumentando a medida que se restringe el paso del fluido y disminuyen las RPM; en una prueba normal esto sigue sucediendo hasta que el motor entrega su máxima potencia y torque, después de esto, la curva comienza a descender hasta alcanzar el punto de ralenti del motor.
- Teóricamente el motor entrega 14,7 HP a una velocidad de 1000 RPM, pero la máxima potencia alcanzada en las pruebas fue de 8,6 HP, (ver figura 14), esto puede ser ocasionado por muchos factores, entre los más relevantes están las pérdidas de potencia que se producen por el sobrecalentamiento del motor a bajas revoluciones. También hay que resaltar que todos los motores están diseñados para funcionar en una velocidad específica, es decir que si se trabaja por encima o por debajo de dicha velocidad, el motor no será muy eficiente y las pérdidas aumentarían considerablemente.
- Los resultados obtenidos también pueden estar afectados por el mismo desempeño del motor, debido a que en todo el transcurso de la prueba el color del humo de escape fue blanco, esto indica la presencia de agua en la cámara de combustión que puede ser ocasionada por la misma combustión o por pequeñas fisuras en el sistema de refrigeración.
- Debido a que es muy complejo calcular las pérdidas en el sistema, no han sido contempladas en los datos, y se han tomado los valores del caudal y de la presión para calcular la potencia instantánea que es entregada por el motor en los distintos rangos de revoluciones previamente nombrados.

## 5 CONCLUSIONES

- Al evaluar las ventajas y desventajas de los diferentes sistemas de frenado se optó por la más apropiada para las necesidades de los estudiantes, debido a que el dispositivo de frenado es un sistema compacto, versátil y de fácil mantenimiento; en el cual los estudiantes pueden poner en práctica los conocimientos de dos asignaturas (Hidráulica y Motores de Combustión Interna).
- Se construyó e implementó un dinamómetro hidráulico, que permitirá generar las curvas de desempeño (Potencia y Torque) de los motores de combustión interna, propios de la universidad y que hacen parte del laboratorio y de la misma materia; facilitándole al estudiante la comprensión del comportamiento de dichos motores.
- Se realizaron cálculos estadísticos de los resultados obtenidos en las pruebas, teniendo en cuenta la desviación estándar con un porcentaje de confiabilidad del 95% y un error del 5%, para poder calcular un mínimo de pruebas a realizar, entregando así un resultado mucho más confiable del comportamiento del motor.
- Se elaboraron curvas de desempeño del motor ISUZU Potencia – RPM (P Vs RPM), Torque – RPM (T Vs RPM) del motor ISUZU, de cuatro cilindros en línea, diesel, a un máximo de 1000RPM, debido a los inconvenientes que presenta el motor y su bancada. No fue posible validar el dinamómetro con un motor alternativo, debido a que el motor de marca Volkswagen, del año 1965, con un cilindraje de 1,6 litros y una potencia aproximada de 40 HP, no estuvo listo para el momento en el que la prueba fue realizada.

- Para el cálculo de la Potencia y el Torque se consideró una eficiencia mecánica del dispositivo de frenado del 100%, debido a que la única manera de establecerlas con exactitud es comparando directamente los resultados de la medición de la Potencia y el Torque con los datos obtenidos por un sistema de frenado que se encuentre correctamente calibrado. A pesar de esta consideración los resultados obtenidos con el sistema de frenado son aceptables para una prueba académica, debido a que el dispositivo muestra el comportamiento del motor a medida que se le aplica carga.
  
- Las características de la mezcla aire-combustible que utiliza el motor, para su combustión siempre son variables, debido a que nunca aspira la misma cantidad de aire con las mismas características y lo mismo sucede con el diesel, debido a esto las gráficas de Potencia y Torque de las diferentes pruebas nunca será exactamente iguales.
  
- Inicialmente se planteó un sistema de acople tipo brida, el cual funciono correctamente durante las primeras pruebas, después de esto el sistema se desalineo totalmente, debido a las vibraciones producidas por el motor, debido a que este no se encuentra unido rígidamente a su propio banco, y ocasiono que se desplazara un poco hacia la derecha, de la parte de atrás, debido a esto nos vimos en la necesidad de cambiar el acople y se optó por una unión tipo cardan, la cual permite un rango mucho más amplio de desalineación.

## 6 RECOMENDACIONES

- Se recomienda tener un instrumento de medición más preciso para la toma de datos de las RPM, que son fundamentales para la elaboración de las gráficas de Potencia y Torque.
- El sistema de frenado funciona mucho mejor con un motor alternativo, es decir que no sea estacionario, para poder trabajar con un amplio rango de RPM.
- Cuando se realice la práctica, es fundamental que los ventiladores del intercambiador de calor estén funcionando, debido a que las dimensiones del tanque no son lo suficientemente grandes para que el fluido hidráulico pueda eliminar toda la energía que absorbe por la restricción de la válvula y se corre el riesgo que cambie su viscosidad y propiedades por el aumento excesivo en su temperatura.
- Procurar no elevar la presión del sistema por encima de los 3000 psi, debido a que todos los accesorios están diseñados para soportar esta presión, aunque las mangueras hidráulicas tienen una presión de ruptura de 4 veces superior a su rango de trabajo, pero no es aconsejable superar esta presión.

## 7 BIBLIOGRAFIA

- [1] Hibbeler, Russell C. Mecánica vectorial para ingenieros. Dinámica-Décima edición 2004, Editorial Pearson.
- [2] Willard W. Pulkrabek. Engineering Fundamentals of the Internal Combustion Engine - Second Edition, Editorial Pearson.
- [3] Vickers. Manual de Oleo hidráulica Industrial, 935100-A, Editorial Blume.
- [4] Nelson Chávez, Diseño y automatización de un dinamómetro hidráulico para motores de combustión interna con una potencia menor a 50 HP, 8 de junio de 2007, (Ingeniero Mecánico de la Universidad San Francisco de Quito), [online], disponible en: <<http://repositorio.usfq.edu.ec/handle/23000/842>>.
- [5] Borghi & Saveri, Banco dinamométrico, Capítulo 1, [Online], disponible en: <<http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/185/2/Capitulo%201.pdf>>.
- [6] IC CODE Desarrollos, Ventajas y desventajas de cada tipo de dinamómetro, 9 de mayo de 2010, [online], disponible en: <<http://www.iccode.com.ar/es/articulos/45-ventajas-y-desventajas-de-dinamometros.html>>
- [7] Jesús Andrés Álvarez Flórez, Motores Alternativo de Combustión Interna, primera edición, ediciones de la UPC (Universidad Politécnica de Cataluña).
- [8] William Harry Crouse, Mecánica del Automóvil, tercera edición, Editorial Marcombo S.A.
- [9] Marc Barthe Farell, Motores rotativos, tipologías y combustibles alternativos; proyecto final de carrera, [online], disponible en: <[http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7367/1/MOTORES%20ROTATIVO S.%20Tipolog%C3%ADas%20y%20combustibles%20alternativos.pdf](http://upcommons.upc.edu/pfc/bitstream/2099.1/7367/1/MOTORES%20ROTATIVO%20S.%20Tipolog%C3%ADas%20y%20combustibles%20alternativos.pdf)>
- [10] Isuzu, product lineup, Model C240, [online], disponible en: <[http://www.isuzu.co.jp/world/product/industrial/j\\_per01.html](http://www.isuzu.co.jp/world/product/industrial/j_per01.html)>
- [11] Edgar J. Kates, W. Luck, Motores Diesel y de gas de alta compresión, segunda edición, editorial reverté, S.A.
- [12] Guía sobre incertidumbre en la medición industrial, 2009 ICONTEC, Bogotá D.C. ISBN: 958-9383-65-3.
- [13] Vicente Macian Martínez, Jorge peidro Barrachina, Bernardo Tormos, Pablo Olmeda, Mantenimiento de motores diesel, primera edición, septiembre del 2005, Universidad Politécnica de Valencia.



## 8 ANEXOS

### ANEXO 1

### CATALOGO

### ESPECIFICACION FOR P16 SERIES\*.

**Description:** Gear Pumps

**Flow Range TO:** 38 GPM (143.8 LTR)

**Displacements TO:** 3.902 C.I.R. (63.94

CC's/REV.)

**Maximum Pressure to:** 3000 PSI (207 BAR)

**Maximum Speed to:** 3600 RPM

**Rotation:** A or C

**Bearings:** Journal

**Construction:** Cast Iron Gear Plate with  
Aluminum Flange and Cover Plate



### Performance Data

| Pump Model | Section Size | Displacement/Revolution (Theoretical) |              |        |                   |                  | Maximum Pressure |     | Maximum Speed |
|------------|--------------|---------------------------------------|--------------|--------|-------------------|------------------|------------------|-----|---------------|
|            |              | US Gallons                            | Cubic Inches | Liters | Cubic Centimeters | Imperial Gallons | PSI              | BAR | RPM           |
| P16        | 45           | .0038                                 | .878         | .0144  | 14.388            | .0031            | 3000             | 207 | 3600          |
| P16        | 65           | .0055                                 | 1.270        | .0208  | 20.812            | .0045            | 3000             | 207 | 3600          |
| P16        | 85           | .0072                                 | 1.663        | .0273  | 27.252            | .0059            | 3000             | 207 | 3400          |
| P16        | 100          | .0085                                 | 1.964        | .0321  | 32.184            | .0070            | 3000             | 207 | 3300          |
| P16        | 115          | .0097                                 | 2.241        | .0367  | 36.723            | .0080            | 3000             | 207 | 3100          |
| P16        | 150          | .0127                                 | 2.934        | .0481  | 48.080            | .0105            | 3000             | 207 | 2800          |
| P16        | 180          | .0152                                 | 3.511        | .0575  | 57.535            | .0126            | 2200             | 152 | 2500          |
| P16        | 200          | .0169                                 | 3.902        | .0639  | 63.942            | .0140            | 2000             | 138 | 2200          |

**CAUTION:** "Inlet vacuum" should not exceed 5" Hg at normal operating speed and temperature. Operation of pumps in excess of 5" Hg requires factory approval.


\*Informacion tomada de: [www.parker.com](http://www.parker.com), nuestro modelo de bomba es la P-16-180

**ANEXO 2**

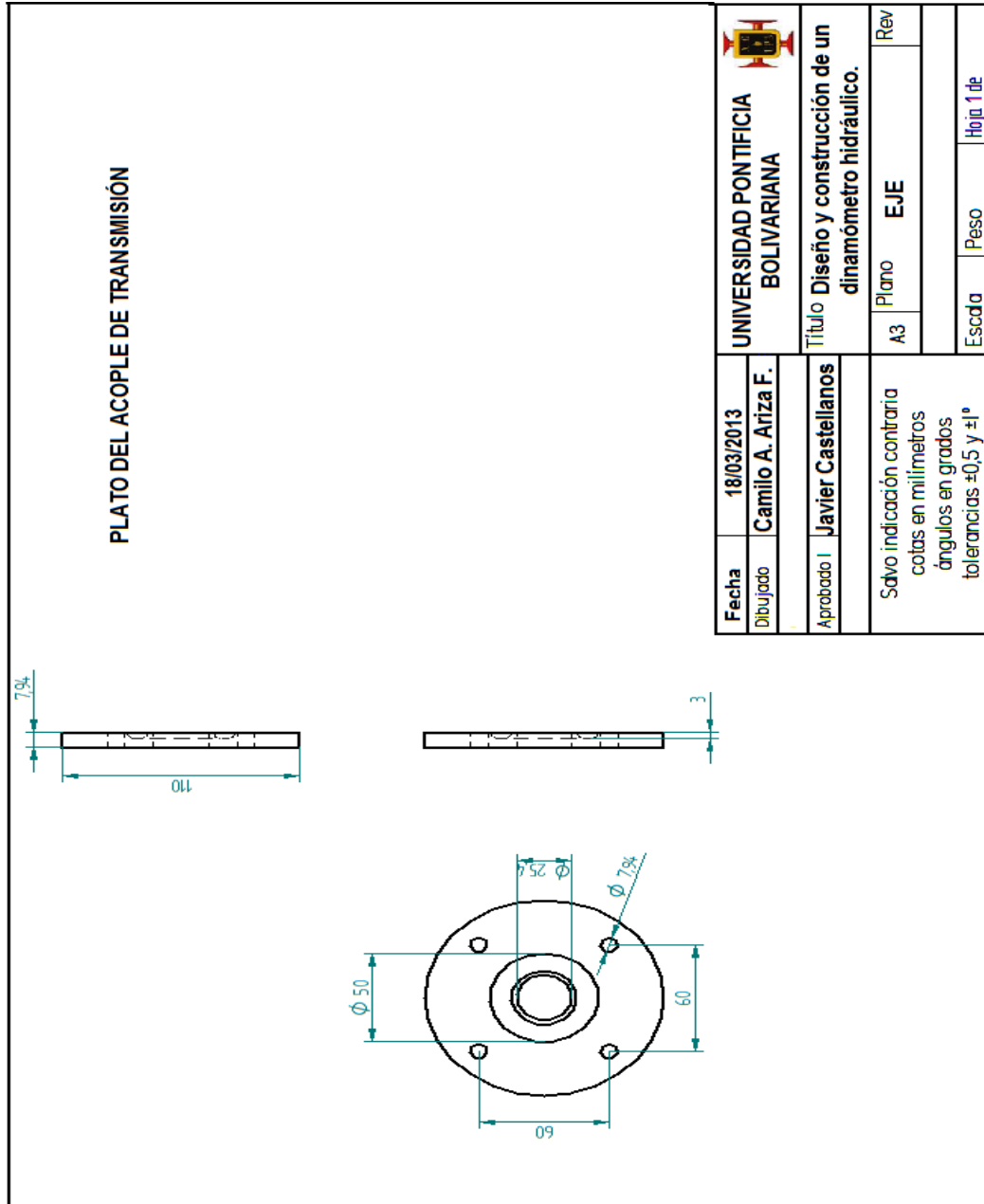
**PLANOS**

Eje de transmision, Acero al carbono 1045.

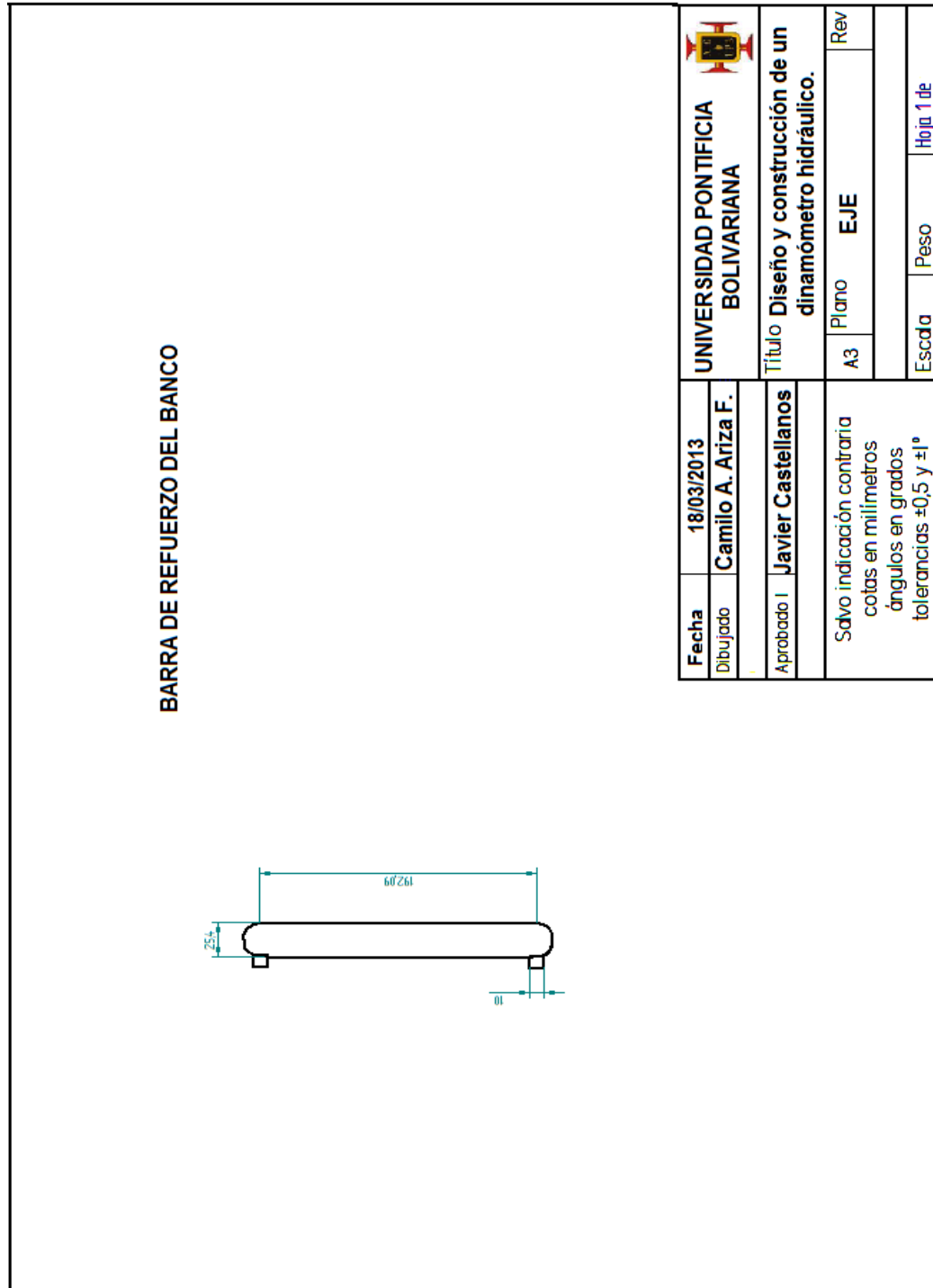
**EJE DE TRANSMISIÓN**

|                                                                                                                 |                    |                                                                                    |                                               |
|-----------------------------------------------------------------------------------------------------------------|--------------------|------------------------------------------------------------------------------------|-----------------------------------------------|
| <b>Fecha</b>                                                                                                    | 18/03/2013         |  | <b>UNIVERSIDAD PONTIFICIA<br/>BOLIVARIANA</b> |
| <b>Dibujado</b>                                                                                                 | Camilo A. Ariza F. |                                                                                    |                                               |
| <b>Aprobado I</b>                                                                                               | Javier Castellanos | <b>Título</b> Diseño y construcción de un<br>dinamómetro hidráulico.               |                                               |
| Salvo indicación contraria<br>cotas en milímetros<br>ángulos en grados<br>tolerancias $\pm 0,5$ y $\pm 1^\circ$ |                    | Plano                                                                              | <b>EJE</b>                                    |
|                                                                                                                 |                    | A3                                                                                 | Rev                                           |
|                                                                                                                 |                    | Escala                                                                             | Peso                                          |
|                                                                                                                 |                    | Hoja 1 de                                                                          |                                               |

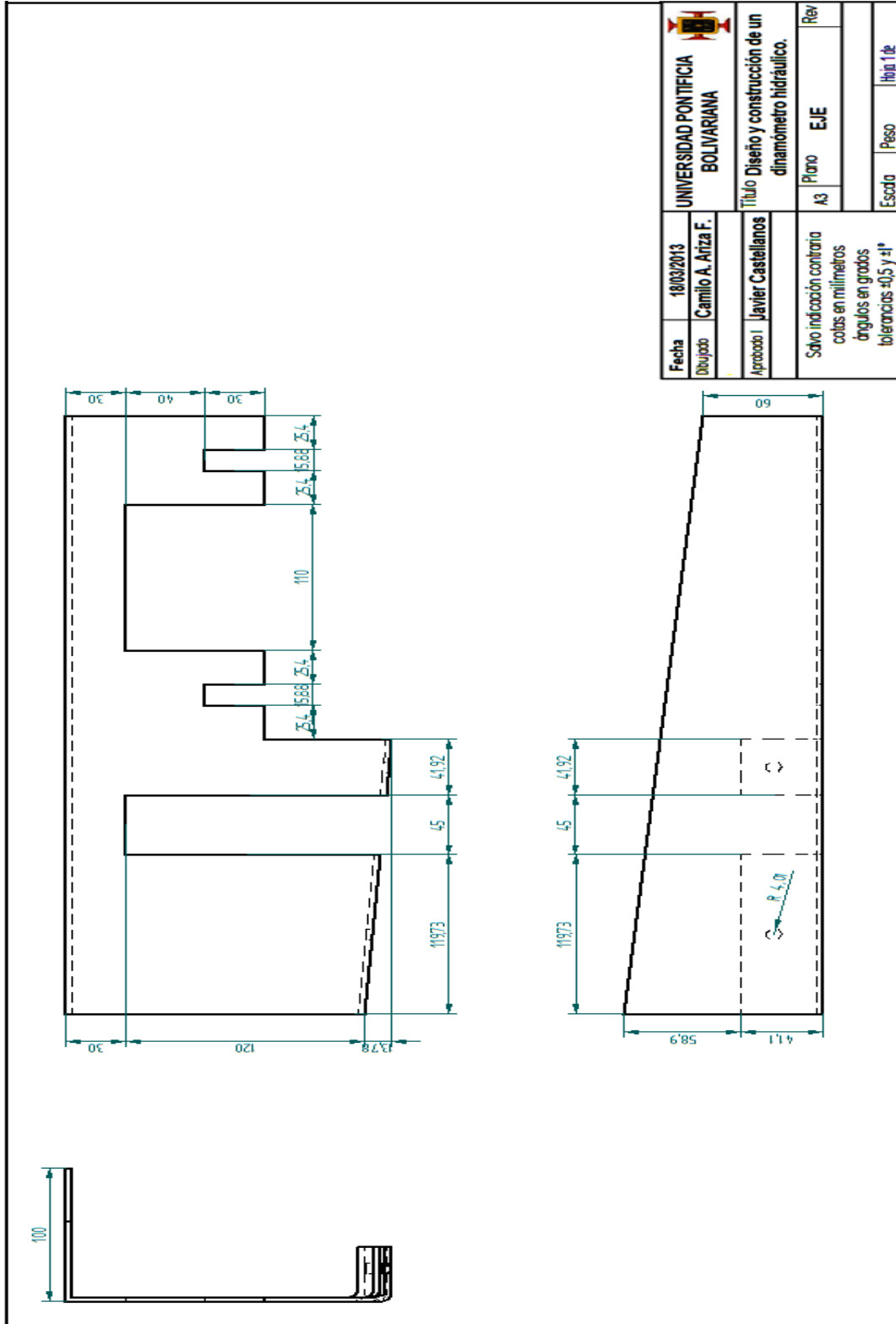
Plato del acople de transmision, acero al carbono 1045

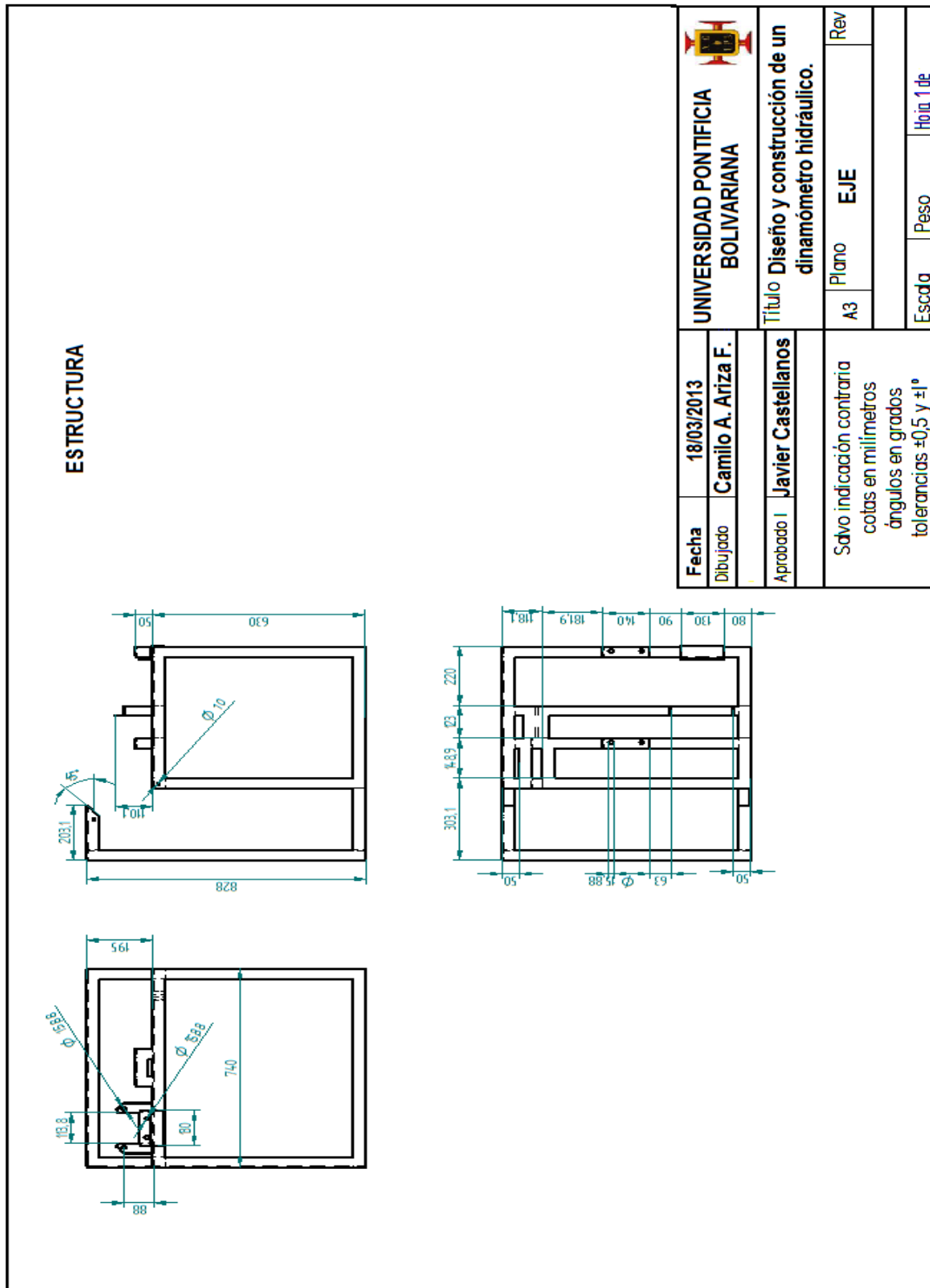


Barra de refuerzo del banco, acero 1030.



Guarda





## **ANEXO 3**

### **MANUAL DE USO.**

1. llene un depósito con combustible e introduzca las mangueras de succión de la bomba de combustible.
2. Para el motor diesel hay que purgar el sistema de inyectores y presionar la válvula del bombil hasta llenar toda la tubería del combustible.
3. Conectar la batería al motor y a los moto-ventiladores (el cable del motor de arranque va al positivo y el otro al negativo).
4. Conectar el banco del dinamómetro al motor y verificar que las válvulas se encuentren totalmente abiertas y el nivel de hidráulico del tanque.
5. Encender el motor y llevarlo hasta cierta velocidad, la cual debe estar por encima del torque máximo y de la potencia máxima, asegurándose que se mantenga en esa velocidad.
6. Tarar la válvula de seguridad del sistema de frenado, y empezar a restringir el paso del fluido con la válvula reguladora, para poder elevar la presión del sistema y así frenar el motor.
7. La velocidad del motor se debe reducir máximo cada 100 rpm, para poder pasar por el punto del torque máximo y la potencia máxima.