



Universidad de San Carlos de Guatemala
Facultad de Ingeniería
Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO
Y CONSTRUCCIÓN DE UN DINAMÓMETRO DE INERCIA
ELECTRÓNICO COMPUTARIZADO**

Verni Alexander Hernández Morales

Asesorado por el Ing. Byron Odilio Arrivillaga Méndez

Guatemala, febrero de 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO
Y CONSTRUCCIÓN DE UN DINAMÓMETRO DE INERCIA
ELECTRÓNICO COMPUTARIZADO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA

POR

VERNI ALEXANDER HERNANDEZ MORALES

ASESORADO POR EL ING. BYRON ODILIO ARRIVILLAGA MÉNDEZ

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO ELECTRÓNICO

GUATEMALA, FEBRERO DE 2007

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I	Inga. Glenda Patricia García Soria
VOCAL II	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
EXAMINADOR	Ing. Julio César Solares Peñate
EXAMINADOR	Ing. Jorge Fernando Álvarez Girón
EXAMINADOR	Ing. Edgar Florencio Montufar Urizar
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

PROPUESTA PARA EL DISEÑO DEL CONTROL ELECTRÓNICO Y CONSTRUCCIÓN DE UN DINAMÓMETRO DE INERCIA ELECTRÓNICO COMPUTARIZADO,

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica Eléctrica, el 4 de noviembre de 2004.

Verni Alexander Hernández Morales

ACTO QUE DEDICO A:

Dios	Por darme la sabiduría, bendiciones y permitirme llegar a lograr un objetivo mas en mi vida.
Mis Padres	Pedro y Victoria, quienes han sido un pilar importante en el camino hacia mi formación, gracias a sus esfuerzos y consejos soy la persona que hoy día soy.
Mi Esposa	Glendy, quien me ha dado su cariño, apoyo y paciencia incondicional durante este largo camino.
Mis Hijos	Antonio, Johana y Alexandra; por darle un significado a mi vida, han sido mi inspiración para luchar y lograr esta meta.
Mis Hermanos	Wilson y Bricel, por apoyarme y compartir todos los sacrificios necesarios para lograr esta meta.
Mis Amigos	Por su apoyo incondicional en los momentos más difíciles de la carrera.
Mi Asesor	Ing. Byron Arrivillaga, por su tiempo dedicado a la revisión de este trabajo de graduación.

ÍNDICE GENERAL

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	V
LISTA DE SÍMBOLOS	IX
GLOSARIO	XI
RESUMEN	XVII
OBJETIVOS	XIX
INTRODUCCIÓN	XXI
1. DEFINICIÓN DE EQUIPO	
1.1 Qué es un dinamómetro.....	1
1.1.2 Qué mide un dinamómetro.....	3
1.2 Tipos de dinamómetro.....	5
1.2.1 Dinamómetro de motor.....	6
1.2.1.1 Dinamómetro de motor para propósitos en general.....	6
1.2.1.2 Medidor de Torque.....	8
1.2.2 Dinamómetros de chasis.....	9
1.2.2.1 Dinamómetros de freno o carga con rodillos.....	9
1.2.2.2 Dinamómetros de freno o carga sin rodillos.....	10
1.2.2.3 Dinamómetros de inercia.....	11
1.2.3 Ventajas y desventajas entre el dinamómetro de carga o frenado y el de inercia.....	13
1.3 Componentes de un dinamómetro.....	15
1.3.1 Rodillos.....	15
1.3.2 Chasis del dinamómetro.....	16
1.3.3 Freno o carga.....	17
1.3.4 Ventiladores.....	18

1.3.5	Extractor de gases.....	19
1.3.6	Sistema de adquisición de Datos.....	20
1.3.7	Computadora.....	22
2.	ESTRUCTURA MECÁNICA DEL DINAMÓMETRO DE INERCIA	
2.1	Tipos de Rodillos o Cilindros.....	27
2.1.1	Cálculo de Potencia con base a las características de los rodillos.....	27
2.1.2	Dinamómetro de Rodillo doble.....	35
2.1.3	Dinamómetro de Rodillo Simple.....	37
2.2	Marco para los rodillos.....	39
2.2	Rampa de acceso.....	41
3.	DISEÑO DE ESTRUCTURA ELECTRÓNICA PARA DINAMÓMETRO DE INERCIA	
3.1	Tacómetro Óptico.....	45
3.2	Tacómetro Inductivo.....	50
3.3	Medidor Temperatura Ambiente.....	56
3.4	Medidor Presión Atmosférica.....	58
3.5	Medidor Humedad Relativa.....	62
3.6	Descripción del PIC 16F877.....	65
3.6.1	Características.....	67
3.6.2	Diagrama a Bloques.....	70
3.6.3	Descripción de pines.....	71
3.6.4	Diagrama de Conexión.....	75
3.7	Fuente de Alimentación.....	77
4.	SOFTWARE PARA DINAMÓMETRO DE INERCIA	
4.1	Menú Principal.....	79

4.2 Datos del Cliente.....	81
4.3 Medición.....	84
4.4 Resultados.....	93
4.5 Factor de Corrección.....	95
4.6 Configuración.....	99
4.7 Impresora.....	100
5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL DINAMÓMETRO DE INERCIA	
5.1 Costos Estructura Electrónica.....	103
5.2 Costos del software para dinamómetro de inercia.....	108
5.3 Costos Estructura Mecánica para dinamómetro de inercia.....	108
5.4 Resumen total de costos.....	109
5.5 Tiempo de recuperación de inversión.....	110
CONCLUSIONES.....	111
RECOMENDACIONES.....	113
BIBLIOGRAFÍA.....	115
APÉNDICE 1.	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1	Dinamómetros de motor.	3
2	Dinamómetro de Chasis.	3
3	Despliegue de las mediciones realizadas por el dinamómetro.	4
4	Dinamómetro de Motor para propósitos en general.	7
5	Dinamómetro de Motor, acoplamiento del dinamómetro con el motor para la medición.	8
6	Medidor de Torque.	8
7	Dinamómetro de Chasis con rodillos, sistema de frenado.	10
8	Dinamómetro de freno o carga sin rodillos, acoplamiento directo al tambor o disco del vehículo.	11
9	Dinamómetro de inercia con doble rodillo.	12
10	Dinamómetro de inercia con doble rodillo, en funcionamiento.	12
11	Rodillos de un dinamómetro.	16
12	Chasis del dinamómetro.	16
13	Sistema de freno o carga para el dinamómetro de chasis.	17
14	Sistema de ventilación, al momento de la prueba con el dinamómetro.	19
15	Sistema para extracción de gases en cuarto para pruebas, del dinamómetro de chasis.	20
16	Gabinete con computadora e impresora para dinamómetros.	23
17	Dinamómetros de inercia, empotrados en piso.	26
18	Dinamómetros de inercia, no empotrados al piso con rampa.	26
19	Dinamómetro de inercia con rodillos dobles, vista de planta.	35

20	Medidas para Dinamómetro de inercia con doble rodillo.	36
21	Dinamómetro de inercia con rodillo simple.	37
22	Medidas para Dinamómetro de inercia con rodillo simple,	38
23	Dinamómetro de inercia vista elevación, (estructura mecánica del dinamómetro).	40
24	Agujero para empotrar o enterar el marco del dinamómetro.	41
25	Rampa de acceso Hidráulica.	42
26	Diagrama a bloque, estructura electrónica para dinamómetro de inercia.	43
27	Acople de diodo emisor y fototransistor al rodillo del dinamómetro.	45
28	Circuito electrónico para tacómetro óptico.	46
29	Forma de onda para voltaje V3, en circuito electrónico para tacómetro óptico	46
30	Acople de diodo emisor y fototransistor.	50
31	Gancho Inductivo, conexión al motor en prueba.	51
32	Formas de conexión del gancho inductivo para los diferentes sistemas de ignición	53
33	Señal de salida en gancho inductivo, cuando es conectado a los cables del sistema de ignición	54
34	Circuito electrónico para tacómetro inductivo.	55
35	Circuito electrónico para el sensor de temperatura ambiente.	57
36	Tensión de salida en función de la presión aplicada.	60
37	Circuito electrónico para medidor de presión atmosférica.	61
38	Características de salida del sensor de humedad HIH-3610 a 0, 25 y 85 °C	63
39	Circuito electrónico para el sensor de humedad relativa.	64
40	Diagrama interno del PIC 16F877 en bloques	70
41	Distribución e identificación de pines para PIC 16F877.	71

42	Diagrama de conexión entre sensores, PIC y Computadora.	76
43	Fuente de Alimentación	78
44	Presentación del menú principal, para el software del dinamómetro de inercia.	80
45	Ventana para el ingreso de datos del cliente.	84
46	Gancho Inductivo y conexión del gancho inductivo al motor en prueba.	85
47	Primera ventana en la opción de Medición.	85
48	Ventana Cuadros Digitales, medición potencia y torque.	90
49	Ventana Gráfica HP vrs RPM, medición potencia y torque	93
50	Resultados sobre la medición de Potencia y Torque, según datos guardados en base de datos. Ventana de Cuadros Digitales.	94
51	Resultados sobre la medición de Potencia y Torque, según datos guardados en base de dato. Ventana de Grafica HP vrs RPM.	95
52	Ventana Factor de Corrección, ingreso de datos.	97
53	Ventana Configuración Dinamómetro.	100
54	Ventana configuración de impresora.	101

TABLAS

I	Características dinamómetro de inercia, rodillo doble.	37
II	Características dinamómetro de inercia, rodillo simple.	39
III	Rango de voltajes en cada etapa del circuito dependiendo de la presión medida.	60
IV	Características del Microcontrolador PIC 16F877	67
V	Descripción de pines para PIC 16F877.	72
VI	Costos Tacómetro Óptico.	104
VII	Costos Tacómetro inductivo.	104
VIII	Costos sensor de temperatura ambiente.	105
IX	Costos sensor de presión atmosférica.	105
X	Costos sensor de humedad relativa.	106
XI	Costos Interconexión Sensores y Computadora.	106
XII	Costos fuente de poder.	106
XIII	Costos gastos varios.	107
XIV	Resumen de costos dispositivos electrónicos.	107
XV	Costos Software para dinamómetro de inercia.	108
XVI	Costos estructura mecánica, dinamómetro de inercia.	109
XVII	Resumen total de costos.	109

LISTA DE SÍMBOLOS

Símbolo	Significado
Ω	Unidad del Sistema Internacional de unidades empleada para medir la resistencia eléctrica
α	Aceleración angular
ω	Velocidad angular, o velocidad del motor del vehiculo.
\$	Dólares americanos
μ	Prefijo del Sistema Internacional de Unidades equivalente a 1×10^{-6}
a	Aceleración linear
Di	Diámetro interior del rodillo de inercia
Do	Diámetro exterior del rodillo de inercia
F	Fuerza
G	Ganancia
Hz	Hercio es la unidad de frecuencia del Sistema Internacional de Unidades
I	Inercia rotatoria
kPa	Kilo Pascales
L	Longitud del rodillo de inercia
m	Masa
msnm	Metros sobre el nivel del mar
p	Potencia
P_{actual}	Presión Barométrica durante funcionamiento del dinamómetro
P_{ref}	Presión barométrica de referencia (101.32 kPa)
r	Radio
t	Tiempo
T	Torque

Temp_{actual}	Temperatura ambiente actual
Temp_{ref}	Temperatura ambiente de referencia (25 °C)
T_{medido}	Torque medido
T_{normalizado}	Torque normalizado
V	Voltaje
V_{cc}	Voltaje de alimentación
V_{dc}	Voltaje de corriente directa.
Vol	Volumen
V_{pp}	Voltaje pico a pico
π	Constante matemática (pi), generalmente 3.14159
ρ	Densidad

GLOSARIO

Altitud	Es la distancia vertical de un objeto respecto de un punto origen dado, considerado como nivel cero, para el que se suele tomar el nivel absoluto del mar.
Amplificado de instrumentación	Es un dispositivo creado a partir de amplificadores operacionales. Está diseñado para tener una alta impedancia de entrada y un alto rechazo al modo común, se coloca en la etapa de entrada de un instrumento electrónico, se utiliza para aumentar la sensibilidad del circuito
Amplificador no inversor	Configuración de un amplificador operacional, de tal forma que la señal de salida solamente se vea afectada por la ganancia G y mantenga su polaridad de entrada.
Amplificador operacional	Es un circuito electrónico (normalmente se presenta como circuito integrado) que tiene dos entradas y una salida. La salida es la diferencia de las dos entradas multiplicada por un factor (G).
CAD	Convertidor Análogo Digital
COM1	Referencia al puerto serial número 1, para uso externo en una computadora.
Chumacera	Pieza de metal, en la que descansa y gira cualquier eje de maquinaria.

Diferencial	En un vehículo es el encargado de compensar la diferencia de velocidad de giro que han de desarrollar las ruedas del mismo eje tracción.
Dinamómetro	Equipo que se utiliza para la medición de la potencia del vehículo.
EEPROM	Son las siglas de <i>electrically-erasable programmable read-only memory</i> (ROM programable y borrable eléctricamente) Es un tipo de memoria ROM que puede ser programado, borrado y reprogramado eléctricamente, a diferencia de la EPROM que ha de borrarse mediante rayos ultravioletas
Efecto piezoresistivo	Efecto que describe el cambio de la resistencia eléctrica debido a la tensión mecánica aplicada.
Embrague (<i>clutch</i>)	Mecanismo para la transmisión de la rotación del motor hacia la transmisión del vehículo.
Fototransistor	Es un transistor sensible a la luz, normalmente a los infrarrojos. La luz incide sobre la región de base, generando portadores en ella. Esta carga de base lleva el transistor al estado de conducción. El fototransistor es más sensible que el fotodiodo por el efecto de ganancia propio del transistor.

Fuerza electromotriz inducida (fem)	Es toda causa capaz de mantener una diferencia de potencial entre dos puntos de un circuito abierto o de producir una corriente eléctrica en un circuito cerrado.
Histéresis	Es la tendencia de un material a conservar una de sus propiedades, en ausencia del estímulo que la ha generado.
Humedad relativa	Es una medida para ver que tan húmedo está el aire. La cantidad de agua que puede contener el aire está determinada por la temperatura.
Karts	Es el tipo de vehículo de carreras, provisto de un chasis liviano, monoplaça, y motor en la parte posterior. Dadas sus características, es el primer vehículo de los pilotos de competición cuando son niños (a partir de los 10 años).
Microcontrolador PIC	Circuito integrado o chip que incluye en su interior las tres unidades funcionales de un ordenador: CPU, Memoria y Unidades de E/S, es decir, se trata de un computador completo en un solo circuito integrado. Aunque sus prestaciones son limitadas.
Monoilítico	Sistema de un solo núcleo
Oscilador	Es un circuito que es capaz de convertir la corriente continua en una corriente que varía de forma periódica en el tiempo

PC	Siglas que en ingles significa <i>Personal Computer</i> o Computadora Personal. Termino genérico utilizado a veces para referirse a todas las computadoras.
Plato de presión (<i>pressure plate</i>)	Es el disco o plato que sirve para accionar el embrague.
Presión atmosférica ó barométrica	Es la presión ejercida por el peso del aire dentro de la atmósfera, dicha presión esta relacionada con su densidad. También se conoce como biométrica debido a los instrumentos (barómetros) con los que se mide.
Quads	Vehiculo de cuatro ruedas, parecido a una moto.
RAM	Es el acrónimo inglés de <i>Random Access Memory</i> (memoria de acceso aleatorio). Se trata de una memoria de semiconductor en la que se puede tanto leer como escribir información. Es una memoria volátil, es decir, pierde su contenido al desconectar la energía eléctrica.
RPM	Revoluciones por minuto.
RS-232	Es una interfaz que designa una norma para el intercambio serie de datos binarios entre un DTE (Equipo Terminal de datos) y un DCE (<i>Data Communication Equipment</i> ,). Sus niveles de lógicos están definidos entre + 3 a + 25V para el estado L (bajo) y de -3 a -25 para el estado H (alto).

Sistema de ignición	Es el sistema que utilizan los motores de combustión interna para dar comienzo a la ignición del combustible, dicha forma es a través de una chispa.
SOFTWARE	Se denomina software a todos los componentes intangibles de un ordenador o computadora, es decir, al conjunto de programas y procedimientos necesarios para hacer posible la realización de una tarea específica. Esto incluye aplicaciones informáticas para usos específicos.
Tacómetro	Del griego, tachos = velocidad y metron = medida, es un dispositivo para medir la velocidad de giro de un eje, normalmente la velocidad de giro del motor, se mide en Revoluciones Por Minuto (RPM).
Termoencogible	Es un tubo de película plástica de color oscuro que encoge por el calor.
Transmisión (driveline)	Parte mecánica del vehículo, que transmite la potencia rotatoria proveniente del motor a las ruedas del vehículo.

TTL

Acrónimo Inglés de *Transistor-Transistor Logic* o "Lógica Transistor a Transistor". Tecnología de construcción de circuitos electrónicos digitales, en los que los elementos de entrada de la red lógica son transistores, así como los elementos de salida del dispositivo. Su tensión de alimentación característica se halla comprendida entre los 4,75 V y los 5,25 V como se ve un rango muy estrecho debido a esto, los niveles lógicos vienen definidos por el rango de tensión comprendida entre 0,2 V y 0,8 V para el estado L (bajo) y los 2,4 V y V_{cc} para el estado H (alto).

**Volante del motor
(*flywheel*)**

Rueda de acero que sirve para acoplar el motor del vehículo con las diferentes partes mecánicas para poder hacer girar las ruedas del vehículo. Donde el motor del vehículo entrega la potencia neta sin pérdidas.

RESUMEN

A continuación se presenta el diseño para el control electrónico de un dinamómetro de inercia computarizado, y un análisis económico para la implementación.

Se da a conocer los tipos de dinamómetros, las partes que lo conforman, se muestran estructuras mecánicas para dinamómetros con rodillos y los cálculos necesarios para determinar la capacidad de medición del dinamómetro con respecto a las dimensiones de los rodillos.

En el diseño electrónico se presentan los circuitos necesarios para la medición de la potencia generada por el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro. El control electrónico del dinamómetro está compuesto por los módulos: Tacómetro Óptico, Tacómetro Inductivo, Medidor de Temperatura Ambiente, Medidor de Presión Atmosférica, Medidor de Humedad Relativa e Interfase de conexión con la computadora. Por medio de estos módulos se logra realizar las mediciones necesarias para que un software instalado en la computadora pueda recopilar las lecturas de cada módulo, e interpretarlas para su presentación en la pantalla del monitor.

Se presenta un resumen de gastos aproximados para la implementación del dinamómetro de inercia, tanto en la parte mecánica, electrónica como el software necesario para el funcionamiento, se realiza una comparación entre el monto necesario para la implementación y el tiempo de recuperación del capital de tal forma que se pueda evaluar la factibilidad para la implementación del dinamómetro de inercia.

OBJETIVOS

- **General**

Realizar el diseño del control electrónico para un dinamómetro de inercia, que sea capaz de medir y desplegar por medio de una pantalla de computadora la medida instantánea de la potencia en las ruedas de un vehículo. Realizar un estudio de gastos necesarios en la construcción para determinar la factibilidad de la implementación del dinamómetro de inercia computarizado.

- **Específicos**

1. Dar a conocer el dinamómetro como herramienta para la medición de la potencia de las ruedas de un vehículo, así como los diferentes tipos de dinamómetros que existen y las diferentes aplicaciones que puedan tener.
2. Dar a conocer una estructura mecánica que se acople a las necesidades del dinamómetro de inercia, presentado los cálculos necesarios de las piezas mecánicas como medidas, pesos, tipos de material y otras especificaciones, que determinen la capacidad de medición sobre los rodillos del dinamómetro de inercia.

3. Diseñar una estructura electrónica que será la encargada de la adquisición de datos para poder medir la potencia generada por el vehículo en el dinamómetro, utilizando diferentes herramientas de medición como: Tacómetro Óptico para medir las RPM de los rodillos del dinamómetro, Tacómetro Inductivo para medir las RPM del motor en el vehículo, Sensores ambientales y poder transmitir estos datos hacia una computadora por medio de un puerto serial. Utilizando un microcontrolador PIC, para el control de las señales entre los diferentes circuitos que se utilizan para las mediciones y la comunicación hacia la computadora.
4. Dar a conocer un software que sea capaz de tomar lecturas de datos por el puerto serial de la computadora e interactuar con la estructura electrónica, para luego procesar los datos obtenidos y mostrarlos sobre la pantalla de la computadora en tiempo real mediante diferentes gráficas y curvas. Así como también llevar una base de datos por vehículo o cliente sobre las pruebas realizadas para futuras comparaciones.
5. Realizar un estudio económico del proyecto, en el cual se tomarán en cuenta todos los gastos necesarios, para poder implementar el dinamómetro, así como también, el tiempo que tomará recuperar la inversión del mismo, de tal forma que, se pueda verificar la factibilidad de la implementación del dinamómetro de inercia.

INTRODUCCIÓN

Existen diferentes tipos de dinamómetros para aplicaciones automotrices, y aunque cada uno de ellos se diseña para satisfacer necesidades específicas, también muestran características semejantes entre sí. Por ejemplo, un dinamómetro para motores, es capaz de simular la carga del motor como si éste estuviese montado en un vehículo, y de esta manera conocer el desempeño de dicho motor. Un dinamómetro de chasis o de rodillos permite hacer pruebas directamente con vehículos; las ruedas motrices se hacen girar sobre los rodillos, para simular el comportamiento de dicho vehículo en la vía pública, calles, avenidas y autopista, o únicamente medir la potencia generada a través de un dinamómetro de inercia con rodillos. Cada uno de estos equipos atiende necesidades muy específicas, pero hay un punto de convergencia entre todos ellos: se busca medir parámetros que describen el comportamiento del motor, y principalmente para objetivos de automoción, porque es el caso más general y el que demanda muchas más variantes de funcionamiento.

En este caso, el dinamómetro de inercia con rodillos es el que nos interesa, el cual permite realizar mediciones sobre la potencia que puede generar un vehículo en las ruedas motrices. De tal forma que se pueda determinar las condiciones del vehículo con respecto a las especificaciones del fabricante.

El dinamómetro de inercia con rodillos tiene varias ventajas, y una entre las más importantes es que no hay necesidad de separar el motor del vehículo, lo cual simplifica tanto el procedimiento de prueba como el ambiente requerido para soportar la prueba.

1. DEFINICIÓN DEL EQUIPO

1.1 Qué es un dinamómetro

La palabra Dinamómetro está compuesta por dos palabras básicas. La primera parte, *dinamo* que viene de una palabra griega que significa potencia en movimiento. La segunda parte, que viene de la palabra, *metro* también viene de una palabra griega y quiere decir medir. Para los propósitos de este trabajo de graduación un dinamómetro puede describirse mejor como "una máquina que mide la potencia durante el movimiento".

Los dinamómetros son máquinas usadas para medir la energía de un motor. El torque de un motor se determina específicamente mediante un sistema complejo de la absorción y de la reacción.

Los componentes básicos de un dinamómetro son el marco, montajes de motor, la unidad de la absorción que es generalmente una cierta clase de rodillo o de tambor y el aparato de medición del torque (esfuerzo de torsión).

Según sea la clasificación de los dinamómetros hay algunos que necesitan de frenos de agua o de aceite, estos son necesarios para ciertos tipos de dinamómetros, ya que proporcionan resistencia y la absorción apropiada para la medición.

Los motores se enganchan hasta los dinamómetros de varias formas según su funcionamiento o tipo. El dinamómetro simula condiciones reales

permitiendo que el motor funcione en intervalos largos y en los niveles máximos sin tener el vehículo en movimiento.

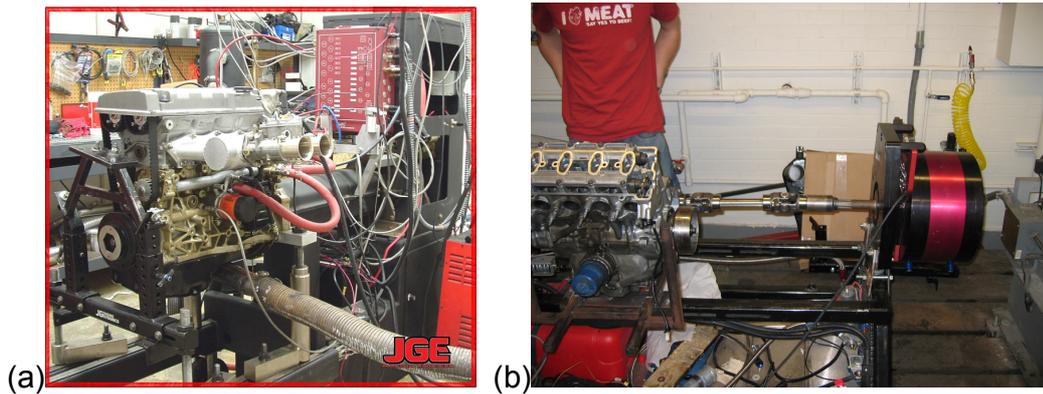
La industria auto comercial confía en el uso de dinamómetros en el desarrollo y la prueba de sus motores. Los que se especializan en la reconstrucción y el arreglo, según requisitos particulares de motores también utilizan los dinamómetros extensivamente. Los fabricantes y los diseñadores de vehículos de alto rendimiento tales como vehículos y motocicletas de carreras utilizan los dinamómetros por razones similares como la industria auto comercial, y también los utilizan como parte del proceso de la recalibración de un motor que se ha utilizado en ambientes de carrera.

Los dinamómetros también se utilizan en algunas ocasiones en la prueba de otro tipo de motor de combustión interna, usado para propósitos industriales tales como motores en bombas de agua y los tractores móviles de tierra.

La mayoría de los dinamómetros modernos son controlados mediante una computadora y permiten que el operador seleccione los puntos y la gama de las velocidades a las cuales medirá el torque del motor.

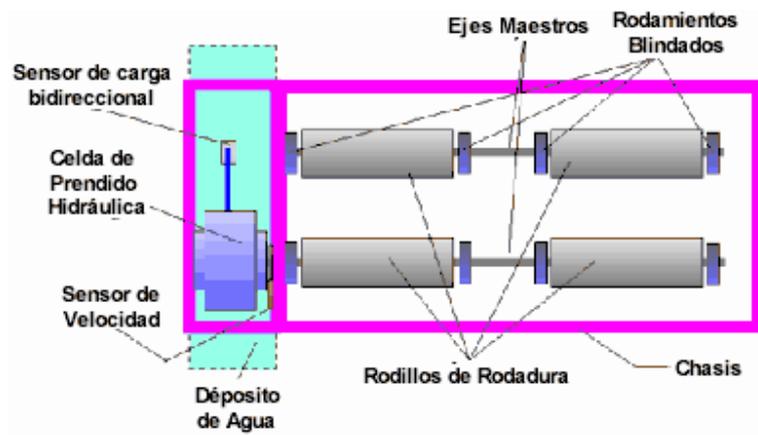
Los caballos de fuerza y otras medidas se leen hacia fuera directamente en tiempo real y en base a estos datos se calcula el torque.

Figuras 1a y 1b. **Dinamómetros de motor.**



Fuente: (a) <http://www.jgenginedynamics.com>,
(b) <http://www.andrew.cmu.edu/user/mbwasser>

Figura 2. **Dinamómetro de Chasis.**



Fuente: <http://www.dinamotor.com.ar/dinamometro>

1.1.2 Qué mide un Dinamómetro

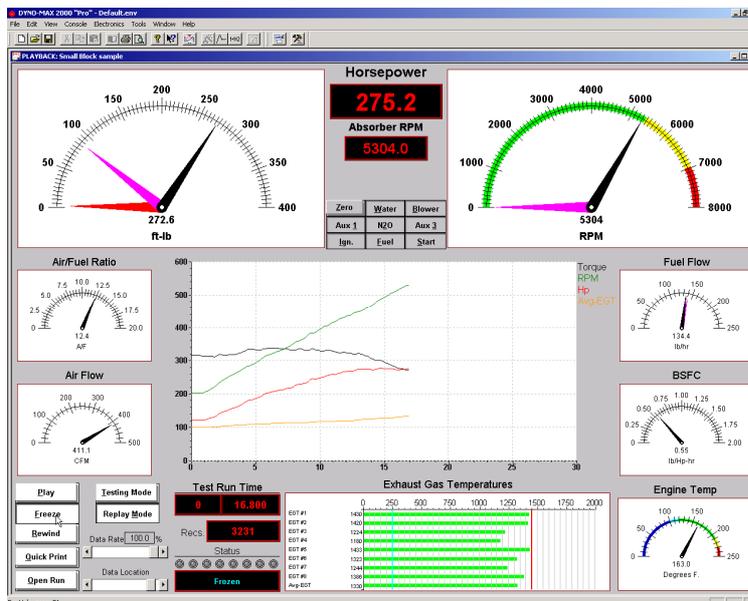
Cualquier dinamómetro mide torque y velocidad, a partir de allí se calcula la potencia. El torque puede medirse en pie-libra o metros Newton. Si nosotros

medimos el torque en el disco o tambor de las ruedas del automóvil, lo multiplicaremos el resultado por las RPM para obtener la potencia.

En un dinamómetro de chasis apropiado medimos el torque en los rodillos del dinamómetro y lo multiplicamos por la velocidad a la que va en ese instante el motor del vehículo. En términos de velocidades del vehículo, si usamos tercera el torque será mayor que si usamos cuarta pero la velocidad será más baja. Si utilizamos cuarta la velocidad será mayor pero el torque será más bajo. Teóricamente la potencia debe ser la misma.

Una vez que hemos medido el torque y lo multiplicamos por la velocidad obtenemos la potencia. La potencia se expresa en caballos de fuerza o kilovatios. Dado que la potencia es el torque en términos de velocidad, si un vehículo genera mayor potencia a una velocidad específica, debe por lo tanto generar mayor torque en el mismo punto.

Figura 3. Despliegue de las mediciones realizadas por el dinamómetro.



Fuente: www.autoshoppingcenter.com

Los dinamómetros sirven para dos propósitos básicos. Pueden utilizarse como una forma de medir la potencia de un vehículo o bien como una herramienta de afinación. Un vehículo sólo puede afinarse adecuadamente en un dinamómetro de carga.

1.2 Tipos de dinamómetros

Hay dos tipos básicos de dinamómetros a conocer: el dinamómetro de motor y el dinamómetro de chasis, a partir de estos se definen diferentes tipos según la aplicación.

El dinamómetro de motor se acopla directamente al volante del motor (*flywheel*), por lo que el motor debe ser extraído del vehículo, este método requiere de adaptadores especiales para realizar el acoplamiento, aparte del tiempo que conlleva para realizar la medición.

Los dinamómetros de chasis, por otro lado, se diseñaron para medir la potencia en las ruedas. Este tipo de dinamómetro es más sencillo en su medición ya que cuenta con un rodillo donde se montan las ruedas del vehículo o un adaptador que se acopla directamente al tambor de las ruedas del vehículo para realizar la medición según sea su aplicación.

Los dinamómetros en general, según su aplicación se clasifican de la siguiente forma:

- **Dinamómetros de motor**
- Dinamómetro de motor para propósitos en general
- Medidores de torque.

➤ **Dinamómetros de Chasis**

- Dinamómetros de freno o carga con rodillos
- Dinamómetros de freno o carga sin rodillos
- Dinamómetros de Inercia.

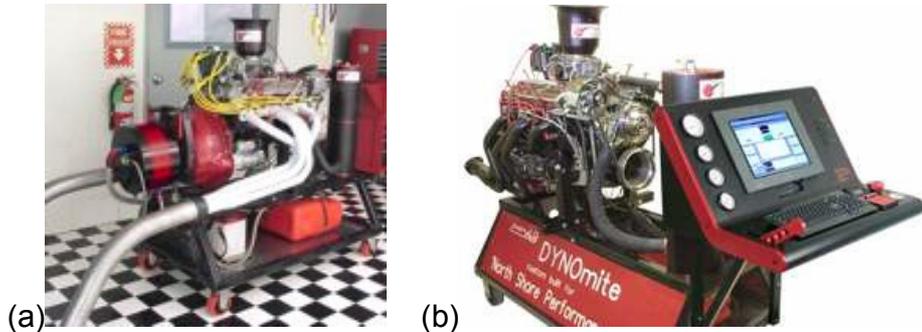
1.2.1 Dinamómetros de motor

Este tipo de dinamómetros es usado tanto para motores conectados directamente al equipo de medición, en una maquina en la cual se engancha directamente el motor que se desea medir, los departamentos de investigación, desarrollo y talleres automotrices utilizan este estilo de prueba las cuales se realizan sin estar dentro del vehículo. Dicho sistema de prueba es capaz de simular una carga al motor como si estuviera funcionando instalado en un vehículo.

1.2.1.1 Dinamómetro de motor para propósitos en general

Este tipo de dinamómetros es usado tanto para motores diesel y gasolina, el dinamómetro de motor para propósitos en general normalmente mide la potencia directamente del volante del motor (*flywheel*) para lograr la más alta exactitud: No existe ninguna transmisión o pérdidas de la transmisión (*driveline*) que influyen en los resultados. Es posible tener un control muy bueno sobre todos los parámetros de la prueba y las condiciones de la prueba para una mejor repetición. El acceso al motor para la instalación de sensores o para los ajustes y cambios, son fáciles de realizar con este tipo de dinamómetro.

Figura 4a y 4b. **Dinamómetro de Motor para propósitos en general.**



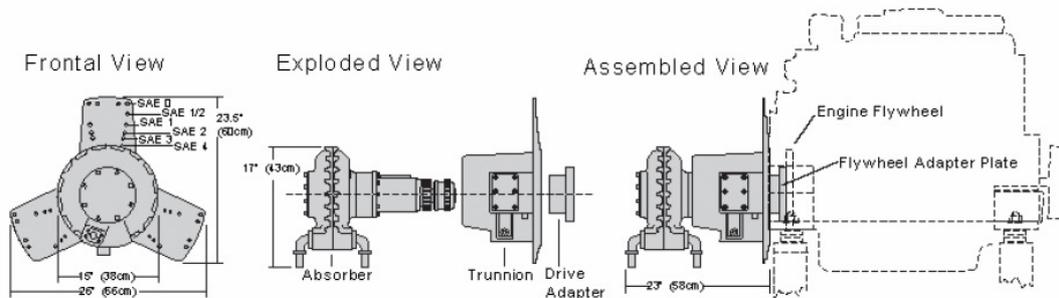
Fuente: (a) <https://shop.sae.org/automag/features/testing>, (b) <http://www.land-and-sea.com>

Medir el desempeño del motor en un dinamómetro de motor requiere quitar el motor del vehículo, además de tomar en cuenta que hay que agregar todos los sistemas auxiliares para apoyar el motor al dinamómetro para su funcionamiento sin embargo: El suministro de combustible, suministro eléctrico, extracto de la descarga, el flujo de aire para el enfriamiento y la combustión, control de enfriamiento, variación de la aceleración, etc., son servicios necesarios para la prueba del motor.

Los dinamómetros de motor se usan típicamente para:

- La investigación y desarrollo del motor.
- Mejorar la afinación del motor.
- Fiabilidad y comprobación de las pruebas.
- Medida exacta del rendimiento del motor.
- Motores estacionarios.

Figura 5. **Dinamómetro de Motor, acoplamiento del dinamómetro con el motor para la medición.**

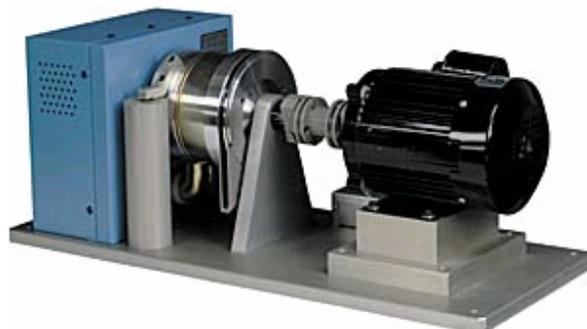


Fuente: <http://www.taylordyno.com/img>

1.2.1.2 Medidor de Torque

Funcionan de la misma forma que los dinamómetros de motor para propósito en general básicamente, pero se diseñan para probar el torque de dispositivos mecánicos más pequeños con excepción de los motores de ignición. Los dispositivos tales como destornilladores, motores eléctricos y otros tipos que necesitan un preciso torque comprobado para asegurar la calidad de su funcionamiento.

Figura 6. **Medidor de Torque.**



Fuente: <http://www.magtrol.com/motortesting>

1.2.2 Dinamómetros de chasis

Es uno de los principales tipos de dinamómetros, que existen en el mercado. Estas máquinas son las más comunes para las pruebas de afinación y medición de potencia.

1.2.2.1 Dinamómetros de freno o carga con rodillos

El dinamómetro de carga tiene un freno ligado a un rodillo o un sistema de freno de disco adaptado mecánicamente a los rodillos, para así lograr mantener al vehículo a una velocidad específica, con este estilo de dinamómetro el vehículo puede manejarse y puede afinarse a velocidades constantes bajo varias condiciones de carga. Ésta es la única forma de afinar un vehículo adecuadamente, sobre todo para condiciones de carga parcial normales.

Los frenos que se utilizan tienden a calentarse en el proceso de medición, para evitar este recalentamiento utiliza un bombeo de aceite o agua para el enfriamiento del freno, lo que hace que este tipo de dinamómetros sea un poco más sofisticado por el tipo de freno que necesita además tiende a necesitar recalibración del freno frecuentemente.

Los dinamómetros de freno o carga necesitan de una calibración periódica ya que los frenos tienden a tener desgaste y varían la carga que se le aplicara a los rodillos, esta calibración puede ser cada mes dependiendo del uso que se de al dinamómetro, además también necesitan de una verificación del funcionamiento por lo menos cada dos semanas dependiendo su uso.

Figura 7. Dinamómetro de Chasis con rodillos, sistema de frenado.



Fuente: www.bankspower.com

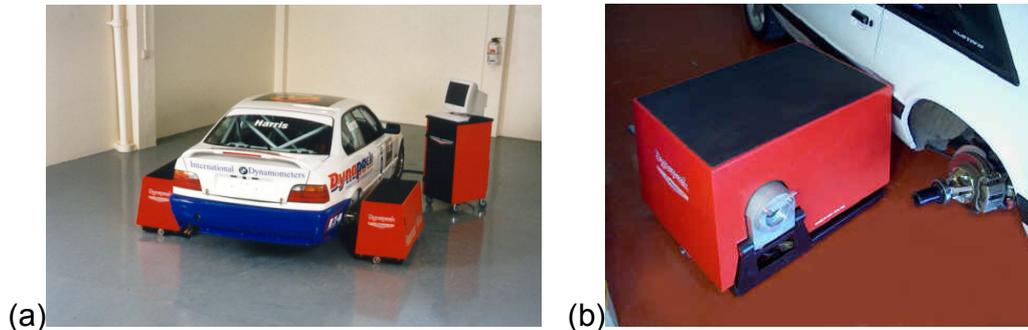
La calibración consistirá en el procedimiento recomendado por el fabricante más una determinación de la absorción friccionan de la energía del dinamómetro.

La verificación del funcionamiento consiste en conducir desde una desaceleración del dinamómetro en unos o más ajustes de los parámetros inercia-caballos de fuerza y el hacer la comparación del tiempo de la desaceleración y el tiempo registrado durante la calibración pasada. Si los tiempos de la desaceleración diferencian por más de 1 s, se requiere una nueva calibración

1.2.2.2 Dinamómetros de freno o carga sin rodillos

Estos son sistemas que se adaptan directamente a los tambores o discos del vehículo, para esto es necesario retirar las ruedas del vehículo, utilizan diseños excluidos de los diferentes fabricantes para poder realizar la medición de torque a base de engranajes.

Figura 8a y 8b. **Dinamómetro de freno o carga sin rodillos, acoplamiento directo al tambor o disco del vehículo.**



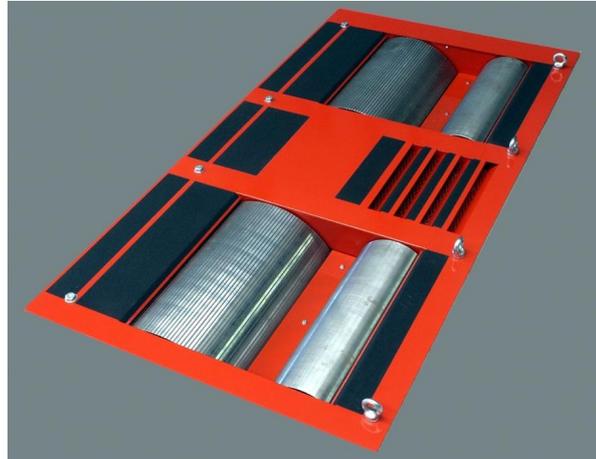
Fuente: <http://www.dynapackusa.com/images>

1.2.2.3 Dinamómetros de inercia

Un motor genera la potencia en el volante del motor (*flywheel*) que se transfiere a la caja de velocidades a través de un clutch y del plato de presión (*pressure plate*). La caja de velocidades transfiere la potencia a su vez al diferencial que de nuevo impulsa los ejes (*drive-shafts*) que se acoplan a las ruedas. Todos estos dispositivos absorben parte de la potencia y como resultado, la potencia que llega a las ruedas es substancialmente menor de la que llega al volante del motor. La potencia en las ruedas es lo que determinará el desempeño del vehículo.

El dinamómetro de inercia se está convirtiendo en el tipo más extensamente usado para las pruebas o mediciones de torque en la industria de automóviles de competencia. La inercia del rodillo se mide como una variable de la velocidad al torque calculado de los rodillos. Esto revela que tan rápidamente un motor dado pueda acelerar con una inercia rotatoria conocida a partir de entre una RPM y otra. Estos datos proporcionan resultados reales exactos, mientras que se pueden manejar las variaciones de la velocidad del motor.

Figura 9. **Dinamómetro de inercia con doble rodillo.**



Fuente: <http://www.dynologic.com.au/images>

Los dinamómetros de inercia tratan sobre la base de que el vehículo se maneja con el acelerador a fondo en cuarta desde una velocidad baja. Entonces se mide qué tan rápido el vehículo acelera los rodillos y a partir de allí se determina la potencia.

Si se utiliza adecuadamente un dinamómetro de inercia puede utilizarse no solamente como un indicador de potencia con el acelerador a fondo.

Figura 10. **Dinamómetro de inercia con doble rodillo, en funcionamiento.**



Fuente: http://www.factorypro.com/images/dyno_assembly

1.2.3 Ventajas y desventajas entre el dinamómetro de carga o frenado y el de inercia

Mientras que existen en el mercado diversos tipos de dinamómetro sólo dos son relevantes, el dinamómetro de motor y el dinamómetro de chasis, dentro de la clasificaciones del dinamómetro de chasis tenemos el dinamómetro de freno o carga y el dinamómetro de inercia, en algunos casos pueden ser ambos en al mismo tiempo.

Ventajas y desventajas de un sistema de dinamómetro moderno de frenado automatizado:

- El operador pueden variar la carga para poder sostener el motor a las velocidades constantes mientras que los parámetros tales como la ignición y provisión de combustible se pueden ajustar a los valores óptimos en diversas aberturas de la válvula reguladora del estado constante.
- Desafortunadamente la mayoría de los dinamómetros frenados o de carga tienden a utilizar los rodillos duales en cada rueda. Éstos "atrapan" el neumático, causando deslizamiento, calor, pérdidas de HP o variaciones, y pueden causar problemas al neumático. Un solo rodillo por rueda de un diámetro de 16 pulgadas o mayor podría mejorar en su desempeño.

- Pueden ser peligrosos cuando se tiene un rendimiento muy alto en el motor, al haber inyectado en cantidades grandes nitroso, o al haber templado dos motores del tipo del movimiento mientras que están ya en el borde de la detonación y del daño por calor. Esto depende sobre todo de la experiencia del operador.
- Debido al hecho de que el dinamómetro puede ser calibrado, y en necesidad del hecho de ser calibrado puede que nunca será totalmente exacto.
- Debido al hecho que los rodillos no son exactos o pueden tener una pequeña variación en el tamaño, y porque generalmente utilizan el freno accionado por medio de una señal de voltaje de c.c., para determinar la potencia del rodillo (el torque x RPM), que en si mismo esta señal tiene un nivel de Histéresis, adicionalmente este nivel de voltaje puede variar por variaciones en las resistencias debido a las temperaturas, errores la conversión análoga – digital.

Ventajas y desventajas de un sistema de dinamómetro de inercia automatizado moderno:

- No se requiere de calibración siempre y cuando sea el diseño correcto para el dinamómetro de inercia. Los valores de inercia deben ser calculados matemáticamente, la densidad del acero y las medidas deben ser exactas e integrar estos datos directamente al software para una buena medición.
- No existen parámetros externos que el usuario pueda modificar para alterar la calibración o medición.

- En comparación de los sistemas de freno o carga no existen variaciones de Histéresis por el desgaste de los frenos.

1.3 Componentes de un dinamómetro

Básicamente un dinamómetro se compone de diferentes elementos según su aplicación pero en general son los siguientes:

- Rodillos
- Chasis del dinamómetro
- Freno
- Ventiladores
- Extractor de gases
- Sistema de Adquisición de Datos
- Computadora

1.3.1 Rodillos

Son los elementos en los que se sientan las ruedas de los vehículos para que puedan girar, estos transmiten la energía al freno en la caja de dinamómetros frenados, son una de las partes mas importantes del dinamómetro y de las que se debe de tener mayor cuidado con la exactitud a la hora de la construcción, ya que en base a sus medidas se calcula la inercia de estos y debe de ser constante para que no afecten las mediciones.

Estos pueden variar sus medidas dependiendo del diseño del dinamómetro como también del tipo y la capacidad que tenga en medir los HP, generalmente son sólidos pesados de acero inoxidable.

Figura 11. Rodillos de un dinamómetro.

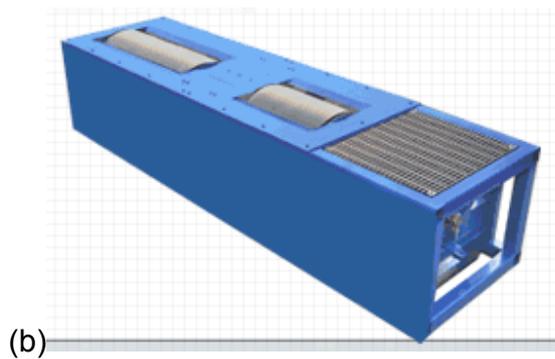
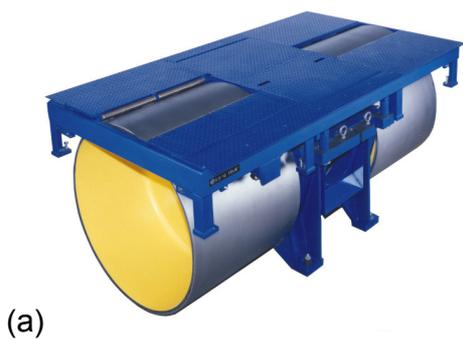


Fuente: <http://zgr.com/r/realtimedyno>

1.3.2 Chasis del dinamómetro

Básicamente consiste apenas de un marco de metal que apoya los montajes del rodillo o del tambor, y forma el lazo entre el vehículo y los demás accesorios como ventiladores, extractores etc.

Figura 12a y 12b. Chasis del dinamómetro.



Fuente: (a) <http://www.goklc.com/images>, (b) <http://www.performanceplus.com/Qstore>

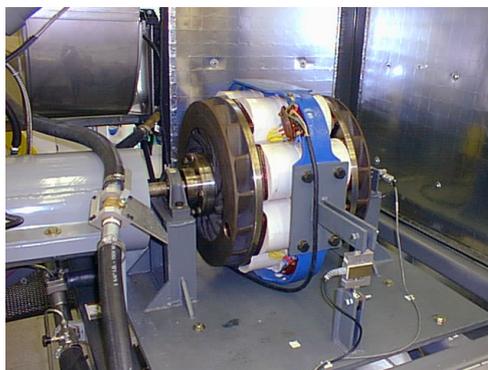
1.3.3 Freno o carga

El freno o sistema de carga, es el que nos servirá para simular las diferentes condiciones de caminos por las cuales podamos conducir nuestro vehículo y así saber que potencia debería de estar entregando o el desempeño que el vehículo debería de tener.

Un buen sistema de freno debe de ser capaz de variar su carga que ejerza al vehículo en una amplia gama para que así se pueda simular desde un carretera sin pendiente hasta una carretera con la pendiente que nosotros deseemos medir.

En la mayoría de los sistemas modernos estos son generalmente frenos eléctricos, situados junto a los rodillos que hacen girar las ruedas del vehículo, estos frenos eléctricos generan electricidad la cual a la vez se utiliza para generar la carga. Los sistemas que utilizan como freno un disco utilizan un sistema de enfriamiento a base de agua o aceite y por lo general se encuentran adaptados a los rodillos por otros sistemas mecánicos como fajas y poleas.

Figura 13. **Sistema de freno o carga para el dinamómetro de chasis.**



Fuente: <http://www.cs.wright.edu/people/faculty>

1.3.4 Ventiladores

Estos son equipo esencial, para no sólo evitar que el vehículo sufra de "recalentamiento" sino que también deben de proporcionar bastante aire simulando el que recibe el vehículo cuando se maneja por la carretera, además proporcionan suficiente aire para que funcionen los extractores de gases y calor.

Sin un buen sistema de ventilación cuando el dinamómetro se encuentra instalado en un cuarto las mediciones pueden variar así como también se elevaría en forma dramática la temperatura del motor pudiendo así dañarse el mismo.

Además de los ventiladores para el vehículo se necesitan unos extras si es que el dinamómetro se encuentra instalado en un cuarto cerrado esta ventilación puede ser a base de ventiladores o algunas ventanas que proporcionen aire extra, ya que el motor y el extractor de gases pueden variar los niveles de aire y oxígeno dentro del cuarto, también son necesarios debido a que la presión dentro de los cuartos puede variar y así variar la medición que estemos realizando.

Figura 14. **Sistema de ventilación, al momento de la prueba con el dinamómetro.**

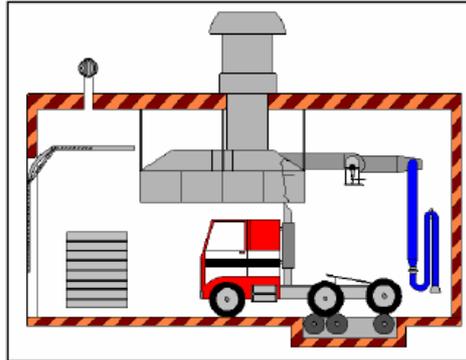


Fuente: <http://www.elsalvador.com/speed/2005/01/01/notas/fotos>

1.3.5 Extractor de gases

Es otro de los equipos esenciales cuando el dinamómetro se encuentra instalado en un cuarto de pruebas, ya que los gases que genera el vehículo cuando se encuentra en plena prueba pueden provocar a las personas que se encuentren dentro del cuarto de pruebas intoxicaciones, además el aumento de estos gases dentro del cuarto de pruebas o tener demasiada contaminación de otro tipo de gas llega a reducir la potencia de los motores y así alterar las pruebas.

Figura 15. **Sistema para extracción de gases en cuarto para pruebas, del dinamómetro de chasis.**



Fuente: www.taylordyno.com

1.3.6 Sistema de Adquisición de Datos

Esta formado por todas las partes electrónicas y mecánicas que se utilizan para poder transferir la información hacia la computadora, entre los principales elementos que lo componen son:

- *Medidor de Velocidad Angular:* Este medidor esta basando en un tacómetro óptico acoplado a uno de los rodillos, este debe tener la capacidad de medir los cambios instantáneos en las RPM de los rodillos siendo esta rapidez una determinante sobre la capacidad de medición del dinamómetro.

- *Medidor RPM Motor:* Este tipo de medidor puede ser del tipo gancho inductivo el cual mediante cual es un circuito magnético que al estar en presencia de un flujo de corriente eléctrica entrega una fuerza electromotriz inducida (fem). Se coloca el gancho inductivo en uno de los cables de las bujías del motor; cada vez que la bujía demande una corriente para proporcionar la energía requerida para la combustión, el gancho inductivo detectará el flujo de corriente y tendremos como respuesta un nivel de voltaje.
- Adicionalmente se pueden incluir medidores para tener como referencia la presión atmosférica, temperatura ambiente, humedad relativa y temperatura de ciertos elementos del motor.
- *Multiplexor de señales:* Este consiste en un circuito electrónico encargado de recibir todas las señales provenientes de los diferentes sensores o medidores y transferir una de ellas dependiendo de la selección hacia el Convertidor Analógico Digital.
- *Convertidor Analógico Digital:* Este recibe la señal proveniente del multiplexor de señales para ser convertida la señal analógica a digital y luego enviarla por la interfase de conexión hacia la PC (computadora) para que sea esta la que procese los datos recibidos de los diferentes medidores.
- Dependiendo las necesidades y el equipamiento de cada dinamómetro se puede incluir un banco analizador de gases para cinco gases: Oxígeno, O₂ (%); Monóxido de carbono, CO (%); Bióxido de carbono, CO₂ (%); Hidrocarburos, HC (ppm) y Óxidos de nitrógeno, NO_x (ppm). Este analizador se comunica de manera serial con la PC.

- Otro elemento que puede incluir este sistema es el control de la carga aplicada para los dinamómetros de carga o freno, este recibe señales de la PC en la cual se puede determinar la cantidad de carga aplicada para poder simular los carreteras o esquemas sobre el cual se desea conocer el comportamiento del vehículo.

1.3.7 Computadora

Un dinamómetro puede funcionar sin una de estas, pero por la gran cantidad de datos que se generan en tiempos tan cortos es necesario una computadora para que pueda procesar todos estos datos y así mostrarlos de una forma mas fácil de visualizar lo que esta sucediendo en tiempo real con el desempeño del motor o la potencia que esta entregando a las ruedas del vehículo.

Además que con la gran versatilidad que nos brindan las computadoras podemos sacarle mayor provecho al dinamómetro, ya que podemos guardar las mediciones registradas de cierto vehículo y luego compararlas con el mismo al momento de realizar reparaciones o modificaciones.

Figura 16. **Gabinete con computadora e impresora para dinamómetros.**



Fuente: <http://www.taylordyno.com/img>

2. ESTRUCTURA MECÁNICA DEL DINAMÓMETRO DE INERCIA

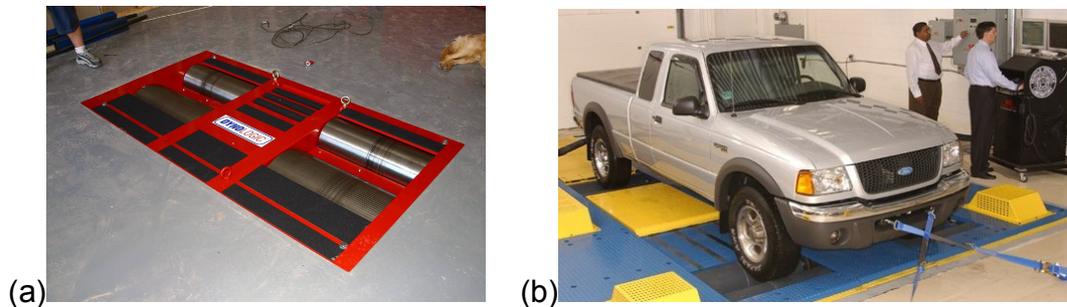
La estructura mecánica de un dinamómetro de inercia se compone esencialmente de:

- Rodillos
- Marco para los Rodillos
- Rampa (para lo que no son empotrados)

En algunos modelos de dinamómetro de inercia, se utiliza un disco de inercia, el cual está acoplado directamente al eje de los rodillos, con esto se logra que los rodillos no sean tan pesados y el cálculo se centra sobre el disco de inercia, para poder determinar el torque aplicado para mover todo el eje principal (rodillos y disco de inercia).

El dinamómetro de inercia puede estar empotrado en el piso del lugar de la prueba, este tipo no tiene necesidad de rampa, para este tipo de dinamómetro se necesita la ayuda de soportes en el piso para poder anclar el vehículo a estos soportes de tal forma que durante la prueba no se separe el vehículo de los rodillos de prueba.

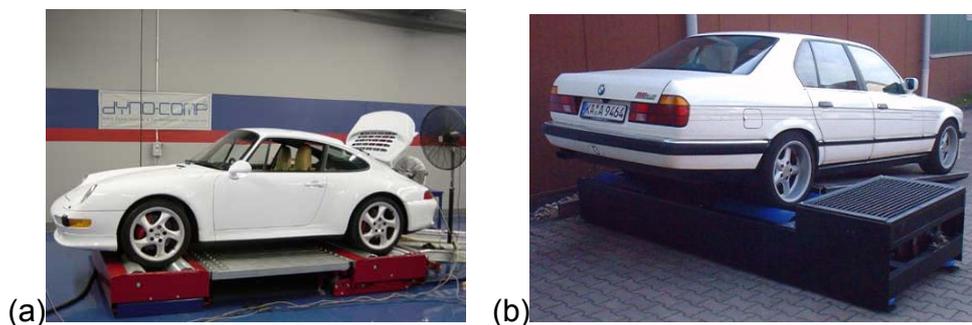
Figura 17a y 17b. **Dinamómetros de inercia, empotrados en piso.**



Fuente: (a) <http://www.dynologic.com.au/images>, (b) <http://www.1stdynamometers.com>

Para el tipo de dinamómetro que no va empotrado al piso, utiliza una rampa para montar el vehículo sobre los rodillos, esta rampa esta unida al marco de los rodillos, este tipo de dinamómetro se puede diseñar de tal forma que puede ser un móvil, es decir se puede transportar hacia las carreras de vehículos o cualquier evento donde se necesite realizar la prueba, de igual forma que con el dinamómetro que va empotrado al piso se utilizan soportes para ayudar a que el vehículo no se separe de los rodillos al momento de la prueba.

Figura 18a y 18b. **Dinamómetros de inercia, no empotrados al piso con rampa.**



Fuente: (a) <http://www.dynocomp.com>, (b) http://www.rollingroad.de/dyno_pics.

Dentro del marco están montados los rodillos, y sobre estos se montan las ruedas de los vehículos para realizar la medición. Sobre esta estructura se adaptan los sensores y equipo electrónico que se utiliza para la medición.

2.1 Tipos de Rodillos o Cilindros

Los dinamómetros de inercia se pueden construir con un rodillo simple o con doble rodillo por rueda, la diferencia entre uno y otro se define mas adelante, y generalmente esta asociado al diseño de cada dinamómetro y la capacidad de medición que se desea que este tenga.

Los rodillos son los componentes principales de un dinamómetro ya que en base a sus dimensiones podemos realizar la medición de la potencia en el dinamómetro, por lo tanto todas las características mecánicas como su peso y dimensiones deben tener una exactitud con un margen de error $\pm 0.5\%$, ya que en base a estos datos se debe calcular la inercia rotatoria del rodillo.

2.1.1 Calculo de Potencia en base a las características de los rodillos

A continuación se detallara el proceso matemático para el cálculo de la inercia rotatoria de los rodillos, y en base a esta se podrá calcular la potencia generada por el vehículo al momento de la prueba.

Un dinamómetro de inercia, mide que tan rápido puede un motor puede acelerar una inercia rotatoria conocida a partir de una RPM a otra. Esta es toda la información que se tiene para poder calcular la potencia que el motor produjo durante ese periodo de tiempo, dado que las RPM del motor pueden ser un dato conocido, para encontrar la potencia media que el motor produjo durante ese tiempo. Al tener una gran cantidad de intervalos de tiempo pequeños en la medición de las RPM, se puede producir una curva alisada del torque contra las RPM y de la potencia contra las RPM.

Partimos con la Segunda Ley de Newton que esta dada por la ecuación:

$$F = m * a$$

Ecuación 2.1.

La ecuación 2.1 nos indica que la fuerza es igual a la masa por la aceleración. Lo que nos indica que si conocemos la masa y podemos medir la aceleración podremos saber la fuerza que produciría el motor al momento de la medición.

La aceleración podemos calcularla en base a la diferencia de velocidad durante el periodo de tiempo que se necesite calcular.

Siempre que una fuerza aplicada actué sobre un objeto no se dirija a través del centro del objeto de la masa, el objeto se hará rotar, y esta rotación continuará acelerada mientras persista esta condición. Las leyes que gobiernan el movimiento rotatorio son paralelas a las leyes que gobiernan el movimiento rectilíneo. El torque substituye la fuerza, el momento de la inercia substituye la masa, y la aceleración angular substituye la aceleración lineal. Mientras que la velocidad se mide en términos de la distancia absoluta en el movimiento

rectilíneo, en el movimiento angular medimos velocidad en términos de grados de rotación por unidad del tiempo, que podemos llamar distancia angular.

$$T = I * \alpha \qquad \text{Ecuación 2.2.}$$

Donde el torque (T) es igual a la inercia rotatoria (I) por la aceleración angular (α). El torque es parecido a la fuerza como la inercia rotacional es a la masa. Pero combinada con la geometría de la parte rotatoria.

Para encontrar la inercia rotatoria de los cilindros nos podemos basar en la siguiente ecuación.

$$I = \frac{m}{2} r^2 \qquad \text{Ecuación 2.3.}$$

Para el cálculo de la masa se puede realizar en base al volumen por la densidad del material en que esta construido el rodillo o bien por la ecuación 2.4, la cual incluye las características geométricas del rodillos para el calculo.

$$m = \pi r^2 L \rho \qquad \text{Ecuación 2.4.}$$

Para el caso de los rodillos o cilindros que se utilizaran en el dinamómetro, se tomara la densidad (ρ) del acero, que es el material con que esta se fabricaran la mayoría de los cilindros para dinamómetro, aproximadamente 7800 Kg./m³.

Otra forma para determinar la masa de los cilindros es a través de una balanza.

Dos cilindros con la misma masa para pero uno con el doble de radio del otro, tendrá una inercia rotatoria cuatro veces mayor, es por esto que los rodillos se construyen anchos pero relativamente delgados.

Ejemplo 2.1: Si tenemos un rodillo con un diámetro de 217mm, y 350mm longitud. Tiene un agujero cortado al centro, 25.4mm de diámetro. Se construye a partir del acero el 4140, que tiene una densidad de 7900 kg/m³

$$Vol = \left(\pi \frac{1}{4} Do^2 L\right) - \left(\pi \frac{1}{4} Di^2 L\right) \quad \text{Ecuación 2.5.}$$

Utilizando la ecuación 2.4 y 2.5, al evaluar según los datos del ejemplo 2.1 tenemos:

$$Vol = 0.012766906 \text{ m}^3$$

$$m = 100.85 \text{ Kg.}$$

Para calcular la inercia rotatoria del cilindro, asumimos que es un cilindro sólido con un diámetro el 217mm, y 350mm de longitud sin el agujero, puesto que hay un eje que pasa a través del agujero que también se hace del acero.

Combinando la ecuación 2.3 para la inercia rotatoria tenemos:

$$I = \frac{m}{2} r^2$$

$$I = \left(\frac{1}{2} \rho \left(\pi \left(\frac{Do}{2} \right)^2 L \right) \right) \left(\frac{Do}{2} \right)^2$$

Entonces:

$$I = 0.60191283 \text{ kg m}^2.$$

La aceleración angular es análoga la aceleración lineal, y es igual al cambio de la velocidad angular con respecto al tiempo, esta dado por

$$\alpha = \frac{d\omega}{dt} \qquad \text{Ecuación 6.}$$

La velocidad angular (ω) es simplemente que tan rápido se da una vuelta, parecido a una RPM, o revoluciones por minuto. Se debe tomar en cuenta que 1 revolución = 6.28 radianes.

Si se conoce la inercia rotatoria del cilindro o rodillo de acero, y podemos saber que tan rápido cambia la velocidad angular de los rodillos de un tiempo a otro, podemos saber el torque que se aplica a los rodillos durante ese periodo de tiempo.

Ejemplo 2.2: Consideremos una prueba donde se tiene un vehículo que esta en marcha lenta haciendo girar los rodillos del dinamómetro a 1,000 RPM, luego comenzamos con la adquisición de datos y logramos medir con la computadora que al vehículo le tomo 0.28 segundos llevar los rodillos del dinamómetro de 2,000 a 2,250 RPM, entonces ¿Cuánto torque tuvo que aplicar el motor del vehículo para hacer girar los rodillos en esa gama de RPM?

Aumentar 250 RPM en 0.28 segundo es 892.85 rpm/sec. Así pues, $\alpha = 93.45$ radianes/sec².

Utilizando la ecuación 2.2 y los datos de la inercia del ejemplo 2.1, entonces tenemos:

$$T = 56.25 \text{ kg m}^2 / \text{sec}^2, \text{ o } 56.25 \text{ N m}$$

Dado que 1 N (newton) = 1 kg m/s².

Para calcular la potencia aplicada por el motor utilizamos la ecuación 2.7, para la velocidad del motor (ω), se utilizara el gancho inductivo el cual nos da las revoluciones instantáneas del motor, luego se calcula la velocidad media para el intervalo de tiempo.

$$P = T * \omega$$

Ecuación 2.7.

Para este caso en 0.28 segundos se obtuvo una velocidad promedio de 350.63 rad/s (3350 RPM), entonces tenemos:

$$P = 19723.12 \text{ kg m}^2/\text{s}^3$$

$$1 \text{ watt} = 1 \text{ kg m}^2/\text{s}^3$$

$$1 \text{ hp} = 746 \text{ watt}$$

$$P = 26.44 \text{ hp.}$$

El motor tuvo que desarrollar 26.44 HP para acelerar un rodillo del dinamómetro de inercia a una tasa de 350.63 rad/s (3350 RPM). Para el caso de un dinamómetro con un rodillo por rueda la potencia total que tuvo que desarrollar el motor del vehículo es:

$$P = 26.45 \text{ HP x rodillo}$$

$$\mathbf{P = 52.90 HP}$$
 para un dinamómetro de un rodillo por rueda.

Ahora que ya tenemos los datos de la potencia aplicada por el motor del vehículo en ese intervalo de tiempo, hay que saber que el motor de un vehículo se comporta de diferente forma a los cambios de temperatura y presión barométrica.

Se utilizara el estándar SAE-J1349, el cual es usado por muchas compañías constructoras de dinamómetros. Este estándar fue creado para la corrección de las lecturas de potencia y torque. El cual determina que la potencia del motor disminuirá 7% por una disminución de la presión atmosférica de cada 50 kPa, con respecto a la presión atmosférica al nivel del mar de aproximadamente 101.32 kPa. Y un aumento de la potencia de 1%, por una disminución de la temperatura ambiente de cada 5°C, con respecto a una temperatura ambiente de 25°C, y una disminución de la potencia de 1%, por un aumento de la temperatura ambiente de cada 5°C con respecto a los 25°C. El factor de corrección esta dado por la ecuación:

$$T_{normalizado} = T_{medido} \left(1.180 \left(\left(\frac{P_{ref}}{P_{actual}} \right) \sqrt{\frac{Temp_{actual}}{Temp_{ref}}} \right) - 0.18 \right) \quad \text{Ecuación 2.8.}$$

Donde:

$T_{normalizado}$ = Torque normalizado

T_{medido} = Torque medido

P_{ref} = Presión barométrica de referencia (101.32 kPa)

P_{actual} = Presión barométrica al momento de la prueba

$Temp_{actual}$ = Temperatura ambiente actual

$Temp_{ref}$ = Temperatura ambiente de referencia (25 °C)

El torque normalizado se iguala al torque medido por el cociente de la presión de referencia a la presión durante el funcionamiento, luego se multiplica por la raíz cuadrada del cociente de la temperatura ambiente durante el funcionamiento y la temperatura de la referencia.

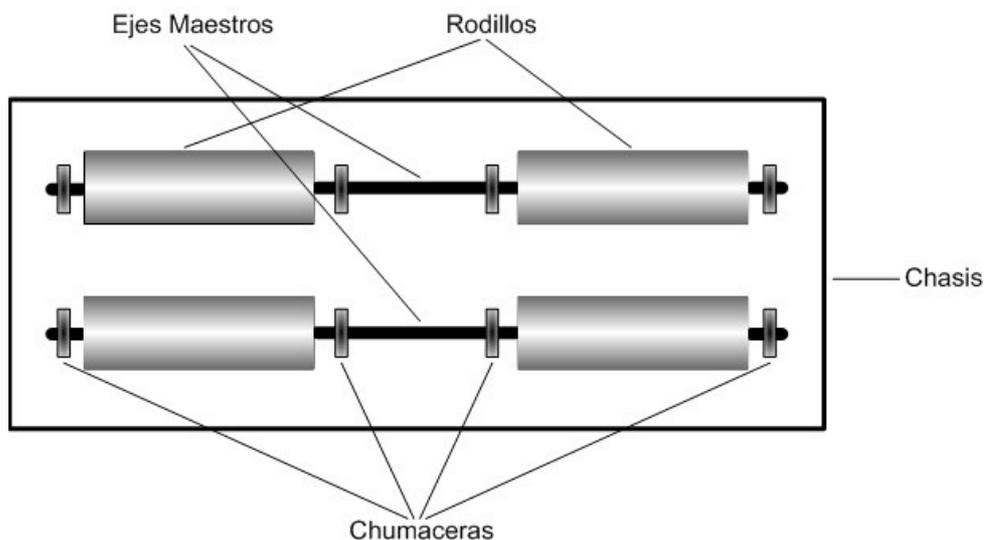
Ejemplo 2.3: En una prueba de dinamómetro de inercia donde se tomo la medida de 56.25 Nm de torque, a una temperatura ambiente de 20 °C y una presión barométrica de 92.33 kPa. ¿Cuál será el torque normalizado?

$$T_{\text{normalizado}} = 53.20 \text{ Nm}$$

2.1.2 Dinamómetro de Rodillo doble

Este tipo de dinamómetro se denomina rodillo doble, ya que se construye con dos rodillos por rueda del vehículo, es decir esta formado por cuatro rodillos para el caso de un dinamómetro que se utilizara para pruebas de vehículos de un solo eje de tracción (4 X 2).

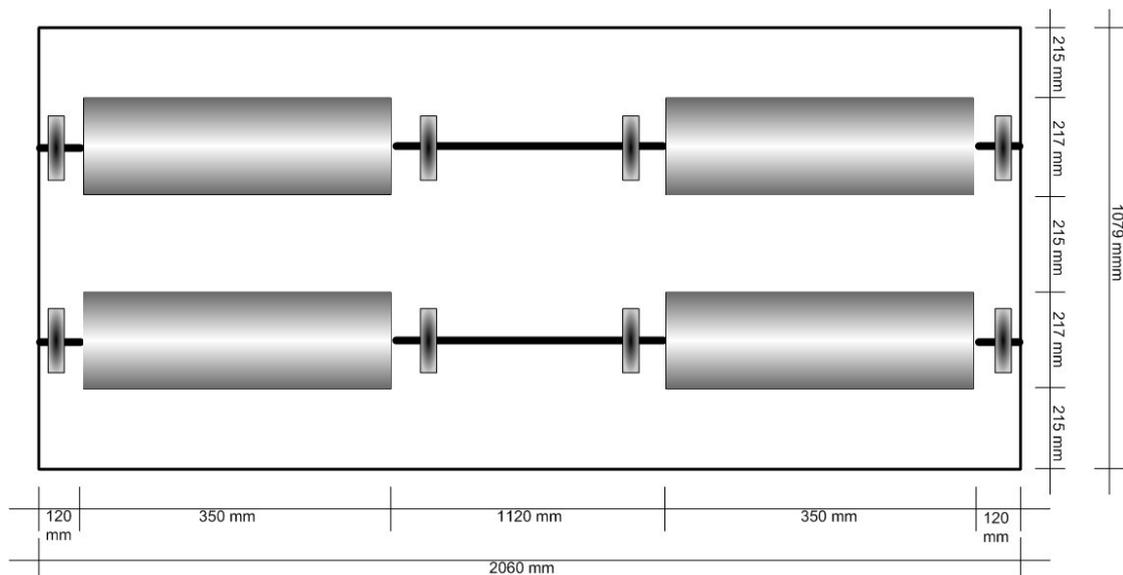
Figura 19. **Dinamómetro de inercia con rodillos dobles, vista de planta.**



Los dinamómetros con rodillo doble dependiendo del diseño pueden tener en cada pareja de rodillos uno con diferente diámetro del otro, o por el contrario que ambos sean del mismo diámetro.

Los dinamómetros con rodillo doble se diseñan generalmente poder hacer mediciones con vehículos de alto desempeño y que la potencia generada por el motor sea mayor de los 200 HP, cada que cada rodillo puede tener una inercia rotatoria que en conjunto con el sistema de los cuatro rodillos representen una alta inercia rotatoria a las ruedas del vehículo. Dado que estos equipos son para medir potencias altas por su alta inercia rotatoria las velocidades que se logran en estos dinamómetros son relativamente bajas en algunos casos menores de 250 km/h (7000 RPM).

Figura 20. **Medidas para Dinamómetro de inercia con doble rodillo.**



En la figura 19 y 20 se muestran los diagramas de un dinamómetro de inercia con doble rodillo, con esta estructura el dinamómetro tendrá las características que se muestran en la tabla I.

Tabla I. Características dinamómetro de inercia, rodillo doble.

Diámetro de los rodillos:	217 mm.
Distancia entre los rodillos:	215 mm.
Medidas exteriores del conjunto	
Ancho:	2060 mm.
Largo:	1079 mm.
Alto:	313 mm.
Peso bruto:	950 Kg.
Carga máxima sobre los rodillos:	1500 Kg.
Potencia máxima medible:	360 HP.
Velocidad máxima:	260 Km/h (7000 RPM).

2.1.3 Dinamómetro de Rodillo Simple

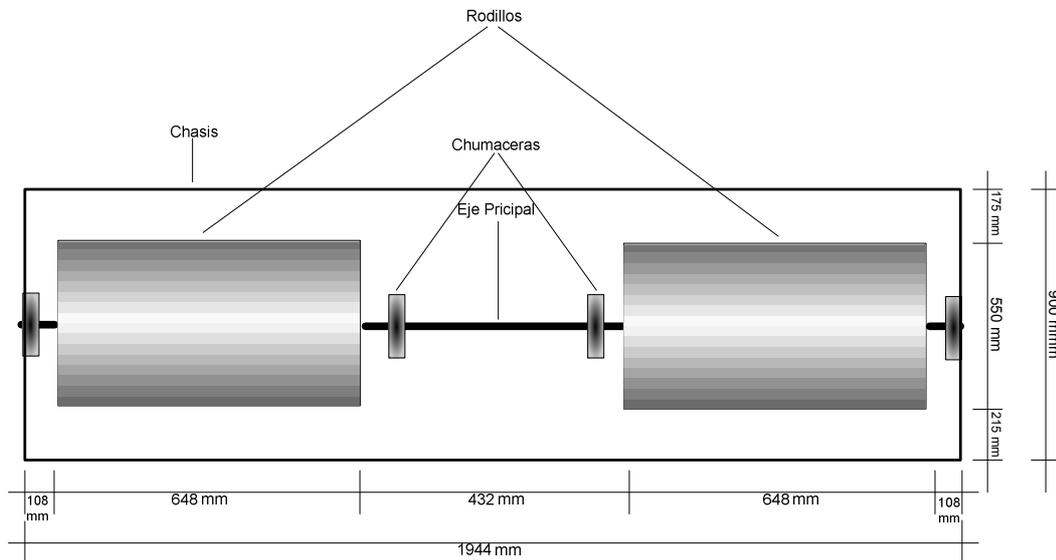
Este tipo de dinamómetro se denomina rodillo simple, ya que se construye con un rodillo por rueda del vehículo, es decir esta formado por dos rodillos para el caso de un dinamómetro que se utilizara para pruebas de vehículos de un solo eje de tracción (4 X 2).

Figura 21. Dinamómetro de inercia con rodillo simple.



Fuente: <http://www.saenzdynos.com.ar>

Figura 22. Medidas para Dinamómetro de inercia con rodillo simple.



En las figuras 21 y 22, se puede observar los rodillos de un dinamómetro de inercia con rodillo simple. Estos tipos de dinamómetro utilizan un rodillo de mayor tamaño que el dinamómetro de rodillo doble, esto se debe a que al ser un único rodillo su diámetro debe ser mayor lograr una mayor área de contacto con las ruedas de vehículo y evitar que este pierda contacto con los rodillos, como calentamiento de las ruedas y que el vehículo se salga de los rodillos al momento de la prueba. Las características técnicas del dinamómetro se muestran en la tabla II.

Tabla II. Características dinamómetro de inercia, rodillo simple.

Diámetro de los rodillos:	550 mm.
Medidas exteriores del conjunto	
Ancho:	1944 mm.
Largo:	900 mm.
Alto:	540 mm.
Peso bruto:	1000 Kg.
Carga máxima sobre los rodillos:	1500 Kg.
Potencia máxima medible:	100 HP.
Velocidad máxima:	300 Km/h (3000 RPM).

Este tipo de dinamómetro está diseñado para vehículos de pequeña anchura, se adapta a todos los vehículos motrices como karts y quads, tiene una potencia máxima medible de 100 HP, el dinamómetro funciona esencialmente como dinamómetro de inercia o aceleración pero se puede convertir al sistema de frenado o carga instalándole un freno de corrientes parasitas. Los rodillos son graficados y tienen un gran diámetro para evitar sobre calentamiento del neumático, el banco de rodillos va empotrado en el suelo por lo que es necesario excavar para su alojamiento, sin embargo si no se tiene esta posibilidad se puede optar por un banco con rampa para el acceso del vehículo.

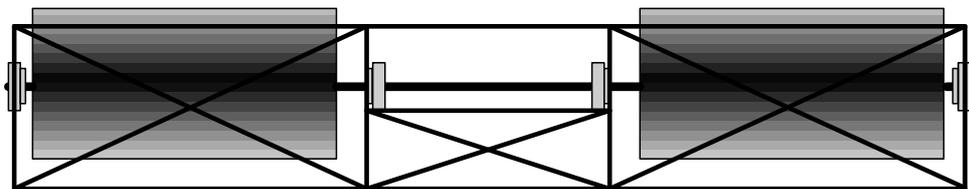
2.2 Marco para los rodillos

El marco para los rodillos o estructura metálica es donde se acoplan los rodillos, chumaceras, sensores y todo equipo necesario para el funcionamiento del dinamómetro.

La construcción del marco debe ser robusta ya que este debe soportar el peso de los rodillos que dependiendo de las características del dinamómetro pueden llegar a tener un peso hasta de 800Kg. Y debe soportar adicionalmente el peso del vehículo, estos pueden llegar a pesar dependiendo del modelo del vehículo hasta 1600Kg.

En algunos modelos el marco puede estar cubierto por una lamina para mejorar la estética, en la parte superior del marco donde quedan expuestos los rodillos, lleva una lamina sin cubrir los rodillos para poder montar el vehículo sobre los rodillos.

Figura 23. **Dinamómetro de inercia vista elevación, (estructura mecánica del dinamómetro).**



El marco junto con los rodillos debe ser enterrado, por lo tanto es necesario cavar un agujero de dimensiones adecuadas, para los lugares que no sea posible se puede acoplar una rampa para que permitan el acceso al vehículo.

En el marco de los rodillos o en la rampa generalmente están instalados unos ganchos a los cuales se puede asegurar el vehículo, para que al momento de la prueba los neumáticos del vehículo no pierdan contacto sobre los rodillos y por seguridad ya que en los vehículos de alto desempeño pueden superar fácilmente la inercia de los rodillos y salirse de estos ocasionando accidentes.

Figura 24. **Agujero para empotrar o enterar el marco del dinamómetro.**



Fuente: <http://www.dynologic.com.au/images>

2.3 Rampa de acceso

La rampa tal como se menciona anteriormente es para los sitios donde no se pueda enterrar el marco del dinamómetro, no tienen datos específicos sobre su construcción solo se debe considerar el material y los refuerzos necesarios, tomando en cuenta el peso del vehículo.

En algunos casos pueden ser rampas hidráulicas, neumáticas o mixtas, estas están inclinadas para permitir el acceso al vehículo, luego una vez montado el equipo se pueden nivelar, de tal forma que el vehículo no quede inclinado sobre los rodillos, si no que más bien quede de forma horizontal.

También existen rampas para los modelos de dinamómetro móviles, las cuales generalmente son más pequeñas, ya que únicamente se monta el eje de tracción del vehículo al momento de la prueba.

Figura 25 **Rampa de acceso Hidráulica.**

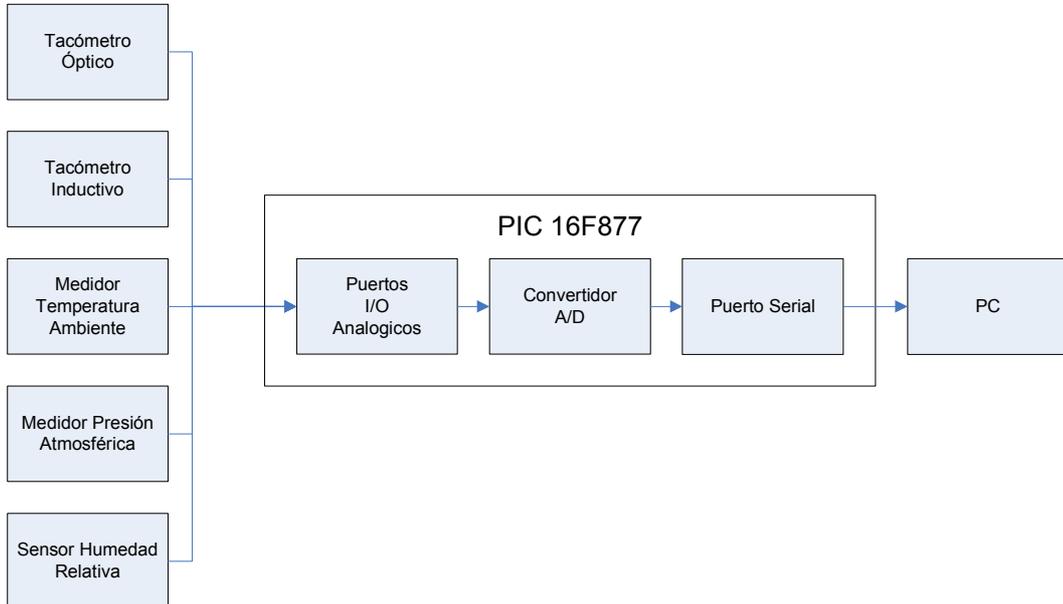


Fuente: <http://www.tecnomaster.com.br>

3. DISEÑO DE ESTRUCTURA ELECTRÓNICA PARA DINAMÓMETRO DE INERCIA

La estructura electrónica para el dinamómetro de inercia, estará conformada por varios módulos que integrados forman un sistema de adquisición de datos, los diferentes módulos están interconectados de tal manera que en su conjunto realizarán las siguientes funciones: Adquisición, procesamiento, y generación de señales de control.

Figura 26. Diagrama a bloque, estructura electrónica para dinamómetro de inercia.



En la figura 26, se muestra el diagrama a bloques de lo que será la estructura electrónica para el dinamómetro, esta compuesta por:

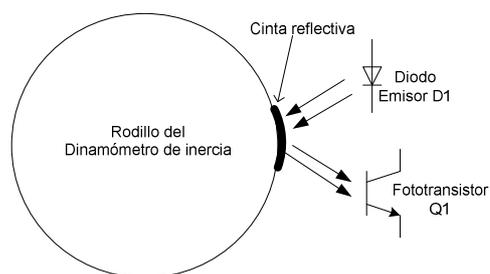
- **Tacómetro Óptico:** Este circuito será el encargado de medir las rpm (revoluciones por minuto) de los rodillos del dinamómetro de inercia, en función a esta velocidad se calculara la potencia y el torque del motor.
- **Tacómetro Inductivo:** Este circuito será el encargado de medir las rpm en el motor del vehículo de prueba, estas mediciones se utilizaran para mostrar el rendimiento del motor a las diferentes mediciones de rpm en el motor con respecto a la potencia generada en cada medición.
- **Medidor de temperatura Ambiente:** Este circuito será el encargado de medir la temperatura ambiente al momento de realizar la prueba, de tal forma que se pueda tener registro de la potencia generada por el vehículo y la temperatura ambiente a la cual el vehículo genero dicha potencia.
- **Medidor de Presión Atmosférica o Barométrica:** Este circuito será el encargado de medir la presión atmosférica al momento de realizar la prueba, de tal forma que se pueda tener registro de la potencia generada por el vehículo y la presión atmosférica a la cual el vehículo genero dicha potencia.
- **Sensor Humedad Relativa:** Este circuito será el encargado de medir la humedad relativa al momento de realizar la prueba del dinamómetro.

3.1 Tacómetro Óptico

Un tacómetro es un dispositivo que se utiliza para medir velocidad de rotación o el número de revoluciones de un eje. En el caso de un tacómetro óptico utilizara un rayo infrarrojo que no es afectado por la luz ambiente para medir las velocidades de rotación.

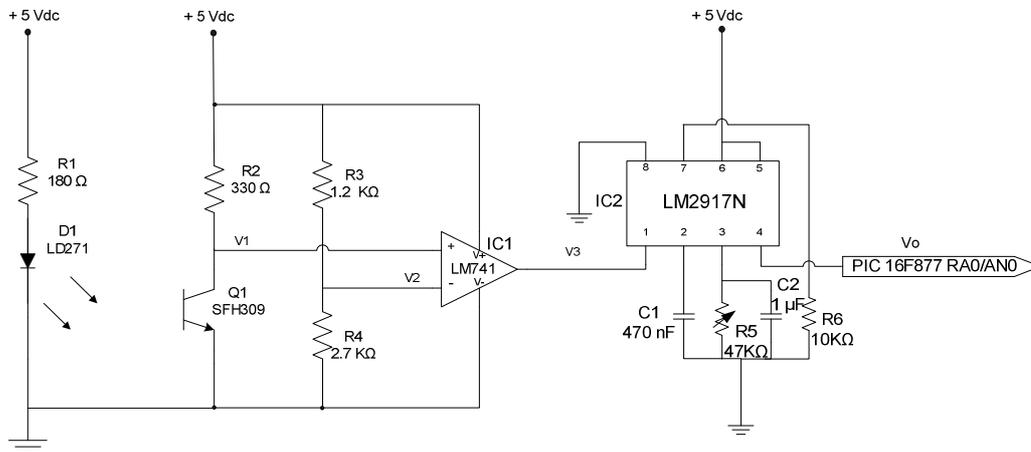
En el dinamómetro de inercia, el tacómetro óptico tiene la función de captar la velocidad de rotación (rpm) de los rodillos del dinamómetro y traducirla en magnitud eléctrica, esto se realizara mediante un optoacoplador, que consta de un diodo emisor de infrarrojos y un transistor con base fotoeléctrica (fototransistor). El diodo emisor estará continuamente emitiendo, produciendo una señal IR (infrarrojo), mientras que el fototransistor captara la señal reflejada proveniente del la superficie blanca o reflectiva que se debe instalar en los rodillos del dinamómetro.

Figura 27. **Acople de diodo emisor y fototransistor al rodillo del dinamómetro.**



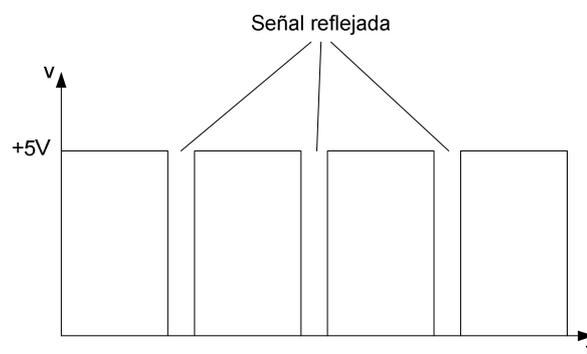
Para poder realizar la medición se deben acoplar tanto el diodo emisor como el fototransistor a una distancia de aproximadamente entre 5 y 10 centímetros de los rodillos, de tal forma que se tenga una buena señal reflejada, así como se muestra en la figura 27.

Figura 28. **Circuito electrónico para tacómetro óptico.**



La figura 28 muestra el diseño del circuito electrónico para el tacómetro óptico. El D1 diodo emisor estará alimentado con 5 Vdc, se mantendrá constantemente energizado emitiendo la señal infrarroja, cuando el fototransistor Q1 reciba la señal reflejada, entrara en saturación entonces $V1 \approx 5\text{ V}$, cuando el fototransistor no reciba la señal reflejada entrara en corte, entonces $V1 \approx 0\text{ V}$. Por lo tanto los rodillos reflejaran una vez por revolución la señal, de tal forma se podrá generar una señal pulsante proporcional a la frecuencia con que giren los rodillos.

Figura 29. **Forma de onda para voltaje V3, en circuito electrónico para tacómetro óptico.**



La figura 29, muestra la forma de onda y voltaje de salida V3 del amplificador operacional IC1 del circuito de la figura 28, este amplificador operacional se configura como comparador, con el propósito de mejorar la forma de onda de la señal V1 proveniente de fototransistor Q1 la cual es directamente conectada a la entrada +V del amplificador operacional, la entrada -V se conecta al divisor de voltaje formado por R3 y R4 de tal forma que exista un voltaje de referencia aproximadamente de +3.5 Vdc, con esta configuración cuando el nivel de voltaje de V1 supere los 3.5 Vdc tendremos a la salida del amplificador operacional una señal con un nivel de voltaje de 5 Vdc (V3).

El voltaje de salida V3 del amplificador operacional es directamente conectado al IC 2 (LM2917N), que consiste en un circuito integrado el cual tiene a su salida Vo un voltaje proporcional a la frecuencia de la señal de entrada V3, con el propósito que Vo sea un voltaje proporcional a la velocidad de rotación (rpm) de los rodillos del dinamómetro.

De la hoja de especificaciones de IC2 (LM2917N), encontramos la ecuación que representa el voltaje de salida Vo con respecto a la frecuencia de la señal de entrada:

$$V_o = f_{IN} V_{cc} C_1 R_1 K \quad \text{Ecuación 3.1}$$

Donde:

f_{IN}: es la frecuencia de la señal de entrada, en este caso la frecuencia de V3.

V_{cc}: es el voltaje de alimentación, en este caso + 5 Vdc.

C₁: El valor del capacitor en este caso 470nF

R₁: El valor de la resistencia, en este caso es R5 = 42.5 kΩ.

K: es una constante de la ganancia, típicamente con valor de 1.

Para determinar los valores de C1 y R5, en la hoja de especificaciones de IC2 (LM2917N), se encuentran las siguientes ecuaciones:

$$R_5 \geq \frac{V_{Full_Scale}}{I_{min}} \quad \text{Ecuación 3.2.}$$

Donde:

V_{Full_Scale} : Es el voltaje requerido a la máxima escala de f_{IN}

I_{min} : Es la corriente mínima de salida, $150\mu A$ según hoja de especificaciones.

Para R5 se tomo en cuenta que V_{Full_Scale} debía ser +5 Vdc entonces se tiene que $R_5 \geq 33.3 \text{ k}\Omega$, en este caso se utilizara un potenciómetro de $47 \text{ k}\Omega$ calibrado de tal forma que se tenga $R_5 \approx 42.5 \text{ k}\Omega$.

$$C_1 = \frac{V_{Full_Scale}}{R_5 V_{cc} f_{Full_Scale}} \quad \text{Ecuación 3.3.}$$

Donde:

f_{Full_Scale} : Es la frecuencia máxima a la cual $V_o = V_{Full_Scale}$

En el capítulo dos se dan a conocer dos estructuras de dinamómetro de inercia, una con dos rodillos por rueda y otra con un rodillo por rueda. Para calcular la f_{Full_Scale} , se toma como referencia la estructura del dinamómetro con un rodillo por rueda (tabla II), la cual tiene una velocidad máxima de rotación para los rodillos de 3000 rpm, lo que nos representa 50 revoluciones por segundo, entonces como cada rotación del rodillo corresponde a 1 ciclo de la señal de V3, por lo tanto tenemos que la f_{Full_Scale} será 50 Hz y $C_1 = 470\text{nF}$.

Para la ecuación 3.1 $V_o = f_{IN} V_{cc} C_1 R_1 K$, ingresando los datos encontrados tenemos $V_o = 0.099875 f_{IN}$, lo que corresponde a que tengamos una relación en el convertidor de frecuencia a voltaje de aproximadamente 600 rpm/v, con lo cual tendremos a la salida del circuito para el tacómetro óptico la relación de los siguientes valores:

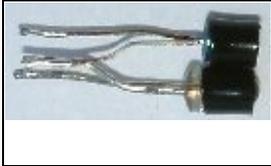
- 1V = 601 rpm.
- 2V = 1202 rpm.
- 3V = 1802 rpm.
- 4V = 2403 rpm.
- 5V = 3004 rpm.

Con este circuito se logra tener una linealidad de la frecuencia con respecto al voltaje de salida, con una eficiencia del 99.87%.

Luego la señal V_o se conectara directamente al PIC16F877, al pin # 2 (RA0/AN0).

Para el acople del diodo emisor y el fototransistor se puede realizar de la siguiente forma:

Figura 30. **Acople de diodo emisor y fototransistor.**

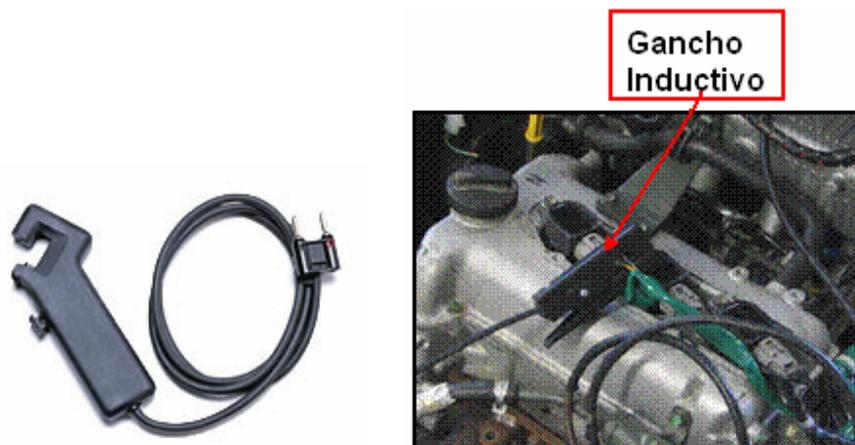
	<p>Primero soldamos el cátodo del diodo emisor con el emisor del fototransistor (receptor).</p>
	<p>Luego ponemos un trozo de cinta de aislar negra o termoencogible en el diodo y en el fototransistor para evitar que la luz del emisor llegue al receptor.</p>
	<p>Seguidamente soldamos un cable de tres hilos: uno de tierra (gnd) al punto de unión de los dos dispositivos, otro al ánodo del emisor y otro al colector del fototransistor. Las conexiones se protegerán con cinta de aislar o termoencogible.</p>
	<p>Por último protegemos dos dispositivos y las conexiones con otro de termoencogible de más diámetro.</p>

3.2 Tacómetro Inductivo

El tacómetro inductivo, tiene la función de captar la velocidad de rotación (rpm) del motor en el vehículo que esta en prueba, luego traducirla en magnitud eléctrica.

El proceso de adquisición de datos en el tacómetro inductivo, se realiza por medio de un gancho inductivo, el cual es un circuito magnético que al estar en presencia de un flujo de corriente eléctrica entrega una fuerza electromotriz inducida (fem). Se coloca el gancho inductivo en uno de los cables de las bujías del motor; cada vez que la bujía demande una corriente para proporcionar la energía requerida para la ignición, el gancho inductivo detectará el flujo de corriente y tendremos como respuesta un nivel de voltaje, dicho nivel de voltaje será alto en presencia de corriente eléctrica y un nivel de voltaje bajo en ausencia de corriente eléctrica.

Figura 31. **Gancho Inductivo, conexión al motor en prueba.**

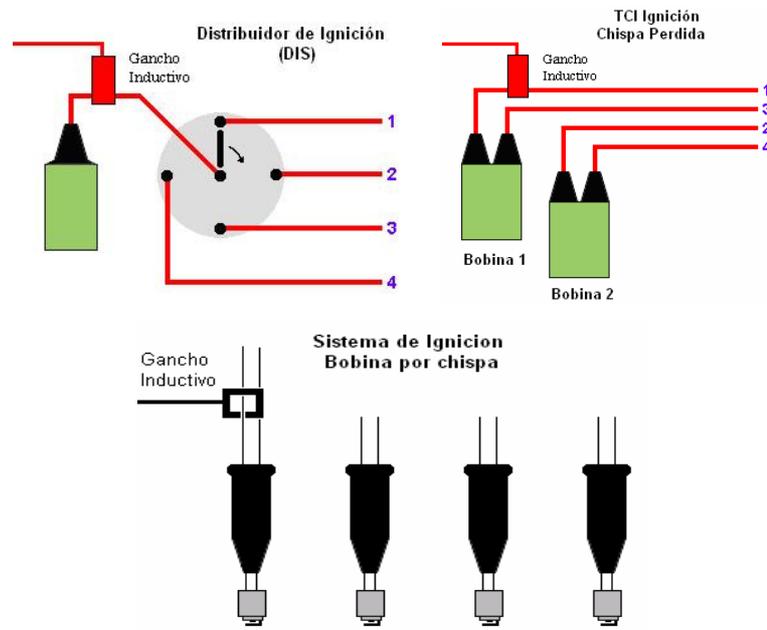


La figura 31 muestra el gancho inductivo, y la forma de cómo se debe conectar el gancho inductivo a los cables de las bujías del motor, al momento de la prueba.

Existen diferentes formas de medir las rpm dependiendo del sistema de ignición entre los principales se tiene:

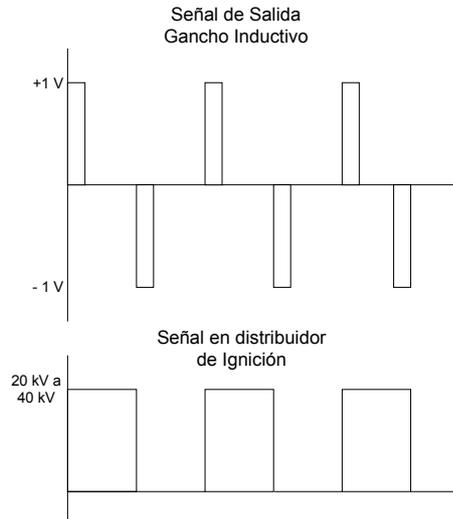
- *Sistema de Distribuidor de ignición (DIS)*: Este sistema el gancho inductivo se conecta directamente a la bobina del distribuidor, de tal forma que el gancho detecte cada uno de los pulsos generados por la bobina, hay que tomar en cuenta que este sistema produce 2 chispas por revolución, por lo tanto para una correcta lectura la medición se debe dividir entre 2, este sistema se esta volviendo obsoleto dentro de los sistemas automotrices.
- *Sistema de Chispa Perdida (TCI Ignición)*: Este sistema el pulso de la bobina se envía a dos cilindros a la ves, uno de ellos esta en fase de la compresión, y realiza la explosión de la mezcla aire combustible cuando llega la chispa, el otro cilindro esta en fase del extractor y la chispa no tiene ningún efecto, es por esto que se denomina chispa perdida. Para medir las rpm en este esquema se necesita solamente colocar el gancho inductivo en uno de los cables de alto voltaje, se debe tener cuidado de no tocar los otros cables de alto voltaje para prevenir tomar pulsos de la otra bobina. En este sistema generalmente se da el problema que el gancho toma pulsos de la otra bobina, en este caso la medición se debe dividir entre 2.
- *Sistema de una Chispa por bobina*: En sistema se tiene una chispa por bobina, es decir existe una bobina para cada cilindro, para leer las revoluciones se debe colocar el gancho inductivo en uno de los cables que van hacia la bobina, se debe tomar en cuenta la polaridad de la bobina para evitar problemas en la medición.

Figura 32. Formas de conexión del gancho inductivo para los diferentes sistemas de ignición.



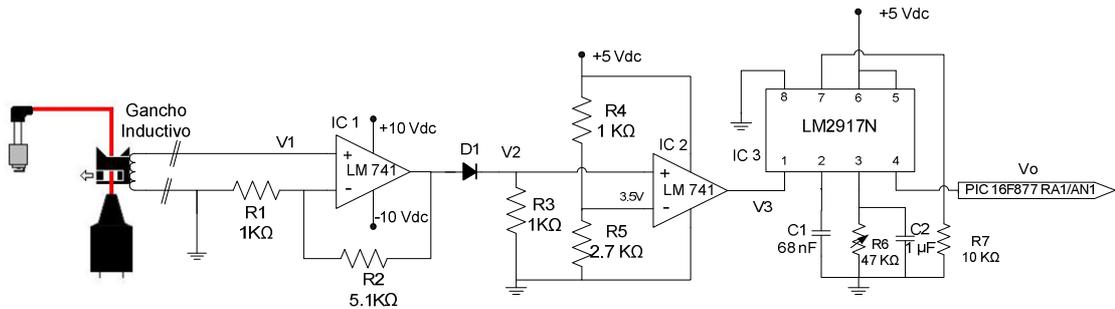
El gancho inductivo nos entregara como señal de salida, una serie de pulso positivos y negativos con amplitud aproximadamente de 2 Vpp (figura 33), que es el resultado del voltaje inducido por los pulsos enviados por la bobina del vehículo a las bujiílla los cuales pueden ser entre 20,000 y 40,000 voltios dependiendo el vehículo.

Figura 33. Señal de salida en gancho inductivo, cuando es conectado a los cables del sistema de ignición.



Los pulsos provenientes del gancho inductivo V1 deben ser amplificados, para esto utilizaremos el amplificador operacional LM741 (IC1) configurado como amplificador no inversor y con una ganancia de 5, luego pasamos esta señal por el diodo D1 el cual rectificara la señal eliminando los pulsos negativos con lo cual obtenemos la señal V2, para mejorar la forma de onda de la señal V2 la pasamos por un circuito comparador formado por IC2, el cual tiene un voltaje de referencia de 3.5v, con lo cual se logra una señal de salida V3 cuadrada con niveles de + 5v cuando la señal V2 supere los 3.5v y niveles de 0v cuando la señal V2 sea menor de 3.5v. Por ultimo esta señal cuadrada se conecta directamente al IC3 (LM2917N) que es un circuito integrado con la función de convertir la señal cuadrada V3 en un voltaje proporcional al valor de la frecuencia de V3.

Figura 34. Circuito electrónico para tacómetro inductivo.



Para que el voltaje de salida V_o de IC3 (convertor frecuencia – voltaje), sea proporcional a las revoluciones del vehículo que se están midiendo se realizaron los cálculos de C1 y R6 con forme a las ecuaciones 3.2 y 3.3 que se presentaron anteriormente para el tacómetro óptico, en este caso para calcular f_{Full_Scale} se tomo como referencia que la mayoría de vehículos llegan a un máximo de 10000 rpm, se tomara el doble debido a que de los tres sistemas ignición dos presentan el problema que el pulso enviado representa dos revoluciones, convirtiendo las 20000 rpm en revoluciones por segundo tenemos que $f_{Full_Scale} = 333\text{Hz}$. Para $V_{Full_Scale} = 5\text{v}$ que será el voltaje máximo a la salida cuando tengamos las 20000 rpm, con lo cual logramos tener una relación en el convertidor de frecuencia a voltaje de 4000 rpm/v, con estos valores logramos una linealidad de la frecuencia con respecto al voltaje de salida, con una eficiencia del 99.95%.

Luego la señal V_o se conectara directamente al PIC16F877, al pin # 3 (RA1/AN1).

3.3 Medidor Temperatura Ambiente

Para medir la temperatura ambiente se ha seleccionado el sensor LM35A, que pertenece a una serie de sensores de circuito integrado. El LM35A proporciona como salida un voltaje directamente proporcional a la temperatura en grados Celsius de $10\text{mv}/^{\circ}\text{C}$.

La magnitud de un grado Celsius (1°C) es equivalente a la magnitud de un Kelvin (1 K), puesto que esta unidad se define como igual a la primera. Sin embargo, las escalas son diferentes porque la escala Kelvin toma como valor 0 el cero absoluto. Dado que al cero absoluto corresponde un valor de $-273,15^{\circ}\text{C}$, la temperatura expresada en $^{\circ}\text{C}$ y K difiere en 273,15 unidades.

Con este sensor a una temperatura de 20°C , obtendremos un voltaje de salida de aproximadamente 2.93v, dado que este sensor se utilizara para medir la temperatura ambiente su rango de medición estará entre los 0°C y 50°C obteniendo un rango de voltaje de 2.73v para 0°C a 3.23v para 50°C , lo que nos da únicamente una diferencia de 0.5v entre el rango mínimo y máximo. Para lograr tener una lectura con una resolución mayor se implementara un circuito que realice una resta de 2.73v, con esto se lograra tener 0v para 0°C , luego se pasara por una etapa de amplificación para poder aumentar la resolución.

Donde: f_o es la frecuencia de corte, R es R_2 y C es C_1 . A la salida del filtro paso bajo se tiene la señal V_2 , la cual pasa a través del circuito restador formado por R_5 , R_6 , R_7 , R_8 e IC_3 , los valores de las resistencias son iguales de tal forma que se tendrá la resta de $-V$ con $+V$, en donde $+V$ esta conectado a un divisor de voltaje formado por R_3 y R_4 , R_4 es un potenciómetro el cual se debe ajustar a aproximadamente $1.1\text{ k}\Omega$, de tal forma que se tenga un voltaje de referencia de 2.73v , con esto la salida del circuito restador V_4 tendrá un voltaje de 0v para una temperatura ambiente de 0°C , luego este voltaje V_4 es pasado por el circuito amplificador con ganancia de 10 formado por R_9 , R_{10} e IC_4 , R_{10} es un potenciómetro el cual se debe ajustar a aproximadamente $9\text{k}\Omega$, de tal forma que a la salida de este circuito amplificador se tenga un rango de voltaje de 0 a 5 v para un rango de temperatura ambiente de 0°C a 50°C .

Luego la señal V_o se conectara directamente al PIC16F877, al pin # 4 (RA2/AN2).

3.5 Medidor Presión Atmosférica

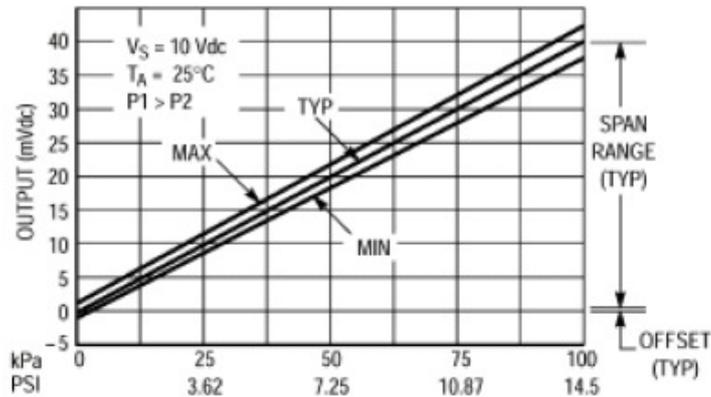
Para medir esta variable se selecciono el sensor de presión en circuito integrado MPX2100A, el cual tiene características piezoresistivas de silicio sensibles a la presión atmosférica que proporciona una tensión de salida exacta y lineal, directamente proporcional a la presión que se le aplica. El sensor consta, de un diafragma monolítico de silicio para la medida del esfuerzo y una fina película en una red de resistencias integradas en un chip. El chip es compensando en temperatura y calibrado precisamente en fabrica por láser.

La Presión se define como la fuerza por unidad de superficie que ejerce un líquido o un gas perpendicularmente a dicha superficie. La presión suele medirse en atmósferas (atm); en el Sistema Internacional de unidades (SI), la presión se expresa en newton por metro cuadrado; un newton por metro cuadrado es un pascal (Pa).

La presión atmosférica disminuye con respecto aumenta la altitud del terreno, al nivel del mar se tiene una medición de 760 mmHg (milímetros de mercurio) que equivalen a 101.325 kPa (kilo Pascales). La presión baja desde su valor de 101.325 kPa al nivel del mar hasta unos 2.350 kPa a 10.700 metros sobre el nivel del mar (msnm), en Guatemala se tienen altitudes máximas pobladas de aproximadamente 2900 msnm, por lo que el rango de medición se definirá entre 70kPa que corresponden aproximadamente a 3000 msnm hasta 100kPa que corresponde al nivel de mar.

De la hoja de especificaciones encontramos que el sensor MPX2100A tiene un rango de medición de 0 a 100 kPa y una sensibilidad de 0.4 mV/kPa, los efectos de la temperatura pueden afectar a la escala máxima de medición, tal como se muestra en la figura 36 que corresponde a la tensión de salida en función de la presión aplicada.

Figura 36. Tensión de salida en función de la presión aplicada.



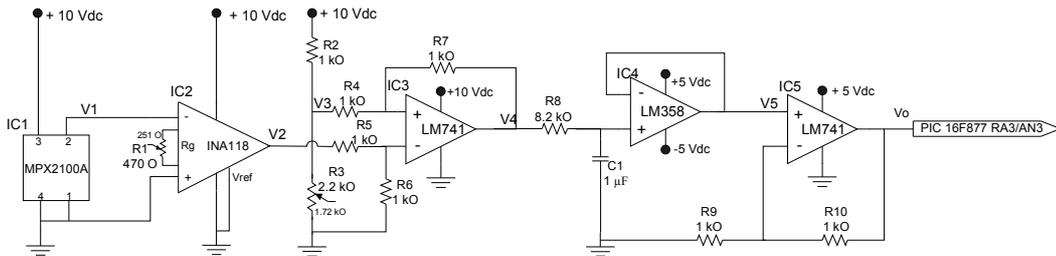
Fuente: Hoja de especificaciones IC MPX2100A.

Para el acondicionamiento de señales, la salida del sensor se conecta con un amplificado de instrumentación dándole ganancia a la señal diferencial, luego se pasara la señal por un circuito restador el cual eliminara el voltaje que se encuentra fuera del rango de medición establecido, con los niveles de voltaje que nos van a determinar la escala de medición la señal es pasada por un filtro paso bajo de primer orden y por ultimo será amplificada la señal para tener una resolución de la escala mayor.

Tabla III. Rango de voltajes en cada etapa del circuito dependiendo de la presión medida.

	Presión atmosférica	V1 (Vsalida MPX2100A)	V2 (Vsalida Amp. Instrumentación)	V4 (Vsalida circuito restador)	Vo (Vsalida circuito)
mínimo	70 kPa	28 mV	5.6 V	0	0
máximo	100 kPa	40 mV	8 V	2.4	4.8

Figura 37. Circuito electrónico para medidor de presión atmosférica.



En la figura 37 se muestra el circuito electrónico para el medidor de presión atmosférica, el sensor utilizado es el MPX2100A, para el cual se definió que tendríamos un rango de medición entre 70 y 100 kPa en la tabla III, se puede observar los rangos de voltaje que tendremos a la salida del sensor V1, luego se conecta a través de un amplificador de instrumentación INA118 (IC2), su voltaje de salida según hoja de especificaciones esta definido por la ecuación 3.5 y la ganancia de amplificación por la ecuación 3.6.

$$V_o = G(V_{IN}^+ - V_{IN}^-) \quad \text{Ecuación 3.5.}$$

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_g} \quad \text{Ecuación 3.6.}$$

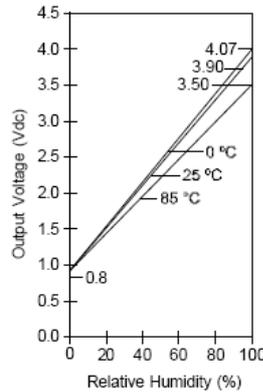
El amplificador de instrumentación IC2 se configura con una ganancia de 200 (G), por lo tanto $R_g = 251 \Omega$. A la salida del amplificador de instrumentación se tendrán una señal V2 con valores desde 5.6 V hasta 8 V dependiendo de la presión atmosférica, esta señal se conectara a un circuito restador el cual tiene un voltaje de referencia V3 de 5.6V, formado por el divisor de voltaje (R2 y R3), a la salida del circuito restador tendremos una señal V4 con niveles de voltaje entre 0 y 2.4V, esta señal antes de ser amplificada se hace pasar a través de un filtro paso bajo con frecuencia de corte de 20Hz, el filtro es el mismo que se utilizo para el medidor de temperatura ambiente, a la salida del filtro tendremos una señal V5 la cual es amplificada por el circuito configurado como amplificador no inversor con ganancia de 2 para lograr una señal de salida Vo con niveles de 0 y 4.8 V.

Luego la señal Vo se conectara directamente al PIC16F877, al pin # 5 (RA3/AN3).

3.5 Medidor Humedad Relativa

Para medir la humedad relativa se ha seleccionado el sensor HIH-3610, que pertenece a una serie de sensores de circuito integrado. El HIH-3610 es utilizado comúnmente para la medición de humedad relativa en el aire, utilizado en estaciones metereologicas. Requiere de una fuente de 5 Vcd y tiene un rango de operación de 0 a 100% de humedad, produciendo un voltaje de salida que varia con la humead relativa de forma lineal, como se muestra en la figura 38.

Figura 38. Características de salida del sensor de humedad HIH-3610, a 0, 25 y 85 °C



Fuente: Hoja de especificaciones IC HIH-3610.

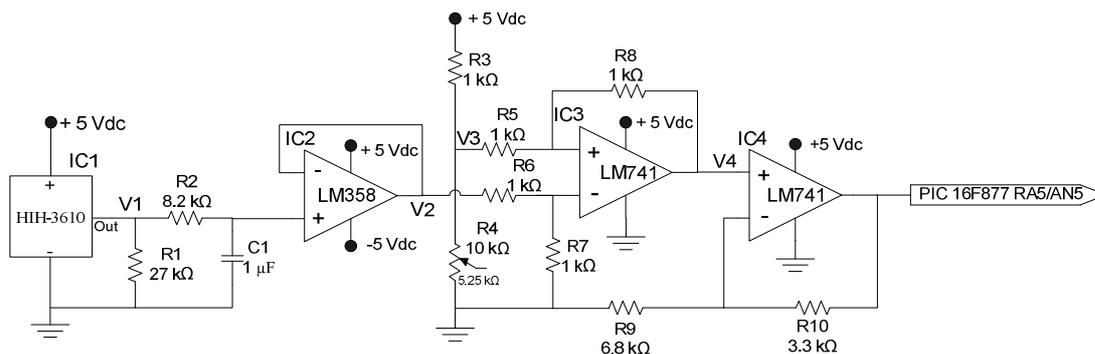
En la figura 38, se muestra la curva característica del voltaje de salida con respecto al porcentaje de humedad relativa en el aire detectado por el sensor, como se puede observar proporciona una señal de salida de voltaje de 0.8v correspondiente a un 0% de humedad relativa y 4.07 v correspondiente a 100% de humedad relativa a 0°C.

Para el manejo adecuado de la señal de este sensor se implementara un circuito que realiza una resta de 0.8V a la señal proveniente del sensor de humedad. Con esto se logra que a la salida del circuito se obtenga una señal de 0V para un 0% de humedad relativa, la recta del sensor para 0°C ahora solo varía de 0 a 3.27 V.

La señal de salida del sensor de humeado relativa al igual que el medidor de temperatura ambiente se pasara por las siguientes etapas:

- Filtrado, para esto se implementara el mismo circuito utilizando para el sensor de temperatura, mostrado en la figura 33.
- Circuito restador, para esto también el será implementado el mismo circuito utilizando para el sensor de temperatura figura 33, con la modificación del voltaje de referencia que ahora será de 0.8v.
- Circuito amplificar, este circuito al igual que el filtro el circuito restador será el mismo utilizado en el sensor de temperatura, con la modificación de la ganancia, ahora la ganancia será de 1.5 para tener un voltaje de salida que corresponderá a 0v con 0°C y 4.9v con 100%, con esto se lograr que el sensor mantenga su linealidad y tener una relación aproximada de 1v/20%HR.

Figura 39. Circuito electrónico para el sensor de humedad relativa.



Luego la señal V_o se conectara directamente al PIC16F877, al pin # 7 (RA5/AN5).

3.6 Descripción del PIC 16F877

En este proyecto se utilizara el microcontrolador PIC 16F877. Este microcontrolador es fabricado por MicroChip familia a la cual se le denomina PIC. El modelo 16F877 posee varias características que hacen a este microcontrolador un dispositivo muy versátil, eficiente y practico para ser empleado en como el dispositivo encargado sobre el control de puertos analógicos, conversor Análogo Digital e interfase de comunicación con la computadora.

Se denomina microcontrolador a un dispositivo programable capaz de realizar diferentes actividades que requieran del procesamiento de datos digitales, control y comunicación digital entre diferentes dispositivos.

Los microcontroladores poseen una memoria interna que almacena dos tipos de datos; las instrucciones, que corresponden al programa que se ejecuta, y los registros, es decir, los datos que el usuario maneja, así como registros especiales para el control de las diferentes funciones del microcontrolador.

Los microcontroladores se programan en Assembler y cada microcontrolador varía su conjunto de instrucciones de acuerdo a su fabricante y modelo. De acuerdo al número de instrucciones que el microcontrolador maneja se le denomina de arquitectura RISC (reducido) o CISC (complejo).

Los microcontroladores poseen principalmente una ALU (Unidad Lógica Aritmética), memoria del programa, memoria de registros, y pines I/O (entrada y/o salida). La ALU es la encargada de procesar los datos dependiendo de las instrucciones que se ejecuten (ADD, OR, AND), mientras que los pines son los que se encargan de comunicar al microcontrolador con el medio externo; la función de los pines puede ser de transmisión de datos, alimentación de corriente para el funcionamiento de este o pines de control específico.

Algunas de estas características se muestran a continuación:

- Soporta modo de comunicación serial, posee dos pines para ello.
- Amplia memoria para datos y programa.
- Memoria reprogramable: La memoria en este PIC se denomina FLASH; este tipo de memoria se puede borrar electrónicamente (esto corresponde a la "F" en el modelo).
- Conjunto de instrucciones reducidas (tipo RISC), pero con las instrucciones necesarias para facilitar su manejo.

3.6.1 Características

En la siguiente tabla se pueden observar las características más relevantes del dispositivo:

Tabla IV. **Características del Microcontrolador PIC 16F877**

CARACTERÍSTICAS	16F877
Frecuencia máxima	DX-20MHz
Memoria de programa flash palabra de 14 bits	8KB
Posiciones RAM de datos	368
Posiciones EEPROM de datos	256
Puertos E/S	A,B,C,D,E
Número de pines	40
Interrupciones	14
Timers	3
Módulos CCP	2
Comunicaciones Serie	MSSP, USART
Comunicaciones paralelo	PSP
Líneas de entrada de CAD de 10 bits	8
Juego de instrucciones	35 Instrucciones
Longitud de la instrucción	14 bits
Arquitectura	Harvard
CPU	Risc
Canales Pwm	2
Pila Harware	-
Ejecución En 1 Ciclo Máquina	-

Fuente: Hoja de especificaciones del Microcontrolador PIC 16F877.

Descripción de los puertos:

Puerto A:

- Puerto de e/s de 6 pines
- RA0 y AN0
- RA1 y AN1
- RA2, AN2 y Vref-
- RA3, AN3 y Vref+
- RA4 (Salida en colector abierto) y T0CKI (Entrada de reloj del modulo Timer0)
- RA5, AN4 y SS (Selección esclavo para el puerto serie síncrono)

Puerto B:

- Puerto e/s 8 pines
- Resistencias pull-up programables
- RB0 è Interrupción externa
- RB4-7 interrupción por cambio de flanco
- RB5-RB7 y RB3 programación y *debugger in circuit*

Puerto C:

- Puerto e/s de 8 pines
- RC0, T1OSO (Timer1 salida oscilador) y T1CKI (Entrada de reloj del modulo *Timer1*).
- RC1-RC2 è PWM/COMP/CAPT
- RC1, T1OSI (entrada oscilador *timer1*)
- RC3-4, IIC
- RC3-5, SPI
- RC6-7, USART

Puerto D:

- Puerto e/s de 8 pines
- Bus de datos en PPS (Puerto paralelo esclavo)
- Puerto E:
- Puerto de e/s de 3 pines
- RE0 y AN5 y Lectura de PPS
- RE1 y AN6 y Escritura de PPS
- RE2 y AN7 y CS de PPS

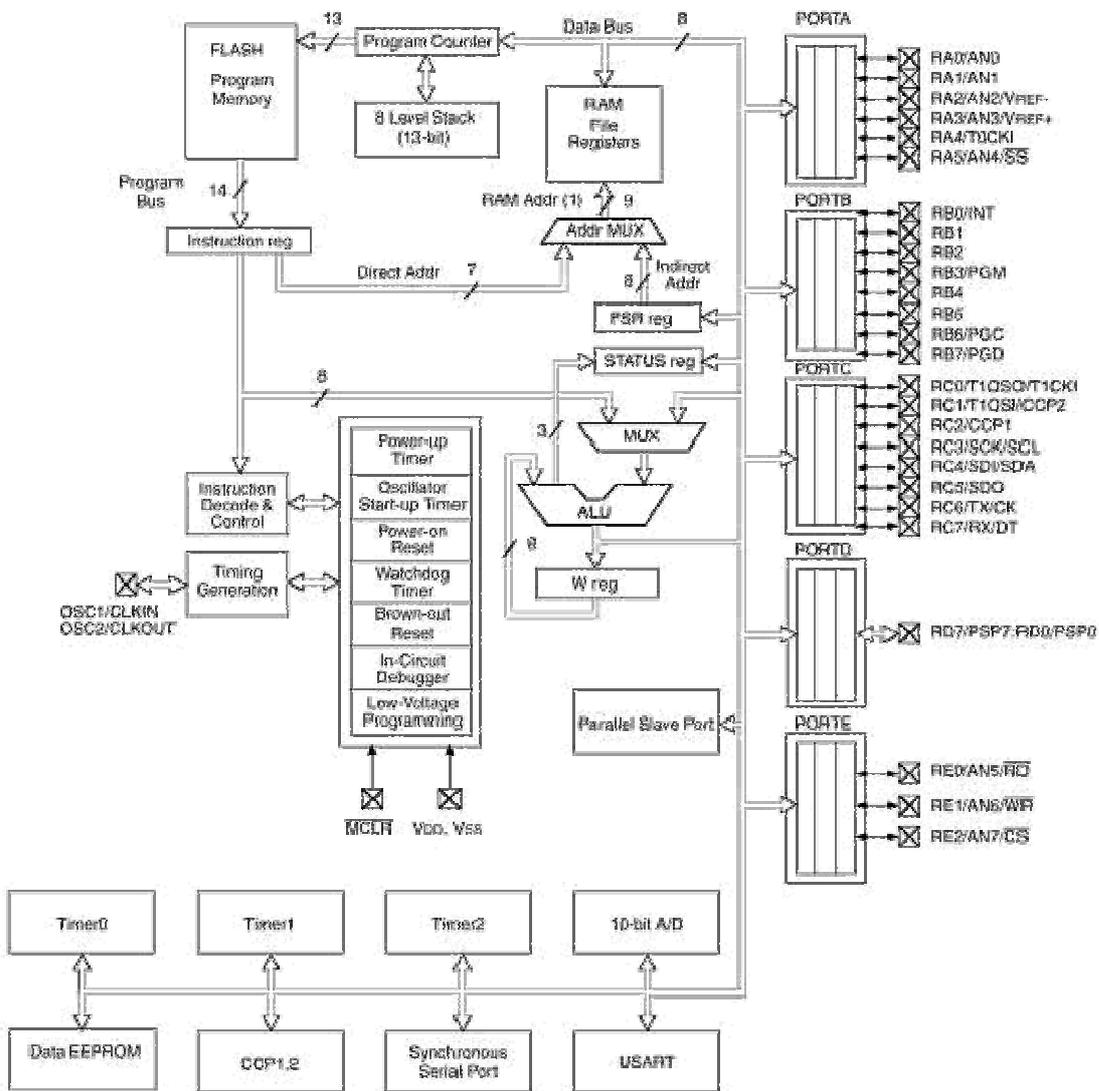
Dispositivos periféricos:

- Timer0: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler de 8 bits
- Timer1: Temporizador-contador de 16 bits con preescaler que puede incrementarse en modo *sleep* de forma externa por un cristal/*clock*.
- Timer2: Temporizador-contador de 8 bits con preescaler y postescaler.
- Dos módulos de Captura, Comparación, PWM (Modulación de Anchura de Impulsos).
- Conversor A/D de 10 bits.
- Puerto Serie Síncrono Principal (MSSP) con SPI e I²C (*Master/Slave*).
- USART/SCI (*Universal Synchronous Asynchronous Receiver Transmitter*) con 9 bit.

3.6.2 Diagrama a Bloques

Figura 40. Diagrama interno del PIC 16F877 en bloques

Device	Program FLASH	Data Memory	Data EEPROM
PIC16F874	4K	192 Bytes	128 Bytes
PIC16F877	8K	368 Bytes	256 Bytes

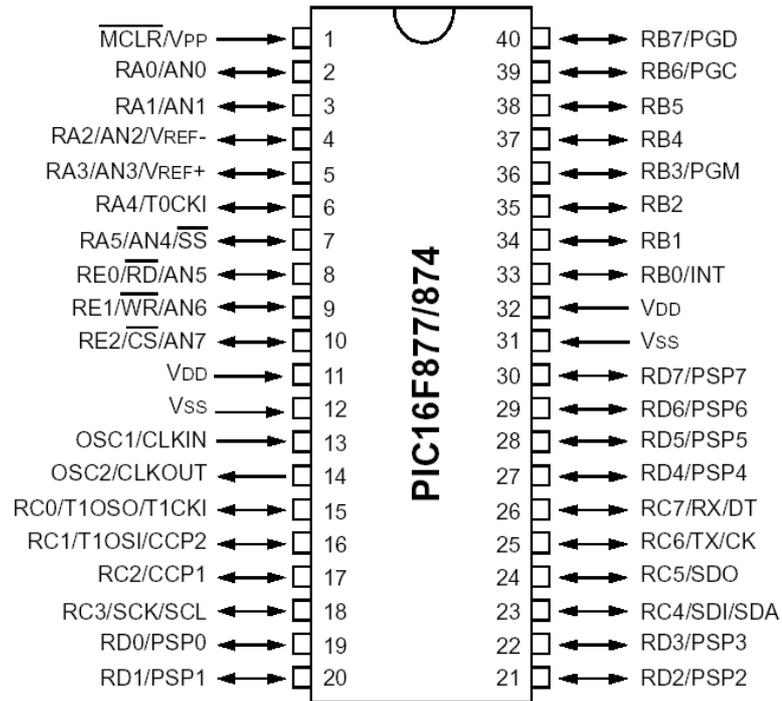


Note 1: Higher order bits are from the STATUS register.

- Fuente: Hoja de especificaciones del Microcontrolador PIC 16F877.

3.6.3 Descripción de pines

Figura 41. Distribución e identificación de pines para PIC 16F877.



- Fuente: Hoja de especificaciones del Microcontrolador PIC 16F877.

Tabla V. Descripción de pines para PIC 16F877.

NOMBRE DEL PIN	PIN	TIP O	TIPO DE BUFFER	DESCRIPCIÓN
OSC1/CLKIN	13	I	ST/MOS	Entrada del oscilador de cristal / Entrada de señal de reloj externa
OSC2/CLKOUT	14	O	-	Salida del oscilador de cristal
MCLR/Vpp/THV	1	I/P	ST	Entrada del <i>Master clear</i> (Reset) o entrada de voltaje de programación o modo de control <i>high</i> voltaje <i>test</i>
RA0/AN0	2	I/O	TTL	<p>PORTA es un puerto I/O bidireccional</p> <p>RA0: puede ser salida analógica 0</p> <p>RA1: puede ser salida analógica 1</p> <p>RA2: puede ser salida analógica 2 o referencia negativa de voltaje</p> <p>RA3: puede ser salida analógica 3 o referencia positiva de voltaje</p> <p>RA4: puede ser entrada de reloj el timer0.</p> <p>RA5: puede ser salida analógica 4 o el esclavo seleccionado por el puerto serial síncrono.</p>
RA1/AN1	3	I/O	TTL	
RA2/AN2/ Vref-	4	I/O	TTL	
RA3/AN3/Vref+	5	I/O	TTL	
RA4/T0CKI	6	I/O	ST	
RA5/SS/AN4	7	I/O	TTL	
				PORTB es un puerto I/O bidireccional. Puede ser programado todo como entradas

RBO/INT	33	I/O	TTL/ST	RB0 puede ser pin de interrupción externo.
RB1	34	I/O	TTL	
RB2	35	I/O	TTL	
RB3/PGM	36	I/O	TTL	RB3: puede ser la entrada de programación de bajo voltaje
RB4	37	I/O	TTL	Pin de interrupción
RB5	38	I/O	TTL	Pin de interrupción
RB6/PGC	39	I/O	TTL/ST	Pin de interrupción. Reloj de programación serial
RB7/PGD	40	I/O	TTL/ST	
RCO/T1OSO/T1C KI	15	I/O	ST	PORTC es un puerto I/O bidireccional RCO puede ser la salida del oscilador timer1 o la entrada de reloj del timer1
RC1/T1OS1/CCP 2	16	I/O	ST	
RC2/CCP1	17	I/O	ST	RC1 puede ser la entrada del oscilador timer1 o salida PWM 2 RC2 puede ser una entrada de captura y comparación o salida PWN
RC3/SCK/SCL	18	I/O	ST	
RC4/SD1/SDA	23	I/O	ST	RC3 puede ser la entrada o salida serial de reloj síncrono para modos SPI e I2C
RC5/SD0	24	I/O	ST	
RC6/Tx/CK	25	I/O	ST	RC4 puede ser la entrada de datos SPI y modo I2C
	26	I/O	ST	RC5 puede ser la salida de datos

RC7/RX/DT				<p>SPI</p> <p>RC6 puede ser el transmisor asíncrono USART o el reloj síncrono.</p> <p>RC7 puede ser el receptor asíncrono USART o datos síncronos</p>
RD0/PSP0 RD1/PSP1 RD2/PSP2 RD3/PSP3 RD4/PSP4 RD5/PSP5 RD6/PSP6 RD7/PSP7	19 20 21 22 27 28 29 30	I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O I/O	ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL ST/TTL	<p>PORTD es un puerto bidireccional paralelo</p>
RE0/RD/AN5 RE1/WR/AN RE2/CS/AN7	8 9 10	I/O I/O I/O	ST/TTL ST/TTL ST/TTL	<p>PORTE es un puerto I/O bidireccional</p> <p>RE0: puede ser control de lectura para el puerto esclavo paralelo o entrada analógica 5</p> <p>RE1: puede ser escritura de control para el puerto paralelo esclavo o entrada analógica 6</p> <p>RE2: puede ser el selector de control para el puerto paralelo esclavo o la entrada analógica 7.</p>

Vss	12.31	P	-	Referencia de tierra para los pines lógicos y de I/O
Vdd	11.32	P	-	Fuente positiva para los pines lógicos y de I/O
NC	-	-	-	No está conectado internamente

- Fuente: Hoja de especificaciones del Microcontrolador PIC 16F877.

3.6.4 Diagrama de Conexión:

La figura 42 se muestra el diagrama de conexión entre los sensores, el microcontrolador PIC 16F877 y la PC, para los sensores se asignaron los puertos de entrada analógica de la siguiente forma:

Puerto RA0/AN0, pin # 2: Tacómetro Óptico.

Puerto RA1/AN1, pin # 3: Tacómetro Inductivo.

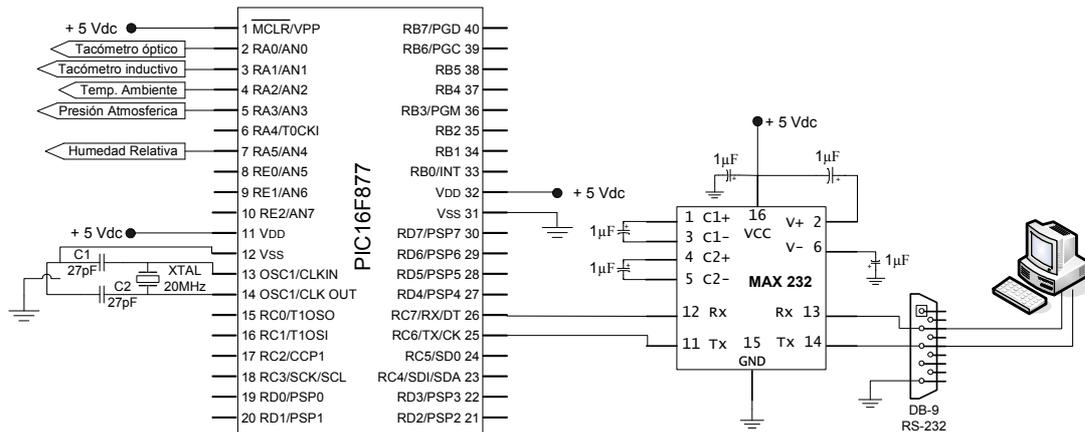
Puerto RA2/AN2, pin # 4: Sensor Temperatura Ambiente.

Puerto RA3/AN3, pin # 5: Sensor Presión Atmosférica.

Puerto RA4/AN4, pin # 7: Sensor Humedad Relativa.

Figura 42. Diagrama de conexión entre sensores, PIC y Computadora.

Conexión PIC16F877 – Sensores - PC



El PIC tiene la función de leer los niveles de voltajes en los puertos de entrada analógicos AN0, AN1, AN2, AN3 y AN4, luego pasarlos por el convertidor analógico digital y transmitir estos datos por el puerto serial, según se los requiera la PC con la cual tendrán comunicación *full duplex* a través del puerto serial.

El programa del PIC debe contener subrutinas para las lecturas de los sensores, conversiones análogas – digital, transmisiones y recepción de datos, para el caso de las lecturas en los sensores al momento de la prueba se debe de tomar muestras para el tacómetro óptico e inductivo aproximadamente 50 veces por segundo de tal forma que se pueda tener una buena resolución de las graficas al momento de la prueba, mientras que para la temperatura ambiente, presión atmosférica y humedad relativa las muestras se toman únicamente tres veces: al inicio, a la mitad y al finalizar la prueba, o puede ser activada la lectura desde una solicitud directa de la PC por medio del *software*, según lo requiera el usuario de la PC.

Para la conexión con la PC se utiliza el circuito integrado MAX 232, este cambia los niveles TTL a los del estándar RS-232 cuando se hace una transmisión, y cambia los niveles RS-232 a TTL cuando se tiene una recepción. El estándar RS-232 requiere de +3 a +25 voltios para un '0' lógico y de -3 a -25 para un '1' lógico. El circuito integrado lleva internamente 2 convertidores de nivel de TTL a RS-232 y otros 2 de RS-232 a TTL con lo que en total podremos manejar 4 señales del puerto serie del PC, por lo general las mas usadas son; TX, RX, RTS, CTS, estas dos ultimas son las usadas para el protocolo *handshaking* pero no es imprescindible el uso de RTS y CTS para lograr la transmisión serial.

3.7 Fuente de alimentación.

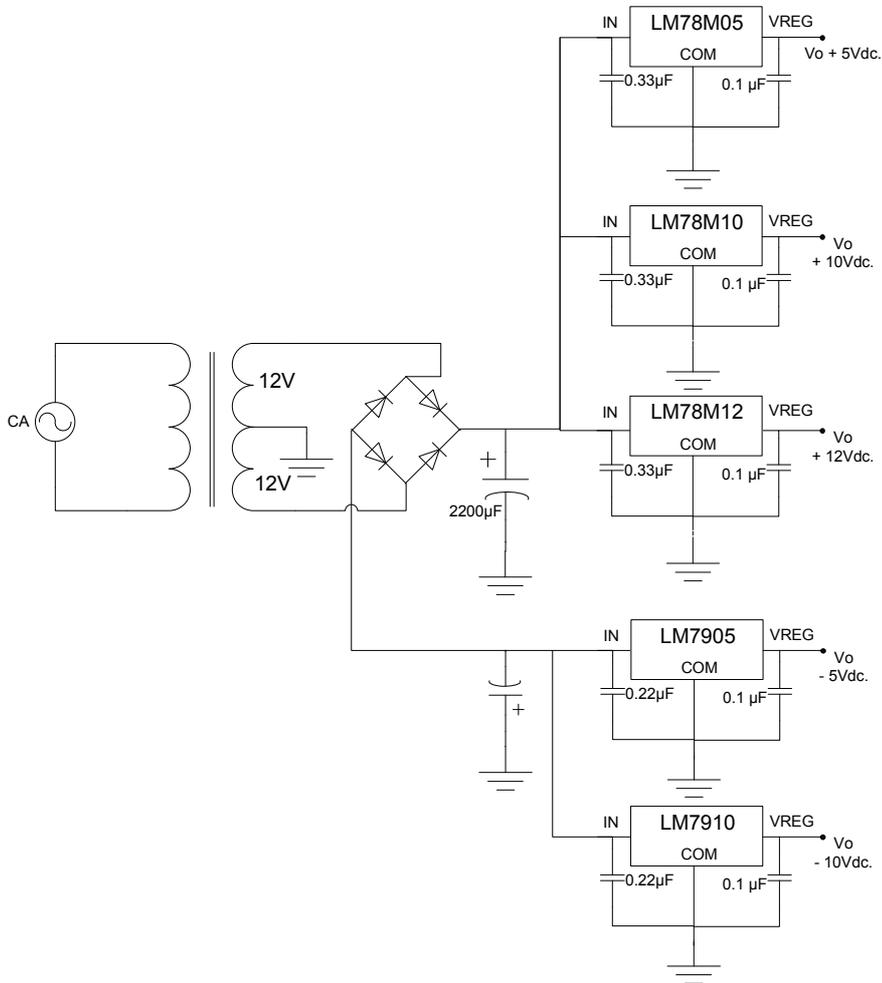
Para la fuente de poder es necesario que cuente con los siguientes voltajes:

- + 5 Vdc
- +10 Vdc
- + 12 Vdc
- - 5 Vdc
- -10 Vdc.

Para lograrlo, se utilizara para cada voltaje un regulador de tipo LM78XX, los cuales proporcionan un voltaje estable, con una corriente máxima de salida de 500mA para los voltajes positivos y 1.5 A para los voltajes negativos, según datos obtenidos de las hojas de especificaciones de cada regulador de voltaje.

En la figura 43 se muestra el diagrama propuesto para la fuente de poder.

Figura 43. Fuente de alimentación.



4. SOFTWARE PARA DINAMÓMETRO DE INERCIA.

El *software* del dinamómetro de inercia, será el encargado de interacción entre la PC y la estructura electrónica del dinamómetro de inercia especialmente con el PIC (microcontrolador 16F877), que es el responsable de leer los datos provenientes de los diferentes sensores (rpm rodillos, rpm motor, temperatura ambiente, presión atmosférica y humedad relativa), y enviárselos a la conmutadora por el puerto serial, para que el *software* pueda desplegarlos de los datos recibidos de forma gráfica en la ventana de la computadora.

Adicionalmente el *software* debe incluir una base de datos en la cual se almacenen los datos sobre cada prueba que se realice con el dinamómetro de inercia, para posibles comparaciones necesarias, también debe ser capaz de desplegar los resultados de la prueba en tiempo real, ya sea con indicadores numéricos o en forma gráfica.

A continuación se propone un *software* que cumple con los requerimientos mínimos, para el funcionamiento del dinamómetro de inercia y presentación del los resultados de las pruebas de forma gráfica en la pantalla de la computadora.

4.1 Menú Principal

Es la primera ventana que nos aparece al momento de iniciar el *software*, desde este punto podemos acceder a los diferentes submenús que tiene en los cuales podemos encontrar la mayoría de opciones que tiene el *software*.

Figura 44. Presentación del menú principal, para el *software* del dinamómetro de inercia.



Desde el menú principal podemos acceder a los siguientes submenús:

- **Datos Cliente:** En esta opción ingresamos todos los datos que corresponden a cada cliente, de tal forma que se pueda tener una base de datos sobre los clientes.
- **Medición:** En esta opción ingresamos para empezar una medición de la potencia con el dinamómetro de inercia, en esta opción se puede escoger un cliente existente o ingresar los datos para un nuevo cliente, sin necesidad de ingresar primero los datos en la opción de Datos Cliente.

- **Resultados:** Es esta opción podemos ver los resultados de las mediciones que se tienen guardados en la base de datos, en forma gráfica xy (HP vrs RPM motor) o en cuadros numéricos, para luego mandarla a imprimir si así se desea.
- **Factor de Corrección:** En esta opción podemos seleccionar si se desea que se aplique factor de corrección en la medición de la potencia, y si los datos de la temperatura ambiente, presión atmosférica y humedad relativa serán medidos en forma automática por la estructura electrónica.
- **Configuración:** En esta opción podemos ingresar los datos sobre los rodillos del dinamómetro de inercia, seleccionar si la estructura mecánica es para un dinamómetro de inercia o de freno y seleccionar el puerto serial de comunicación con la estructura electrónica.
- **Impresora:** en esta opción ingresamos a la parte de configuración de la impresora.
- **Salida:** Salida del programa del dinamómetro de inercia.

4.2 Datos del Cliente

En la figura 45, se muestra la ventana que aparece cuando se selecciona esta opción se deben ingresar los siguientes datos:

- **No. de Registro:** Este es un número de identificación único para cada cliente, de tal forma que cuando se quiera realizar una búsqueda del un cliente se realice por medio de este número de registro y sea mas fácil la búsqueda.
- **Correlativo:** Este número es para diferenciar cada prueba que se realice por cliente, de tal forma que un mismo cliente con el mismo vehículo puede realizar varias pruebas, entonces identificamos a cada cliente por el No. de Registro y cada una de las pruebas que se realizan para cada cliente por el correlativo.
- **Nombre:** En este campo se debe ingresar nombres y apellidos del cliente o bien el nombre de la empresa para la cual se va a realizar la medición de la potencia.
- **Dirección:** En este campo se debe ingresar la dirección de domicilio del cliente.
- **Detalle del vehículo:** En este campo se debe ingresar los datos del vehículo sobre el cual se va ha realizar la medición de la potencia, con el siguiente formato: marca del vehículo / serie o línea / año de fabricación ejemplo: Mitsubishi / Lancer / 2006.
- **Comentario:** Este campo es para ingresar algún comentario sobre el vehículo, puede ser que haga referencia a alguna modificación que se realizo en el motor del vehículo, por ejemplo la instalación de un filtro de aire que de mayor potencia al vehículo.

- **Tipo de motor:** En este campo se debe indicar el tipo de motor que tiene el vehículo se puede hacer referencia al tamaño del motor en centímetros cúbicos (cc), por ejemplo un vehículo que este equipado con un motor 1300 cc.
- **Velocidad Tope del Vehículo:** En este campo se debe incluir cual es la velocidad máxima a la que puede llegar el vehículo de tal forma que se pueda acoplar la gráfica de los resultados con respecto a esta velocidad.
- **Fecha:** Este campo esta deshabilitado, de tal forma que la computadora incluye este campo automáticamente según la fecha y hora que tenga en ese momento.

Una vez ingresados los datos del cliente se debe dar clic al botón de Guardar, para que sean guardados en la base de datos, si se desea modificar cualquier dato del cliente basta con ingresar el número de registro y correlativo, para que automáticamente si el cliente ya existen en la base de datos, aparezcan todos sus datos en cada campo para ser modificados, una vez modificados hay que volver a darle clic al botón de Guardar, para salir de esta opción y regresar al menú principal se le debe dar clic al botón de Salida.

Figura 45. Ventana para el ingreso de datos del cliente.

The image shows a software window titled "Dinamómetro de Inercia" with a sub-header "Datos Cliente". The window contains the following fields and controls:

- No. De Registro:
- Correlativo:
- Nombre:
- Direccion:
- Detalle del Vehiculo:
- Comentario:
- Tipo de Motor:
- Velocidad Tope Vehiculo:
- Fecha: Km/h

At the bottom of the window are two buttons: "Guardar" and "Salida".

4.3 Medición

Al seleccionar esta opción en el menú principal primero nos aparece una ventana (figura 47), en la cual tenemos las siguientes opciones:

- **Cliente Existente:** Únicamente nos aparecen dos opciones SI y NO si escogemos la opción SI nos aparecen deshabilitados los campos para ingresar los datos del cliente y el botón de Grabar, únicamente nos quedan activos los campos de No. de registro, correlativo y comentarios, mientras que si seleccionamos la opción de NO todos los campos quedan activos para el ingreso de datos, y también nos aparece activo el botón de Guardar para que se puedan guardar los datos del nuevo cliente.

- **No. de Registro:** Si en la opción de cliente existente seleccionamos la opción de SI, en este campo nos aparecen todos los números de registro que están guardados en base de datos, de tal forma que podamos seleccionar el del cliente que deseamos realizar la medición, una vez seleccionado nos muestra todos los datos del cliente en cada uno de los campos para confirmar que sean los datos del cliente que necesitamos. Si en la opción de cliente existente seleccionamos la opción de NO, en este campo podemos ingresar el número de registro para el cliente nuevo.
- **Correlativo:** Si la medición es para un cliente existente, se puede agregar el número de correlativo, de tal forma que se pueda diferenciar esta nueva medición, del resto de mediciones que se tengan guardadas en base de datos para el mismo cliente.
- **Comentario:** Este campo es para ingresar algún comentario sobre el vehículo, puede ser que haga referencia a alguna modificación que se realice en el motor del vehículo, por ejemplo la instalación de un filtro de aire que de mayor potencia al vehículo.

Una vez que tengamos listos con todos los datos del cliente, el vehículo sobre los rodillos del dinamómetro y el gancho inductivo en un de los cables de las bobinas del motor, como se muestra en la figura 46. Damos un clic en el botón de Aceptar para empezar la medición, si se desea cancelar la medición damos un clic al botón de Cancelar, al cancelar la prueba se elimina el número de correlativo en la base de datos.

Figura 46. Gancho Inductivo y conexión del gancho inductivo al motor en prueba.

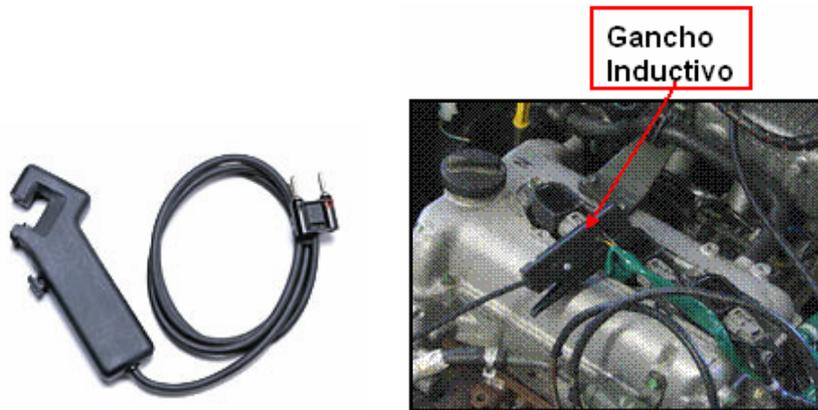


Figura 47. Primera ventana en la opción de Medición.

Dinamómetro de Inercia

MEDICIÓN

Potencia / Torque

Cliente Existente: SI NO

No. De Registro: 2006000075 Correlativo 000007

Nombre: José Antonio Perez

Detalle del Vehículo: Mitsubishi / Lancer / 2006

Tipo de Motor: 1300 c.c.

RPM divisor: 1

Velocidad Tope Vehículo: 180 km/h

Comentario: Instalación filtro de Aire (PIPA)

Fecha: 12/08/2006

Una vez que damos un clic al botón de Aceptar en la ventana de la figura 47, nos cambia de ventana y nos aparece la ventana de la figura 48, la cual se denomina ventana de medición con cuadros digitales. En la cual nos muestra los siguientes campos:

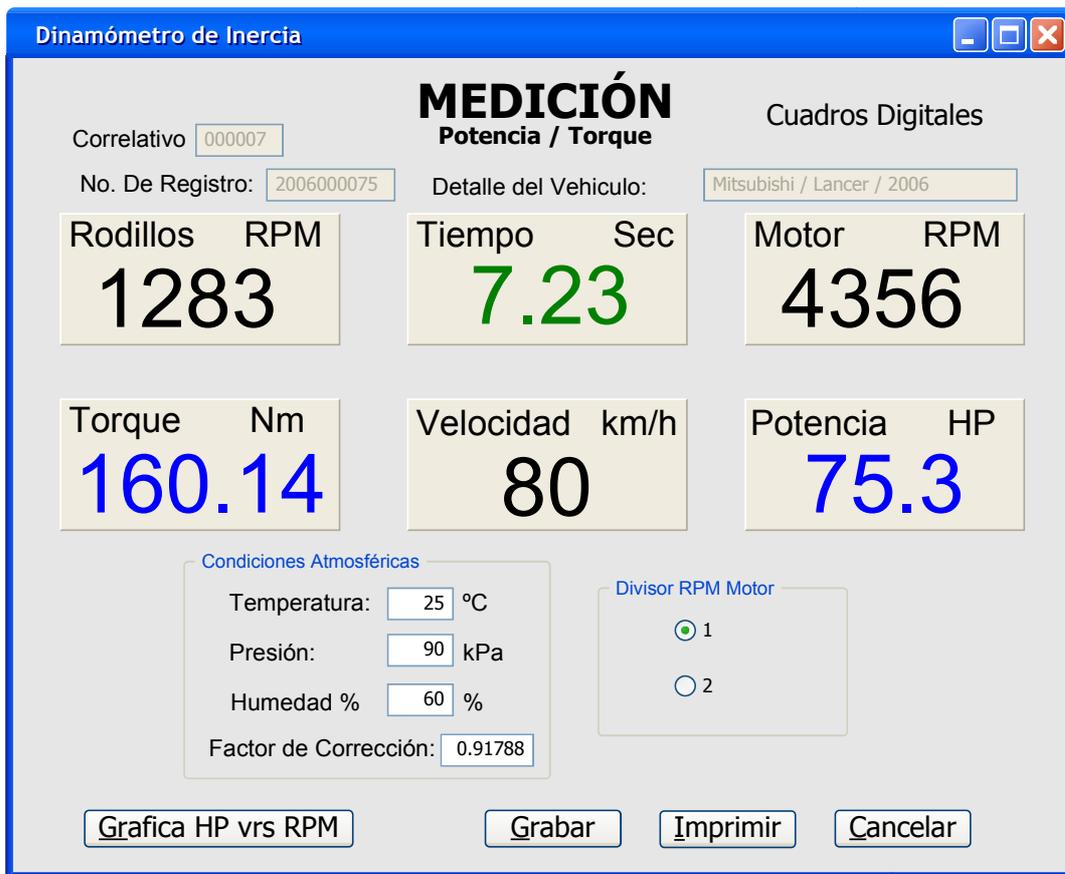
- **Correlativo:** Número de Correlativo de acuerdo a los datos ingresados para el cliente en la ventana de la figura 46.
- **No. de Registro:** Número de Registro de acuerdo a los datos ingresados para el cliente en la ventana de la figura 46.
- **Detalle del Vehículo:** Nos muestra la marca, serie y año del vehículo que se esta midiendo.
- **Rodillos RPM:** En este cuadro nos muestra la velocidad de los rodillos del dinamómetro en RPM, estos datos se refrescan automáticamente y es una medición en tiempo real, para lograr esto el *software* envía la información al PIC de la estructura electrónica indicando que va a empezar la prueba, el PIC en su programación interna tiene una subrutina en la cual realiza aproximadamente 50 lecturas al canal analógico asignado para el tacómetro óptico, estas lecturas las convierte de analógico a digital y envía estos datos digitales por el puerto serial a la computadora, el *software* del dinamómetro de inercia convierte nuevamente estos datos recibidos hacia una escala la cual corresponde a un rango de 0 a 3000 RPM, que es el rango de medición que nos aparecerá en este rango, y que es la velocidad máxima a la que pueden llegar los rodillos del dinamómetro.

- **Tiempo:** Este cuadro nos indica el tiempo en segundos que van transcurridos desde que se inicio la medición.
- **Motor RPM:** En este cuadro nos muestra la velocidad del motor del vehículo en RPM, el proceso de adquisición de estos datos es de la misma forma en que se realiza para la velocidad de los rodillos del dinamómetro. El rango de medición es de 0 a 10000 RPM, y esta directamente relacionado con el divisor RPM motor
- **Divisor RPM motor:** Aquí tenemos únicamente dos opciones 1 o 2, como predeterminado esta seleccionado la opción 1. Esto tiene que ver con el tipo de sistema de ignición que tenga el vehículo, tal como se menciona en el capítulo tres existen tres principales sistemas de ignición: DIS, Chispa pérdida y Chispa por bobina. En el sistema de ignición DIS se producen dos chispas por revolución del motor. En el sistema Chispa pérdida únicamente se produce una chispa por revolución y en el sistema de Chispa por bobina, en algunos casos puede generarse inducción por la bobina vecina, en este caso se estarán produciendo dos chispas por revolución del motor. Para los casos en que se tenga en el tacómetro inductivo dos chispas por revolución hay que seleccionar la opción de 2 y para los casos se tenga únicamente una chispa por revolución se debe quedar en la opción 1.

- **Torque:** Este cuadro nos muestra el torque instantáneo, que es aplicado para poder hacer girar los rodillos del dinamómetro a la velocidad actual, este torque es la medición del torque que esta aplicando el motor del vehículo sobre las ruedas para hacer girar los rodillos del dinamómetro, este dato se calcula en base a la inercia de los rodillos que es un dato constante que se ingresa en la opción de configuración del menú principal, luego se calcula la aceleración angular de los rodillos en base a la rapidez con que cambia la velocidad de los rodillos, luego se realiza la multiplicación de la aceleración angular de los rodillos con la inercia de los rodillos y nos da como resultado el torque aplicado, que es el dato que se muestra en este cuadro y que cambia de forma automática en tiempo real, tal como se mostró el proceso del caculo del torque aplicado en el capítulo dos.
- **Velocidad:** Este cuadro nos muestra la velocidad a la que se hace girar los rodillos del dinamómetro, esta es calculada por el *software* en base a las características físicas de los rodillos ingresados en la opción configuración del menú principal. Este cuadro es de mucha ayuda para cuando no se puedan leer la velocidad del motor en RPM por el gancho inductivo.
- **Potencia:** Este cuadro nos muestra la potencia instantánea que aplica el motor a las ruedas del vehículo, este dato se calcula en base al torque aplicado y la velocidad del motor, tal como se mostró el proceso del caculo de la potencia en el capítulo dos.

- Condiciones Atmosféricas:** En este cuadro nos muestra las mediciones provenientes de los sensores de temperatura, presión atmosférica y humedad relativa acoplados en la estructura electrónica, para la adquisición de estos datos se realiza de la misma forma que en que se hace para la velocidad de los rodillos por medio del PIC, también se muestra el resultado del calculo para el factor de corrección aplicado a la medición de la potencia, el cual se es un dato que depende de las condiciones atmosféricas, para que la medición de la potencia sea igual para un vehículo sin importar como cambien las condiciones atmosféricas, entre una medición y otra.

Figura 48. Ventana Cuadros Digitales, medición potencia y torque.



Los datos mostrados en la ventana de la figura 48, también se puede observar en un gráfica XY de la Potencia HP vrs Velocidad del motor en RPM, para acceder a esta gráfica le damos un clic al botón Gráfica HP vrs RPM. Una vez que terminamos de realizar la medición le damos un clic al botón Grabar, o si deseamos imprimirlo lo podemos hacer por medio del botos de Imprimir. Si por algún motivo no se desea grabar la prueba le damos un clic al botón Cancelar y nos regresa al menú principal del *software* para dinamómetro de inercia.

En la figura 49, se muestra la ventana para la medición del Torque y la Potencia la cual se denomina Gráfica HP vrs RPM, en esta ventana nos muestra los siguientes campos:

- **Correlativo:** Número de Correlativo de acuerdo a los datos ingresados para el cliente en la ventana de la figura 46.
- **No. de Registro:** Número de Registro de acuerdo a los datos ingresados para el cliente en la ventana de la figura 46.
- **Detalle del Vehículo:** Nos muestra la marca, serie y año del vehículo que se esta midiendo.
- **Curva:** En este campo podemos seleccionar para que nos represente en la gráfica el eje Y, la potencia o el torque, se puede seleccionar uno a la vez o ambos en caso de ser ambos en la gráfica nos muestra dos escalas en el eje Y para que podamos observar, la relación de la potencia con el torque aplicado.

- **Eje X:** En campo seleccionamos sobre que dato queremos que nos represente la gráfica en el eje X, podemos seleccionar únicamente uno a la vez y tenemos las opciones de Segundos, Km/h y RPM motor, dependiendo de la representación que se le quiera dar a la gráfica.
- **Divisor RPM:** Al igual que en la ventana medición de cuadros digitales que se muestra en la figura 48. Podemos seleccionar como deseamos que sea el factor divisor de las RPM dependiendo del sistema de ignición. Únicamente podemos seleccionar uno a la vez, tenemos las opciones de 1 y 2.
- **Condiciones Atmosféricas:** Este campo nos muestra las mediciones de Temperatura ambiente, Presión atmosférica, humedad relativa y Factor de corrección de la misma forma en que se realiza en la ventana medición de cuadros digitales que se muestra en la figura 48.
- **Tiempo:** Nos indica el tiempo en segundos que van transcurridos desde que se inicio la medición.

Al igual que en la ventana medición de cuadros digitales, tenemos disponibles los botones de Grabar, Imprimir y Cancelar según lo que se necesite hacer. Si se desea regresar a la ventana medición de cuadros digitales se debe dar un clic al botón Cuadros Digitales.

Figura 49. Ventana Gráfica HP vrs RPM, medición potencia y torque.



4.4 Resultados

Esta opción nos sirve para ver los resultados de las mediciones que se tengan grabadas en la base de datos. Cuando se selecciona esta opción en el menú principal nos muestra la ventana que se presenta en la figura 50.

Para acceder a los datos guardados en la base de datos, se realiza en base al No. de Registro, nos aparece un campo donde podemos seccionar uno de todos los números de registros almacenados, una vez que se ha seleccionado el número de registro correspondiente al cliente, procedemos a seleccionar el correlativo que necesitamos. Una vez ingresados estos datos, la ventana nos muestra los valores máximos medidos durante la prueba. Si queremos imprimir los resultados se puede realizar por medio del botón de Imprimir, la impresión saldrá de una forma similar a como se muestra en la ventana.

Figura 50. Resultados sobre la medición de Potencia y Torque, según datos guardados en base de datos. Ventana de Cuadros Digitales.



Al igual que al momento que se realiza la medición si se necesita se pueden ver estos datos en una gráfica XY, por medio del botón Gráfica HP vrs RPM, como se muestra en la figura 51, en la cual podemos seleccionar el campo de curva que corresponde al eje Y de la gráfica, si queremos únicamente que nos muestre la potencia, el torque o ambos en la misma gráfica, adicionalmente podemos seleccionar sobre que dato queremos interpretar la gráfica en el eje X, las opciones que tenemos para seleccionar son: Segundos, km/h y RPM motor.

Figura 51. Resultados sobre la medición de Potencia y Torque, según datos guardados en base de dato. Ventana de Gráfica HP vrs RPM.



4.5 Factor de Corrección

En la impresión de resultados sobre la prueba del dinamómetro aparece una referencia dada por el factor de corrección. Esto es porque básicamente queremos que el dinamómetro nos de el mismo resultado de la prueba con el mismo motor, esto si no hacemos ningún cambio de piezas y también es necesario que se vean reflejados los pequeños cambios que se le hagan al motor, para hacer comparaciones.

El problema radica en por ejemplo: si se realiza la prueba un día frío por la mañana con una temperatura ambiente de 10°C y la medición nos da que el vehículo tuvo una máxima potencia de 100Hp, luego se vuelve hacer la prueba sin hacerle ningún cambio al vehículo y la prueba se realiza a medio día con una temperatura ambiente de 25°C ahora el resultado de la potencia máxima es únicamente 94HP. Esto no es un error. Lo que sucede es que el vehículo aspira aire mas caliente que es menos denso, por lo tanto necesitamos una formula que pueda medir la temperatura ambiente y de esta forma poder corregir el resultado. Luego al utilizar este factor de corrección el resultado de la prueba será igual de 100Hp sin importar la temperatura.

Luego tenemos otro problema, en algunos días hay también una presión atmosférica más alta o mas baja, la cual se puede medir con el sensor de presión atmosférica. Cuando la presión es “alta” el motor tendrá la capacidad de dar mayor energía por ejemplo para una medición inicial de 100 Hp puede variar + - 4Hp por lo que de igual forma se necesita una formula que corrija esta desviación por la presión atmosférica, y que además se incluya la corrección de la temperatura ambiente. De tal forma que el resultado de la prueba para este motor sean 100 Hp sin importar la temperatura ambiente y la presión atmosférica.

En adición la Humedad Relativa también marca una “pequeña diferencia” en la medición de la potencia. Pero esto es usualmente ignorado por la mayoría de fabricantes, únicamente se muestra como dato en la impresión de resultados para tomarlo como referencia. Vale mencionar sin embargo que el aire húmedo da como resultado una baja realmente energía, este dato

Al aplicar estos términos para el factor de corrección se logra una buena capacidad de repetición del dinamómetro de inercia en la medición para el mismo motor sin cambios mecánicos externos o internos que afecten a la potencia del motor en diversos días, condiciones y localizaciones (la presión atmosférica a nivel del mar es mucho mas alta que en las montañas).

Los datos de la presión atmosférica y de la temperatura ambiente tienen que ser medidos automáticamente o detectados externamente e ingresados al *software* del dinamómetro antes de realizar la prueba para que los resultados de las mediciones tengan aplicados los factores de corrección necesarios.

Se utilizara el estándar SAE-J1349, el cual es usado por muchas compañías constructoras de dinamómetros. Este estándar fue creado para la corrección de las lecturas de potencia y torque el cual determina que la potencia del motor disminuirá 7% por una disminución de la presión atmosférica de cada 50 kPa, con respecto a la presión atmosférica al nivel del mar de aproximadamente 100 kPa. Y un aumento de la potencia de 1%, por una disminución de la temperatura ambiente de cada 5°C, con respecto a una temperatura ambiente de 25°C, y una disminución de la potencia de 1%, por un aumento de la temperatura ambiente de cada 5°C con respecto a los 25°C. El factor de corrección esta dado por la ecuación:

$$f_c = 1.180 \left(\left(\frac{99}{P_d} \right) \sqrt{\left(\frac{T_c + 273}{298} \right)} \right) - 0.18 \quad \text{Ecuación 4.1.}$$

La ecuación 4.1 muestra la forma en que se calcula el factor de corrección, para el estándar SAE-J1349, tomando los datos de la Temperatura ambiente Tc en °C y la Presión atmosférica Pd en kPa.

La Figura 52, nos muestra la ventana para el ingreso de los datos para el factor de corrección, tenemos que ingresar los siguientes datos:

- **Aplicar Factor de Corrección:** Tenemos como predeterminado la opción SI, si en dado caso no es necesario se selecciona la opción NO y se deshabilitan automáticamente el resto de campos, la medición de la potencia sin aplicar factor de corrección se determina medición en bruto.
- **Automático o Manual:** El diseño de este dinamómetro se tiene contemplado los sensores para temperatura, presión atmosférica y humedad relativa si el *software* del dinamómetro va a tomar la medida de estos sensores se selecciona la opción automático, en el caso que no se tengan disponibles estos sensores se selecciona la opción manual y se toma la medición por sensores externos luego se ingresan los datos en cada uno de los campos y automáticamente el *software* calcula el factor de corrección.

Figura 52. Ventana Factor de Corrección, ingreso de datos.

Dinamómetro de Inercia

Factor de Corrección

Aplicar Factor de Corrección: SI NO

Medición de Sensores: Automatico Manual

Temperatura: °C

Presión: kPa

Humedad %: %

Factor de Corrección:

Una vez que se ha seleccionado la forma en que se necesita se aplique, el factor de corrección se debe guardar los cambios dándole un clic al botón de guardar, si no se guardan los cambios queda como predeterminado aplicar factor de corrección y la medición automática, como aparece en la figura 52.

4.6 Configuración

En esta opción se deben ingresar los datos para la configuración del dinamómetro de inercia, los datos que se deben ingresar son:

Características físicas de los rodillos: La exactitud de estos datos es de mucha importancia ya que en base a estos datos se realiza la medición de la potencia, se incluye la opción de ingresar estos datos para que el *software* se acople a la mayoría de rodillos disponibles en el mercado.

- **Diámetro:** Se debe ingresar el diámetro de los rodillos expresado en milímetros mm.
- **Inercia:** Se debe calcular e ingresar la inercia rotatoria de los rodillos en base al peso y las medidas exactas, en el capítulo dos se realiza en ejercicio sobre el cálculo de este parámetro de los rodillos.
- **Rodillos por rueda:** Únicamente tenemos dos opciones 1 o 2, este dato de igual forma esta relacionado con el caculo de la potencia.

También se debe seleccionar el puerto serial para la comunicación entre la computadora y el PIC de la estructura electrónica. Si tiene como predeterminado el puerto de comunicación serial COM1.

Figura 53. Ventana Configuración Dinamómetro.

Dinamómetro de Inercia

Configuración Dinamómetro

Rodillos Características físicas

Diámetro: mm

Inercia: Kg m²

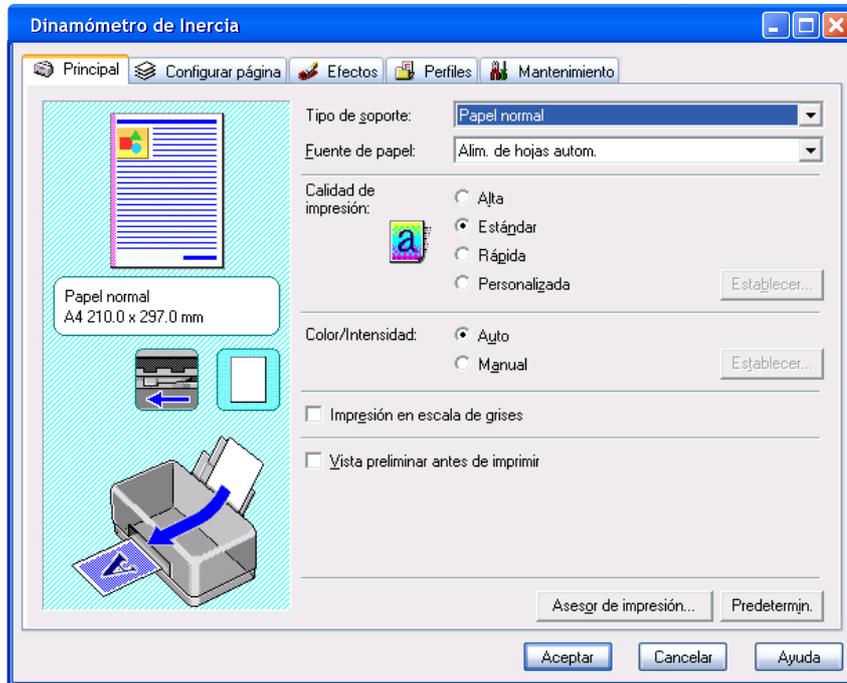
Rodillos por rueda: 1 2

Puerto Serial:

4.7 Impresora

La ventana que nos abre esta opción, puede variar dependiendo de la impresora que se este utilizando, básicamente se puede configurar si necesita imprimir a colores, blanco y negro, calidad de impresión, tamaño de papel y entrar a las diferentes opciones que la impresora nos pueda brindar como parte del mantenimiento que se pueda realizar a la impresora desde esta ventana.

Figura 54. Ventana configuración de impresora.



5. ANÁLISIS ECONÓMICO DEL DINAMÓMETRO DE INERCIA

Para determinar la factibilidad de la implementación del dinamómetro de inercia, es necesario hacer un estudio económico sobre el costo que tendría la construcción del dinamómetro, así como también el tiempo en el que se podría recuperar el capital invertido en la construcción para poder determinar si es factible o no. A continuación se detalla todos los posibles gastos separando los gastos en tres áreas: Estructura Electrónica, Software, Estructura mecánica. En cada área se incluye por separado los costos de mano de obra, y montaje.

5.1 Costos Estructura Electrónica

En esta área se muestran todos los costos de cada modulo, que están involucrados en la circuiteria para cada sensor o medidor (módulos), tomando como referencia los diseños de los circuitos que se mostraron en el capítulo 3 de forma individual.

Para cada medidor o sensor se incluyen únicamente los costos de los dispositivos electrónicos, no se incluye material para la implementación del circuito, ya que estos costos se toman en conjunto con los demás sensores o medidores y se muestran mas adelante en el área de gastos varios.

Todos los elementos se cotizan en la página de Internet <http://www.micropik.com> , se agrega un 75% por gastos de importación y envío a cada dispositivo.

Se incluye el costos en quetzales (Q) y en dólares americanos (\$), el tipo de cambio que se utiliza es 7.65 quetzales por dólar.

Tabla VI. Costos Tacómetro Óptico.

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Resistencia	100 Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	470 Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	1,2 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	2,7 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	10 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Potenciometro	4,7 K Ω	1	\$ 0.40	Q3.45	\$ 0.45	Q3.45
Capacitor	2,2 μ F / 50V	1	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.25	Q1.95
Capacitor	1 μ F / 50 V	1	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.25	Q1.95
Diodo - IR	LD271	1	\$ 0.60	Q5.10	\$ 0.67	Q5.10
Fototransistor	SFH309	1	\$ 1.45	Q12.45	\$ 1.63	Q12.45
Amp OP	LM741	1	\$ 1.73	Q14.84	\$ 1.94	Q14.84
IC	LM2917N	1	\$ 5.97	Q51.13	\$ 6.68	Q51.13
Total					\$ 12.07	Q92.36

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla VII. Costos Tacómetro inductivo.

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Resistencia	1 K Ω	3	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.12	Q0.90
Resistencia	5,1 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	2,7 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	10 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Potenciometro	4,7 K Ω	1	\$ 0.40	Q3.45	\$ 0.45	Q3.45
Capacitor	330 pF	1	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.25	Q1.95
Capacitor	1 μ F / 50V	1	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.25	Q1.95
Gancho Inductivo	RPM80	1	\$ 91.35	Q782.69	\$ 102.31	Q782.69
Diodo	1N4148	1	\$ 0.07	Q0.60	\$ 0.08	Q0.60
Amp OP	LM741	2	\$ 1.73	Q14.84	\$ 3.88	Q29.69
IC	LM2917N	1	\$ 5.97	Q51.13	\$ 6.68	Q51.13
Total					\$ 114.15	Q873.25

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla VIII. Costos sensor de temperatura ambiente.

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Resistencia	1 K Ω	6	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.24	Q1.80
Resistencia	8,2 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	100 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Potenciometro	10 K Ω	1	\$ 0.40	Q3.45	\$ 0.45	Q3.45
Potenciometro	2,2 K Ω	1	\$ 0.40	Q3.45	\$ 0.45	Q3.45
Capacitor	1 μ F / 50V	1	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.25	Q1.95
Amp OP	LM358	1	\$ 1.75	Q14.99	\$ 1.96	Q14.99
Amp OP	LM741	2	\$ 1.73	Q14.84	\$ 3.88	Q29.69
IC	LM35A	1	\$ 3.96	Q33.89	\$ 4.43	Q33.89
Total					\$ 11.74	Q89.81

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla IX. Costos sensor de presión atmosférica.

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Resistencia	1 K Ω	7	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.27	Q2.10
Resistencia	8,2 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Potenciometro	470 Ω	1	\$ 0.40	Q3.45	\$ 0.45	Q3.45
Potenciometro	2,2 K Ω	1	\$ 0.40	Q3.45	\$ 0.45	Q3.45
Capacitor	1 μ F / 50V	1	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.25	Q1.95
Amp OP	LM358	1	\$ 1.75	Q14.99	\$ 1.96	Q14.99
Amp OP	LM741	2	\$ 1.73	Q14.84	\$ 3.88	Q29.69
IC	INA118	1	\$ 7.26	Q62.23	\$ 8.13	Q62.23
IC	MPX2100A	1	\$ 14.35	Q122.95	\$ 16.07	Q122.95
Total					\$ 31.52	Q241.10

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla X. Costos sensor de humedad relativa.

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Resistencia	1 K Ω	5	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.20	Q1.50
Resistencia	8,2 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	6,8 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	3,3 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Resistencia	27 K Ω	1	\$ 0.04	Q0.30	\$ 0.04	Q0.30
Potenciometro	10 K Ω	1	\$ 0.40	Q3.45	\$ 0.45	Q3.45
Capacitor	1 μ F / 50V	1	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.25	Q1.95
Amp OP	LM358	1	\$ 1.75	Q14.99	\$ 1.96	Q14.99
Amp OP	LM741	2	\$ 1.73	Q14.84	\$ 3.88	Q29.69
IC	HIH3610	1	\$ 36.19	Q310.08	\$ 40.53	Q310.08
Total					\$ 47.43	Q362.85

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla XI. Costos Interconexión Sensores y Computadora.

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Capacitor	1 μ F	5	\$ 0.23	Q1.95	\$ 1.27	Q9.75
Capacitor	27 pF	2	\$ 0.23	Q1.95	\$ 0.51	Q3.90
Oscilador Cristal	Xtal 20Mhz	1	\$ 1.49	Q12.74	\$ 1.67	Q12.74
PIC	16F877	1	\$ 16.80	Q143.94	\$ 18.82	Q143.94
IC	MAX232	1	\$ 3.24	Q27.74	\$ 3.63	Q27.74
Conector	DB9	2	\$ 1.49	Q12.74	\$ 3.33	Q25.49
Total					\$ 29.22	Q223.56

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla XII. Costos fuente de poder.

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Transformador	12+12V 2Amp	1	\$ 23.45	Q200.92	\$ 26.26	Q200.92
Puente de Diodos	Rectificadores	1	\$ 0.74	Q6.30	\$ 0.82	Q6.30
Capacitor	2200 μ F / 50V	2	\$ 1.09	Q9.30	\$ 2.43	Q18.59
Regulador + 5V	LM78M05	1	\$ 0.74	Q6.30	\$ 0.82	Q6.30
Regulador + 10V	LM78M10	1	\$ 0.74	Q6.30	\$ 0.82	Q6.30
Regulador + 12V	LM78M12	1	\$ 0.74	Q6.30	\$ 0.82	Q6.30
Regulador - 5V	LM7905	1	\$ 0.56	Q4.80	\$ 0.63	Q4.80
Regulador - 10V	LM7912	1	\$ 0.56	Q4.80	\$ 0.63	Q4.80
Total					\$ 33.24	Q254.30

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla XIII. **Costos gastos varios.**

Descripcion	Valor	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Placa	200 x 300 mm	1	\$ 17.01	Q145.74	\$ 19.05	Q145.74
Conectores	regleta 2 pines	5	\$ 1.45	Q12.45	\$ 8.13	Q62.23
Estaño	20 gramos	1	\$ 3.47	Q29.69	\$ 3.88	Q29.69
Pasta para Soldar	25 gramos	1	\$ 4.01	Q34.34	\$ 4.49	Q34.34
Cable Bicolor	AWG 22 rollo 10 mts	3	\$ 2.00	Q17.09	\$ 6.70	Q51.28
Cinta Aislar		1	\$ 4.78	Q40.93	\$ 5.35	Q40.93
Termoencogible	1,5 mm x 1,2 mts	1	\$ 1.54	Q13.19	\$ 1.72	Q13.19
Total					\$ 49.33	Q377.40

Fuente: <http://www.micropik.com>

Tabla XIV. **Resumen de costos dispositivos electrónicos.**

Resumen de costos		
Módulo	Costo	
Tacómetro óptico	\$ 12,07	Q92,36
Tacómetro Inductivo	\$ 114,15	Q873,25
Sensor Temperatura ambiente	\$ 11,74	Q89,81
Sensor Presión Atmosférica	\$ 31,52	Q241,10
Sensor Humedad Relativa	\$ 47,43	Q362,85
Interconexión sensores - PC	\$ 29,22	Q223,56
Fuente Poder	\$ 33,24	Q254,30
Varios	\$ 49,33	Q377,40
Costos Dispositivos Electrónicos	\$ 328,71	Q2.514,64
Mano de Obra y montaje	\$ 575,25	Q4.400,63
Total Estructura Electrónica	\$ 903,96	Q6.915,27

En la tabla XIV, se muestra un resumen de los costos para poder implementar la estructura electrónica, para el calculo de la mano de obra y montaje se toma el costo total de los dispositivos electrónicos mas un 75%, con lo cual se tiene un costo de los dispositivos electrónicos de Q2514.64, mano de obra y montaje Q4400.63, para hacer un total de Q6915.27, que es el costo total de la implementación de la estructura electrónica para el dinamómetro de inercia.

5.2 Costos del software para dinamómetro de inercia

Para los costos del software, se toma en conjunto el costo del software encargado de controlar el dinamómetro de inercia, base de datos, despliegue de gráficas, etc. Computadora para el funcionamiento tomando como requerimientos mínimos para la computadora: Pentium III 1 Ghz, 128MB memoria RAM, 100MB de espacio libre en disco duro, 1 puerto serial libre RS232 9 pines, monitor XGA (resolución 1024 x 768), tarjeta de sonido para alarmas audibles, Windows XP Home. Impresora a color de inyección o láser. Gabinete para alojar computadora, software e interfase de conexión hacia los sensores.

Tabla XV. **Costos Software para dinamómetro de inercia.**

Descripcion	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Software Dinamometro de Inercia	1	\$ 499.00	Q4,275.43	\$ 499.00	Q4,275.43
Computadora + Windows	1	\$ 520.00	Q4,455.36	\$ 520.00	Q4,455.36
Impresora	1	\$ 75.00	Q642.60	\$ 75.00	Q642.60
Gabinete para PC e impresora	1	\$ 125.00	Q1,071.00	\$ 125.00	Q1,071.00
Total				\$ 1,219.00	Q10,444.39

Fuente: <http://www.land-and-sea.com>

5.3 Costos Estructura Mecánica para dinamómetro de inercia

En los costos de la estructura mecánica, se incluye la construcción de marco para los rodillos, los rodillos y el montaje de toda la estructura mecánica, según las características que se presentaron en el capítulo 2, para el dinamómetro de inercia con rodillo simple.

Tabla XVI. **Costos estructura mecánica, dinamómetro de inercia.**

Descripcion	Cantidad	Precio Unitario \$	Precio Unitario Q	Precio Total \$	Precio Total Q
Banco de Rodillos	1	\$ 4,000.00	Q34,272.00	\$ 4,000.00	Q34,272.00
Montaje	1	\$ 1,000.00	Q8,568.00	\$ 1,000.00	Q8,568.00
Total				\$ 5,000.00	Q42,840.00

Fuente: <http://www.land-and-sea.com>

5.4 Resumen total de costos

En la tabla XVII se muestra el resumen total de gastos, a cada modulo se le ha agregado un 35% que representa la ganancia del proyecto, se incluye un mantenimiento del equipo durante 1 año y el IVA, para dar un total del proyecto de Q96,779.58 (\$ 12,650.93) que es el costo total de la implementación del dinamómetro de inercia.

Si se compara el costo total de la implementación del dinamómetro con los precios de los mercados internacionales que tienen un promedio para un dinamómetro de inercia de \$ 35,000.00, nos podemos dar cuenta que es un proyecto factible de realizarlo en Guatemala sin tener que importar este tipo de equipos desde otro país.

Tabla XVII. **Resumen total de costos**

Descripción		
Electrónica	\$ 1,220.34	Q9,335.61
Software	\$ 1,850.69	Q14,157.76
Mecánica	\$ 7,560.00	Q57,834.00
Sub Total	\$ 10,631.03	Q81,327.38
Mantenimiento 1 año	\$ 744.17	Q5,692.92
IVA	\$ 1,275.72	Q9,759.29
Total	\$ 12,650.93	Q96,779.58

5.5 Tiempo de recuperación de inversión

Al poner en marcha el proyecto del dinamómetro de inercia, si por cada prueba se cobrara Q175.00 y se realizara un promedio de 2 pruebas diarias, en un periodo de 11 meses se tendría la recuperación del capital invertido en la construcción del dinamómetro. Esto sin tomar en cuenta el salario del personal a cargo del dinamómetro y tomando en cuenta que con un buen programa de publicidad se puede superar el promedio diario de pruebas.

CONCLUSIONES

1. Un dinamómetro de inercia con rodillos, es una herramienta muy útil en el campo automotriz, ya que nos da una medida instantánea de la potencia generada por un vehículo; dándonos como referencia a que velocidad del motor se generó dicha potencia, para conocer los rangos en que el motor generará la mayor potencia posible.
2. De las estructuras mecánicas presentadas, tomamos como ideal la estructura de rodillo simple, ya que esta puede tener una mayor capacidad para la medición de la potencia. Tomando en cuenta que la mayoría de vehículos que solicitan la medición con el dinamómetro son vehículos que han sido modificados para aumentar la potencia del motor y se desea verificar dicha modificación en el dinamómetro.
3. Por medio del diseño electrónico de los módulos encargados para las mediciones en el dinamómetro, se logra el objetivo de tener señales que representan los parámetros necesarios para la medición de la potencia, y que a la vez sean enviados a una computadora, para que por medio de un software instalado en la computadora se interpreten y los presenten en forma gráfica.

4. Luego de los gastos necesarios que se presentaron para la implementación del dinamómetro de inercia y la comparación sobre el tiempo de recuperación de la inversión, se da como factible la construcción del dinamómetro, tomando como referencia que el monto para la implementación es un 80 % más bajo del precio de estos equipos en el mercado internacional.

RECOMENDACIONES

1. La construcción de los rodillos para el dinamómetro de inercia debe realizarse con base a cálculos previos sobre sus dimensiones y con base a éstos se debe ajustar el programa en la computadora para una correcta medición.
2. Se deben hacer pruebas con los circuitos electrónicos individuales de cada módulo, antes de acoplarse en conjunto y tomar en cuenta el punto de instalación para cada módulo, ya que en el caso del sensor de temperatura ambiente puede dar datos erróneos si se encuentra en conjunto con los demás sensores.
3. El software para la computadora debe tener la capacidad de acoplarse a cualquier dinamómetro sin importar sus características mecánicas, de preferencia se debe incluir un módulo para el control de un freno en caso que se quiera equipar el dinamómetro con un freno y simular carga durante las pruebas.
4. Antes de la implementación del dinamómetro de inercia se debe hacer un estudio de mercadeo, para determinar la funcionalidad del proyecto dependiendo del área geográfica donde se desee la puesta en funcionamiento del dinamómetro de inercia.

BIBLIOGRAFÍA

1. Millman, Jacobo y Halkias, Chistos, **Electrónica Integrada**, Segunda edición. España: McGraw-Hill, 1995. 907pp.
2. Malvino, Albert Paul. **Principios de Electrónica**, tercera edición. Mexico: McGraw-Hill, 1992, 973pp.
3. Mano, Moris M. **Arquitectura de Computadoras**, tercera edición. Mexico: McGraw-Hill, 1993, 563pp.
4. Resnick, Robert et. al. **Física volumen 1**, tercera edición. Mexico: CECSA, 1997, 658pp.
5. www.dptmex.com
Dynamic Performance Tuning. Enero de 2005.
6. www.dynamometer-info.co.uk.
Información general sobre dinamómetros. Enero de 2005.
7. www.rolcar.com.mx.
Terminología Automotriz. Marzo de 2005.
8. www.automocion.com.
Terminología Automotriz. Junio de 2005.
9. www.soft-engine.com/pagine.web/inglese/inertial0.htm.
Pagina técnica Conceptos básicos y pruebas disponibles para dinamómetros. Marzo de 2006.
10. www.land-and-sea.com/dyno-max-data-acquisition-software/dynomax.htm.
Información sobre especificaciones generales de dinamómetro. Marzo de 2006.
11. www.chipcatalog.com.
Hojas de especificaciones para varios circuitos integrados. Agosto de 2006.

Apéndice 1

CÁLCULOS PARA EL DISEÑO DE LOS CIRCUITOS ELECTRÓNICOS

Tacómetro Óptico

En la figura 28 se muestra el circuito electrónico para el tacómetro óptico. El diodo emisor infrarrojo D1 (LD271) según hoja de especificaciones indica que tiene una corriente máxima de alimentación de $I_{dmax} = 30 \text{ mA}$. Para el cálculo de la R1 utilizamos la ley de ohm, entonces:

$$R1 = \frac{V_{cc}}{I_{d \max}}$$
$$R1 = \frac{5}{30e^{-3}} = 166 \approx 180\Omega$$

Se utiliza el valor de 180Ω ya que el valor de 166 no es un valor comercial de resistencias, con esto tenemos $I_d = 27 \text{ mA}$.

El fototransistor Q1 (SFH309), se utilizara en las regiones de corte y saturación. En la región de corte será cuando no exista señal reflejada por los rodillos y saturación el caso contrario. Donde $V_{CE} = V_1$, Entonces:

Para corte tendremos:

$$V_{CE} = 5V$$
$$I_C = 0A$$

Para saturación tendremos, según hoja de especificaciones:

$$V_{CE} = 0.25V$$
$$I_C = 15mA$$

Para el cálculo de $R_C = R_2$, utilizamos la malla de salida, entonces:

$$-V_{CC} + I_C R_C + V_{CE} = 0$$
$$R_C = \frac{V_{CC} - V_{CE}}{I_C} = 316 \approx 330\Omega$$

Se utiliza $R_C = 330\Omega$, por ser un valor comercial, por lo tanto $I_C = 14.3\text{mA}$.

Para obtener un voltaje de referencia V_2 aproximadamente de 3.5 V, se utiliza dos resistencias formando un divisor de voltaje, aplicando la fórmula de un divisor de voltaje tenemos:

$$V_{R_2} = \frac{V_{CC} R_2}{R_1 + R_2}$$
$$R_2 = \frac{V_{R_2} R_1}{V_{CC} - V_{R_2}}$$

Si, $V_{R_2} = 3.5\text{V}$, $R_1 = 1.2\text{k}\Omega$, $V_{CC} = 5\text{V}$

$$R_2 = 2.8 \approx 2.7\text{K}\Omega$$

Con $R_2 = 2.7\text{K}\Omega$, que es un valor comercial tendremos $V_{R_2} = 3.46\text{V}$ que corresponden a V_2 .

El circuito integrado IC2 (LM2917N), se utiliza para la conversión de frecuencia a voltaje, según hoja de especificaciones tenemos la fórmula para calcular el voltaje de salida con respecto a la frecuencia de entrada $V_O = f_{IN} V_{CC} C_1 R_1 K$, Donde:

f_{IN} : es la frecuencia de la señal de entrada.

V_{CC} : es el voltaje de alimentación, en este caso + 5 Vdc.

C_1 : El valor del capacitor, C_1 .

R_1 : El valor de la resistencia, R_5 .

K : es una constante de la ganancia, típicamente con valor de 1.

Para calcular R5 utilizamos la fórmula según hoja de especificaciones:

$$R_5 \geq \frac{V_{Full_Scale}}{I_{min}}$$

Donde:

V_{Full_Scale} : Es el voltaje requerido a la máxima escala de f_{IN}

I_{min} : Es la corriente mínima de salida, $150\mu A$ según hoja de especificaciones.

Entonces:

$$R_5 \geq 33.3K\Omega$$

$$R_5 = 42.5K\Omega$$

Con $R_5 = 42.5 K\Omega$, utilizamos la siguiente fórmula para calcular C1:

$$C_1 = \frac{V_{Full_Scale}}{R_5 V_{cc} f_{Full_Scale}}$$

Donde:

f_{Full_Scale} : 50 hz, es la frecuencia máxima a la cual $V_o = V_{Full_Scale}$, entonces:

$$C_1 = 470nF$$

Con los valores de C_1 y R_5 , obtenemos la siguiente relación voltaje rpm:

$$1V = 601 \text{ rpm.}$$

$$2V = 1202 \text{ rpm.}$$

$$3V = 1802 \text{ rpm.}$$

$$4V = 2403 \text{ rpm.}$$

$$5V = 3004 \text{ rpm.}$$

Tacómetro Inductivo

En la figura 34, se muestra el circuito propuesto para este módulo, en la primera etapa se tiene un amplificador operacional configurado como amplificador no inversor con ganancia de 5. Para el cálculo de las resistencias se utiliza la ecuación:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

Donde, seleccionamos $R_1 = 1K\Omega$, entonces: $R_2 = 5.1K\Omega$.

En la segunda etapa, se utiliza dos resistencias para formar un divisor de voltaje y tener un voltaje de referencia para el comparador de 3.5 V. Se utiliza los mismos valores para el circuito del tacómetro óptico, teniendo $R_4 = 1K\Omega$ y $R_5 = 2.7 K\Omega$, para un voltaje $V_{R5} = 3.47 =$ Voltaje de referencia.

Para el convertor de frecuencia a voltaje se utiliza el mismo circuito integrado IC3 (LM2917N) que se utilizó en el tacómetro óptico, para este circuito tendremos:

- $V_{Full_Scale}: 5V$
- $I_{min}: 150\mu A$
- $f_{Full_Scale}: 333 \text{ hz que equivale a } 20000 \text{ rpm.}$

Con los anteriores datos podemos calcular los valores para R_6 y C_1 , entonces:

$$R_5 \geq 33.3K\Omega$$

$$R_5 = 44.1K\Omega$$

$$C_1 = 68nF$$

A la salida del circuito conversor tendremos la siguiente relación voltaje – rpm:

$$1V = 4002 \text{ rpm.}$$

$$2V = 8003 \text{ rpm.}$$

$$3V = 12005 \text{ rpm.}$$

$$4V = 16006 \text{ rpm.}$$

$$5V = 20008 \text{ rpm.}$$

Medidor Temperatura Ambiente

En la figura 35, se muestra el circuito propuesto para este módulo, en la primera etapa se tiene IC1 (LM35A), el cual no da voltaje de salida directamente proporcional a la temperatura en grados Celsius de 10mv/°C, R1 es la resistencia de carga para IC1, según hoja de especificaciones del fabricante, luego la señal de salida es pasada por un filtro paso bajo pasivo de primer orden, para este se utiliza la siguiente ecuación para calcular los valores de R y C, según la frecuencia de corte de 20hz.

$$f_o = \frac{1}{2\pi RC}$$

Seleccionamos un valor comercial para C = 1µF, entonces tenemos:

$$R = \frac{1}{2\pi C f_o}$$

$$R = 7.95K\Omega \approx 8.2K\Omega$$

Utilizamos para R = 8.2 KΩ, por ser un valor comercial, por lo que tendremos una frecuencia de corte de fo = 19.46 hz. El amplificador operacional IC2, esta únicamente configurado como seguidor.

La siguiente etapa es un circuito restador, formado por R5, R6, R7, R8 e IC3, los valores de las resistencias son iguales de tal forma que se tendrá la resta de $-V$ con $+V$, en donde $+V$ esta conectado a un divisor de voltaje formado por R3 y R4, se necesita tener un voltaje de referencia en el divisor de voltaje de $V_{R4} = 2.73V$, R3 se selecciona a $1K\Omega$, entonces para R4 tenemos:

$$R_4 = \frac{V_{R4}R_3}{V_{CC} - V_{R4}}$$

$$R_4 = 1.1K\Omega$$

Por último se tiene un circuito amplificador con ganancia de 10, utilizamos la siguiente ecuación para el cálculo de las resistencias, se selecciona $R_9 = 1 K\Omega$, entonces:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = 9K\Omega$$

Medidor Presión Atmosférica

En la figura 35, se muestra el circuito propuesto para este módulo se utiliza el IC1 (MPX2100A), de la hoja de especificaciones encontramos que el sensor tiene un rango de medición de 0 a 100 kPa y una sensibilidad de 0.4 mV/kPa, a la salida del IC1 se utiliza un amplificador de instrumentación con ganancia de 200, para el calculo de R_g se utiliza la ecuación:

$$G = 1 + \frac{50k\Omega}{R_g}$$

Donde se encuentra que $R_g = 251 \Omega$. Luego se utiliza un circuito restador igual al de sensor de temperatura ambiente y un voltaje de referencia de $V_{R3} = 2.73V$ R2 se selecciona a $1K\Omega$, entonces para R3 tenemos:

$$R_3 = \frac{V_{R3}R_2}{V_{CC} - V_{R3}}$$

$$R_3 = 1.72K\Omega$$

Seguido del divisor de voltaje se utiliza un filtro paso bajo pasivo de primer orden igual al del sensor de temperatura ambiente por lo que se utilizan los mismos valores para R y C. Por último se utiliza un amplificador no inversor con ganancia de 2, entonces si seleccionamos $R_1 = 1K\Omega$ tenemos:

$$G = 1 + \frac{R_2}{R_1}$$

$$R_2 = 1K\Omega.$$

Medidor Humedad Relativa

En la figura 39, se muestra el circuito propuesto para este módulo se utiliza el IC1 (HIH-3610), al igual que el sensor de presión atmosférica luego del IC1 se utiliza un filtro paso bajo pasivo de primer orden, luego un amplificador configurado como seguir, seguido un circuito restador con un divisor de voltaje para tener un voltaje de referencia donde $V_{R4} = 0.8V$, R_3 se selecciona a $1K\Omega$, entonces para R_4 tenemos:

$$R_4 = \frac{V_{R4}R_3}{V_{CC} - V_{R4}}$$

$$R_4 = 5.25K\Omega$$

Por último se tiene un amplificador no inversor con ganancia de 1.5, entonces si seleccionamos $R_{10} = 3.3 K\Omega$ tenemos:

$$G = 1 + \frac{R_{10}}{R_9}$$

$$R_9 = 6.8K\Omega.$$

