

**DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DE LA  
RELACIÓN AIRE / COMBUSTIBLE EN EL BANCO DE PRUEBAS DE  
MOTORES DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS**

**DAVID FERNANDO RAMIREZ CABALLERO  
LEUSFUIN ALFREDO MONTES VALDELAMAR**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2006**

**DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DE LA  
RELACIÓN AIRE / COMBUSTIBLE EN EL BANCO DE PRUEBAS DE  
MOTORES DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS**

**DAVID FERNANDO RAMIREZ CABALLERO  
LEUSFUIN ALFREDO MONTES VALDELAMAR**

**Trabajo de Grado para optar al título de  
Ingeniero Mecánico.**

**Director  
JORGE LUIS CHACON VELASQUEZ  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FÍSICO – MECÁNICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2006**

## **DEDICATORIA**

A Dios por darme la vida y oportunidad de superarme,  
Al pueblo Colombiano por financiar mis estudios,  
A Mayito por todo toda una vida de dedicación y amor,  
A mi Papá por su esfuerzo,  
A mis hermanos por ser los mejores,  
A mi familia por su afecto,  
A todas las personas que me acogieron al interior de su hogar,  
A mis amigos por su apoyo,  
A Kate por enseñarme a cambiar.

**Leusfuin Alfredo**

## **DEDICATORIA**

A Dios,

A mis Padres quienes con su esfuerzo y dedicación hicieron posible este sueño.

A Sergio Salinas y Nidia Quintero por su amistad y colaboración en esta etapa.

A mis primos y familiares quien con su apoyo y buenos consejos estuvieron en el momento apropiado.

A mis amigos y compañeros quienes de una u otra manera estuvieron conmigo siempre.

**DAVID**

## **AGRADECIMIENTOS**

A nuestros padres y hermanos por su amor y apoyo.

A Jorge Luis Chacon ingeniero mecánico y director del proyecto, por su respaldo, confianza y colaboración.

A Sergio y Nidia, por vocación de servicio desinteresado.

A nuestros compañeros del laboratorio de fluidos, por su calidad humana y amistad.

Al señor José Luís sarmiento del laboratorio de motores del ICP.

A la ingeniera Olga Patricia Trimiño, por su gestión y apoyo.

A Luis Alfredo Niño compañero y amigo

## TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCION .....	¡ERROR! MARCADOR NO DEFINIDO.
1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA .....	1
1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA .....	1
1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO .....	2
1.3.1 OBJETIVOS GENERALES .....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN .....	4
2. MEDICIÓN DE LOS CONSUMOS DE AIRE Y COMBUSTIBLE EN MOTORES.....	5
2.1 RELACIÓN DE AIRE- COMBUSTIBLE (A/C) .....	5
2.2 MEDICION DEL CONSUMO DE AIRE EN MOTORES.....	6
2.2.1 PROPIEDADES DEL AIRE .....	6
2.2.2 CONSUMO DE AIRE Y DESEMPEÑO DEL MOTOR .....	7
2.2.2.1 Presión Atmosférica .....	8
2.2.2.2 Temperatura.....	9
2.2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FLUJO DE AIRE .....	10
2.2.4 DISPOSITIVO AMORTIGUADOR DE PULSOS .....	12
2.2.5 SENSORES UTILIZADOS.....	12
2.2.5.1 Vent Captor .....	13
2.2.5.2 Tubo Pitot y Dipicelda.....	13
2.2.5.3 Sensor de Temperatura del Aire de Admisión.....	15
2.2.5.4 Tubería Utilizada en el Sistema.....	16
2.3 MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MOTORES .....	19
2.3.1 PROPIEDADES DE LA GASOLINA CORRIENTE.....	19
2.3.2 MEDICIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIBLE EN MOTORES .....	21
2.3.3 MEDIDOR DE FLUJO VOLUMÉTRICO .....	21
2.3.4 MEDIDOR DE FLUJO MÁSIICO.....	22
2.3.5 MONTAJE DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FLUJO DE COMBUSTIBLE.....	22
2.3.5.1 Tanque volumétrico .....	23
2.3.5.2 Microcaudalímetro .....	26
3 MEDICIÓN DEL FLUJO AIRE EN TUBERÍAS USANDO TOBERAS.....	29
3.1 PRINCIPIO DE MEDICIÓN Y MÉTODO DE CÁLCULO .....	31

3.1.1	MÉTODO PARA DETERMINAR EL TAMAÑO DE LA GARGANTA DEL ELEMENTO PRIMARIO.....	32
3.1.2	CALCULO DE LA RATA DE FLUJO.....	33
3.1.3	DETERMINACIÓN DE LA DENSIDAD.....	34
3.2	REQUERIMIENTOS GENERALES PARA LA MEDIDA.....	35
3.2.1	DISPOSITIVO PRIMARIO.....	35
3.2.2	TIPO DE FLUIDO.....	36
3.2.3	CONDICIONES DE FLUJO.....	36
3.3	TOBERA ASME.....	36
3.3.1	TOMAS DE PRESIÓN.....	37
3.3.2	MATERIAL.....	38
3.3.3	PERFIL DE LA TOBERA.....	39
3.4	REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN.....	41
3.4.1	TUBERÍA.....	41
3.4.2	INSTALACIÓN DE BRIDAS.....	42
3.4.3	CENTRADO DE LA TOBERA.....	42
3.4.4	ACONDICIONADORES DE FLUJO.....	43
4	ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES.....	45
4.1	DESCRIPCIÓN GENERAL.....	45
4.2	SENSORES.....	45
4.2.1	SENSOR DE FLUJO DE AIRE VENT CAPTOR.....	46
4.2.2	TUBO PITOT Y DIPCELDA.....	49
4.2.3	MICROCAUDALIMETRO.....	52
4.2.4	SENSOR DE RPM.....	55
4.3	SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS.....	56
4.3.1	FIELD POINT.....	57
4.3.2	TARJETA DE ACONDICIONAMIENTO DE SEÑAL (T.A.).....	58
5	INTERFAZ GRAFICA.....	64
5.1	DESCRIPCIÓN DE SOFTWARE.....	64
5.2	DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ.....	64
5.3	PANEL FRONTAL.....	65
5.4	CADENA DE MEDICIÓN.....	68
6	MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN EL BANCO DE LABORATORIO DE MOTORES.....	71
6.1	BANCO DE GNV.....	72
6.1.1	FUNCIONAMIENTO.....	73

6.1.2 PARTES DEL BANCO .....	74
6.2 CONSUMO DE GAS NATURAL .....	76
6.2.1 CONSUMO MEDIDO .....	76
6.2.2 CRITERIOS DE SELECCIÓN DEL MEDIDOR DE GAS NATURAL .....	77
6.2.2.1 Que se piensa medir? .....	77
6.2.2.2Cuál es el propósito de la medición? .....	78
6.2.2.3 Precisión en la medida .....	81
6.2.2.4 Cuales son las propiedades físicas del fluido en el punto que se desea medir? .....	81
6.2.2.5 Que materiales de construcción son aceptables? .....	82
6.2.2.6 Cuáles son los apremios de la instalación? .....	82
6.2.2.7 Cuales son los lideres para la aplicación especifica que necesitamos? .....	82
 RECOMENDACIONES .....	 85
 CONCLUSIONES .....	 87
 BIBLIOGRAFIA .....	 89

## LISTADO DE FIGURAS

Figura 1. Relación aire-combustible Vs potencia de salida en un MECH	6
Figura 2a, 2b y 2c Efectos de la presión, altitud y temperatura sobre cantidad de aire que ingresa al motor	10
Figura 3. Esquema de los componentes del sistema de admisión de aire	11
Figura 4. Sensor de Flujo de Aire Vent Captor Weber	13
Figura 5. Tubo Pitot	14
Figura 6. Dipicelda	15
Figura 7. Tuberías aspiración de Aire	18
Figura 8. Esquema del Sistema de Alimentación de Aire para el Motor	18
Figura 9. Esquema del Sistema de Medición del Flujo del Combustible	23
Figura 10. Tanque Volumétrico	24
Figura 11 Esquema sistema de medición de consumo volumétrico	26
Figura 12. Esquema del sistema de medición del consumo de flujo de Combustible	27
Figura 13. Sistema para la medición de la relación aire-combustible	28
Figura 14. Tobera tipo ASME	29
Figura 15. Toberas ASME	37
Figura 16 Tobera Modelada en Solid Edge	40
Figura 17. Perfil y Geometría de Tobera	41
Figura 18. Banco de medición de flujo de gases	47
Tabla 19. Gráfica de Caracterización del Sensor Flujo de Aire Vent Captor	48
Figura 20. Caracterización del tubo Pitot	50
Figura 21. Grafica de caracterización del conjunto tubo pitot y dipicelda	51
Figura 22 Configuración caracterización del sensor flujo de combustible microcaudalímetro.	53
Figura 23. Grafica de Frecuencia vs Caudal del microcaudalímetro	54

Figura 24. Sistema de distribución del motor R 21	56
Figura 25. FP 1000	57
Figura 26. Tarjeta acondicionamiento señal	58
Figura 27. Circuito de Fuente interna de la tarjeta	59
Figura 28. Circuito Alimentación y recepción de señal de flujo de Aire Vent Captor	60
Figura 29. Alimentación y recepción de señal de la Dipicelda	60
Figura 30. Señal original sensor RPM.	61
Figura 31. Señal original sensor Microcaudal.	61
Figura 32. Circuito Microcaudalímetro	62
Figura 33. Circuito RPM	62
Figura 34. Conexiones entre la tarjeta y el Field Point	63
Figura 35. Panel frontal y de Bloques	65
Figura 36. Vista detallada de las secciones del panel frontal	66
Figura 37. Carpeta de relación A/F Vs RPM y A/F Vs tiempo	67
Figura 38. Carpeta de Medición Externa	68
Figura 39. Cadena de Medición.	68
Figura 40. Diagrama de flujo	69
Figura 41. Panel de Bloques	70
Figura 42. Banco de Conversión de Gasolina a Gas Natural	72
Figura 43. Banco de prueba GNV	75
Figura 44. Esquema del Medidor de flujo másico FLUID COMPONENTS	83

## LISTADO DE TABLAS

Tabla 1. Composición aproximada del Aire.	6
Tabla 2. Tipos Comunes de Termocuplas	16
Tabla 3. Diámetro de Tubería de Admisión de Aire.	17
Tabla 4. Propiedades generales de la gasolina.	20
Tabla 5. Gasolina Corriente.	20
Tabla 6. Características del Microcaudalímetro según fabricante	28
Tabla 7. Diámetros máximos recomendados en los agujeros de las tomas de presión.	38
Tabla 8. Longitudes requeridas de instalación en platinas y toberas.	43
Tabla 9. Características de Vent Captor.	46
Tabla 10. Tabla de datos de promedios de caracterización del sensor de flujo de aire Vent Captor	48
Tabla 11. Características de la Dipicelda.	49
Tabla 12. Tabla de datos de promedios de caracterización del tubo Pitot Dipicelda	52
Tabla 13. Características del microcaudalímetro.	52
Tabla 14. Rangos de medición del microcaudalímetro.	52
Tabla 15. Tabla de datos de promedios de caracterización del sensor de flujo de combustible (Microcaudalímetro)	54
Tabla 16. Usos del Gas Natural.	71
Tabla 17. Prueba de Consumo de Combustible sin Carga.	76
Tabla 18. Aplicabilidad de los Principales Tipos de Flujómetros.	80

## LISTA DE ANEXOS

ANEXO A DATOS TECNICOS DEL MOTOR RENAULT 21	90
ANEXO B CALCULOS TOBERA	91
ANEXO C CONFIGURACION FIELD POINT	95
ANEXO D INSTRUCTIVO DE PRUEBA A/C	110
ANEXO E PRUEBA REALIZADAS	116
ANEXO F PLANOS TOBERA	129
ANEXO G COTIZACIONES	134

## SÍMBOLOS Y ABREVIATURAS

NOTACION	SIGNIFICADO
<b>A</b>	Area
<b>A/C</b>	Aire Combustible
<b>C</b>	Coeficiente de Descarga
<b>Carrera/Rev</b>	Numero de carreras de admisión por revolución del motor
<b>CP</b>	Coeficiente del Pitot
<b>d</b>	Diámetro de la Garganta de la Tobera
<b>D</b>	diámetro interno de la Tubería
<b><math>\Delta P</math></b>	Diferencia de Presión
<b>Fa</b>	Factor de Corrección por expansión Térmica
<b>K</b>	Constante del Ciclo
<b>KT</b>	Constante adimensional para el calculo del Plenum
<b>N</b>	Revoluciones por minuto del Cigüeñal del Motor
<b>P</b>	Presión
<b>Q</b>	Caudal Volumétrico
<b>q</b>	Flujo Másico
<b>R</b>	Constante del Aire
<b>SW</b>	Volumen de Barrido de un Cilindro
<b>T</b>	Temperatura
<b>V</b>	Caudal de Aire consumido por el Motor
<b>v</b>	Velocidad
<b>Vol</b>	Volumen del Plenum Chamber
<b>Vs</b>	Cilindrada del Motor
<b>Z</b>	Factor de Compresibilidad

LETRAS GRIEGAS	SIGNIFICADO
$\alpha$	Factor de Expansión Térmica
$\beta$	Relación d/D
$\varepsilon$	Factor de Expansión
$\eta_v$	Relación de Aire aspirado Vs Volumen de la Cilindrada
$\rho$	Densidad
$\pi$	Número Pi

SUBINDICE	SIGNIFICADO
<b>1</b>	Aguas Arriba
<b>2</b>	Aguas Abajo
<b>ai</b>	Aire
<b>f</b>	Fluido
<b>f1</b>	Fluido Aguas Arriba
<b>f2</b>	Fluido Aguas Abajo
<b>m</b>	másico
<b>max</b>	Maximo
<b>meas</b>	
<b>n</b>	Condiciones Normales
<b>p</b>	Tubería
<b>pe</b>	Dispositivo Primario
<b>t</b>	Condiciones de Prueba
<b>v</b>	Volumétrico

## RESUMEN

### TITULO:

**DISEÑO Y MONTAJE DE UN SISTEMA PARA LA MEDICIÓN DE LA RELACIÓN AIRE / COMBUSTIBLE EN EL BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DEL LABORATORIO DE MAQUINAS TÉRMICAS'**

### AUTORES:

David Fernando Ramírez Caballero  
Leusfuin Alfredo Montes Valdelamar".

### PALABRAS CLAVES:

Relación Aire/Combustible, medición flujo de aire, medición consumo de combustible, Caracterización, Tobera, Interfaz.

### DESCRIPCIÓN:

En el presente trabajo se exponen: la importancia de la medición de la relación de Aire/Combustible (A/C), diseño de un sistema para dicha medición contando con la utilización de los recursos del Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas (LMTA), diseño de una tobera ASME tipo Long Radius, caracterización de los sensores utilizados, diseño de una interfaz grafica en la que se muestran la información adquirida y procesada y una metodología para la escogencia de un medidor de flujo para gas natural, todo lo anterior se desarrolló en el marco del proyecto titulado "**Diseño y Montaje de un Sistema para la Medición de la Relación Aire / Combustible en el Banco de Pruebas de Motores del Laboratorio de Maquinas Térmicas.**", en este proyecto también se presenta una descripción del sistema montado en el Banco de Pruebas de Motores (BPM) y una metodología para el correcto uso de esta prueba

Con los resultados obtenidos se logra tener una experiencia practica de índole didáctico, encaminadas a la ampliación y afianzamiento de los conocimientos teóricos en área de Maquinas térmicas Alternativas y se sugiere la consecución de nueva tecnología como otros métodos para la medición de la relación A/C.

---

<sup>1</sup> Trabajo de Grado

<sup>2</sup> Facultad de Ingeniería Físico-Mecánica, Escuela de Ingeniera Mecánica, Ing. Jorge Chacón

## SUMMARY

### TITLE:

**DESIGNING AND ASSEMBLING OF A SYSTEM TO MEASURE THE AIR/FUEL RATIO IN ENGINE TEST LAB FOR THE LABORATORY OF ALTERNATIVE THERMAL MACHINES<sup>1</sup>.**

### AUTHORS:

David Fernando Ramírez Caballero  
Leusfuin Alfredo Montes Valdelamar<sup>2</sup>

### KEY WORDS:

Air/Fuel Ratio, Airflow measurement, Fuel consumption measurement, Characterization, Flow Nozzle, Interface.

### DESCRIPTION:

In this project we show: the importance in the measurement of the ratio Air/Fuel, the design of a system for this measurement using the resources in the Alternative Thermal Machines Laboratories, the design of a Long Radius ASME flow nozzle, the characterization of the sensors used, the design of graphic interface in which we show the acquire and processed information and also a methodology of picking a flow meter for natural gas. All this things mentioned were developed in the project named **“Designing and Assembling of a System To Measure the Air/Fuel Ratio in Engine Test Lab for the Laboratory Of Alternative Thermal Machines”**. In this project is also shown a description of the system assembled in the Engine Test Lab and methodology of correct use of this test.

With the obtained results, we achieved some practical experience in an academic way, direct towards the amplification in the area of alternative thermal machines, and we suggest the obtaining of new technology for the ratio Air/Fuel measurement.

---

<sup>1</sup> Degree Project

<sup>2</sup> Faculty of Physical-Mechanical Engineering, School of Mechanical Engineering, Ing. Jorge Chacon

## INTRODUCCIÓN

Una parte esencial del análisis del funcionamiento del motor es la medición precisa y significativa del consumo de aire y combustible.. El aire es un elemento esencial en el proceso de combustión. La experiencia nos dice que para arrancar un motor que esta frío se necesita una mezcla rica y esto cambia a medida que el motor va adquiriendo su condiciones de funcionamiento.

Para la industria automotriz el campo de medición de estos parámetros es uno de los mas importantes dado que sirve de base para el cálculo de otros, tales como consumo específico de combustible, eficiencia térmica, eficiencia volumétrica a diferentes condiciones de carga y revoluciones, vemos que este proyecto es un primer paso para el cálculo de los anteriores parámetros, puesto que se necesita que el proceso sea completamente automático además de sensar la cantidad de carga suministrada por el dinamómetro.

El proyecto consistió en diseñar y montar un sistema para la medición de la relación aire/combustible, sensando los consumos de aire y combustible por medio de recursos existentes en el laboratorio, el diseño se basa en las recomendaciones de la norma SAE J 244.

Esta tesis incluye una descripción de los diferentes subsistemas montados para la medición de flujo de aire y de combustible, el diseño de un medidor de presión diferencial tipo tobera recomendado por la SAE, explicación de los diferentes circuitos y elementos utilizados en el acondicionamiento y adquisición de los datos suministrados por los sensores, el diseño de una interfaz grafica en la cual se muestra los resultados de las pruebas realizadas al motor.

# **1 PRELIMINAR**

## **1.1 IDENTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

Las prácticas de Motores de encendido por chispa (MECH) en el laboratorio de Máquinas Térmicas Alternativas de la Escuela de Ingeniería Mecánica se vienen desarrollando sin el debido aprovechamiento de los recursos existentes, lo anterior esta dando lugar a una sub-utilización de los recursos con los que cuenta el laboratorio, lo que se traduce en un desperdicio del potencial del mismo, y además a un aprendizaje parcial del estudiante en el área de los motores de encendido por chispa (MECH). Se necesita implementar nuevas experiencias y equipos que nos permitan actualizar y optimizar el laboratorio existente.

## **1.2 JUSTIFICACIÓN PARA SOLUCIONAR EL PROBLEMA**

Con el objetivo de contribuir con el desarrollo tecnológico de la Universidad Industrial de Santander y formar profesionales con conocimientos teórico práctico que puedan desenvolverse de una manera eficaz en el sector industrial. En este marco, este proyecto tiene la finalidad que los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la Universidad Industrial de Santander aprendan haciendo, observando y sacando conclusiones con respecto a los distintos métodos para medición de flujo de aire y combustible especialmente en aplicaciones de Motores de Encendido por Chispa (MECH). Al mismo tiempo, se recuperan recursos ya existentes del Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas (LMTA). No olvidemos que los ingenieros mecánicos son uno de los principales responsables en el diseño, construcción y

mantenimiento de las máquinas para nuestro caso en su mayoría máquinas de transporte, en este sentido la Escuela de Ingeniería Mecánica tendrá que seguir apoyando proyectos de esta índole para el bien de nuestros futuros profesionales.

### **1.3 OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

#### **1.3.1 Objetivos Generales**

- ✓ Contribuir con la misión de la Universidad Industrial de Santander en la generación y adecuación de conocimientos en los campos de acción de la tecnología y de la técnica en las Máquinas Térmicas Alternativas, dirigidas hacia los motores de encendido por chispa, para aportar asistencia frente a los requerimientos, problemas y tendencias de la comunidad universitaria y la industria, con miras al desarrollo regional y nacional.
  
- ✓ Colaborar a la mejora de los procesos académicos en la Escuela de Ingeniería Mecánica en la materia Máquinas Térmicas Alternativas en el área de motores de combustión interna, en cuanto a su organización, actualización y aprovechamiento de los recursos existentes.

#### **1.3.2 Objetivos Específicos**

- ✓ Medir el flujo de aire, para lo cual se deberá:
  - Diseñar una tobera medidora de flujo de aire según recomendaciones ASME, para un caudal máximo de 200 m<sup>3</sup>/h.

- Caracterizar y montar un conjunto tubo pitot más dipicelda para la medición del flujo de aire. Las mediciones de estos se contrastarán con las del anemómetro que se encuentra en el laboratorio de mecánica de fluidos de la escuela de ingeniería mecánica.
- Caracterizar e instalar el sensor medidor de velocidad de aire, rango de 2 a 20 m/s, marca WEBER.
- ✓ Medir el flujo de combustible, para lo cual se deberá:
  - Diseñar y montar un medidor volumétrico de gasolina con mirilla de vidrio graduada con capacidad volumétrica de 2.5 litros.
  - Caracterizar e instalar un microcaudalímetro para medir el flujo de gasolina, que trabaja en un rango 100 mL/min – 6 L/min, marca SIGNET.
- ✓ Diseñar una interfaz grafica en LABVIEW 7.0 para adquirir las señales producidas por los sensores utilizados en este proyecto (termocuplas, sensor de velocidad de aire, microcaudalímetro, conjunto tubo pitot mas dipicelda)
- ✓ Diseñar y elaborar un instructivo de prueba de laboratorio que indique la correcta metodología definida en este proyecto de grado.
- ✓ Establecer un rango de consumo de gas natural, como combustible alternativo y seleccionar un medidor de flujo adecuado cuando el motor trabaje con este tipo de combustible.

#### **1.4 JUSTIFICACIÓN DE LA SOLUCIÓN**

El proyecto basa su importancia por la necesidad adquirir nuevas experiencias en el banco de pruebas de motores del laboratorio de MTA por medio del aprovechamiento de los recursos existentes y por la adquisición de otros para que sean de gran utilidad y aporte para la comunidad universitaria y en particular para la escuela de Ingeniería Mecánica.

El presente proyecto será parte del banco de pruebas de motores, abarcará el diseño, reacondicionamiento o adecuación y optimización de este banco en lo concerniente al sistema de medición de la relación aire combustible. Basa su importancia en que es un primer paso para el proyecto macro de automatización total del banco para así de esta manera medir en tiempo real las variables de entrada (temperaturas, diferenciales de presión, flujos másicos y volumétricos) cambiar parámetros (grado de abertura de la mariposa del acelerador y cantidad de carga aplicada) y con esto medir variables de salida (revoluciones, potencia de salida, consumo específico de combustible, par, etc).

Al finalizar el macroproyecto los estudiantes podrán darse cuenta de la importancia de la medición de la relación de aire-combustible en lo que tiene que ver con los cálculos para determinar una información más completa sobre las características de operación del motor, tales como eficiencia volumétrica, el consumo específico del combustible y la eficiencia térmica.

## 2. MEDICIÓN DE LOS CONSUMOS DE AIRE Y COMBUSTIBLE EN MOTORES

### 2.1 RELACIÓN DE AIRE- COMBUSTIBLE (A/C)

Al analizar el rendimiento de un motor de combustión interna es de gran importancia determinar las cantidades relativas de aire y combustible presentes en la mezcla suministrada.

Esta relación puede obtenerse con gran precisión mediante el análisis químico de los gases de escape. Sin embargo también puede determinarse efectuando las mediciones por separado del aire y del combustible suministrado al motor en un tiempo determinado.

$$\text{Relacion (A/C)} = \frac{\text{Consumo de Aire (en Kg/h o lb/h)}}{\text{Consumo de Combustible (en Kg/h o lb/h)}} \quad \text{Ecuación 1}$$

Se ha encontrado experimentalmente que es necesaria una relación definida para obtener la máxima potencia y otra relación diferente para máxima economía. La máxima economía del motor se obtiene cuando la liberación sea máxima. Esta condición se logra cuando el combustible se quema completamente.

La figura 1 representa las características de un motor de encendido por chispa en función de diferentes relaciones aire-combustible.

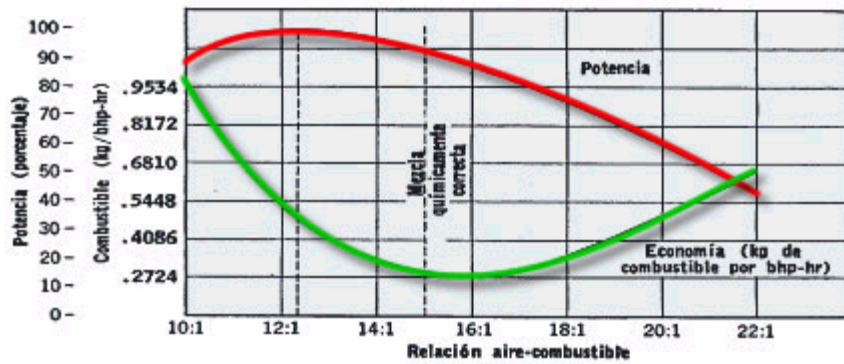


Figura 1. Relación aire-combustible Vs potencia de salida en un MECH<sup>1</sup>

## 2.2 MEDICION DEL CONSUMO DE AIRE EN MOTORES

La medición exacta del consumo de aire en motores no es de ninguna manera una tarea fácil, dadas las particularidades de las Maquinas Térmicas Alternativas, pero es una tarea muy importante para que se desarrolle una combustión adecuada.

### 2.2.1 Propiedades del Aire

El aire es una mezcla de gases con la siguiente composición aproximada:

Tabla 1. Composición aproximada del Aire

	% en masa	% en volumen
Oxígeno, O <sub>2</sub>	23.15	20.95
Nitrógeno, N <sub>2</sub> + otros gases	76.85	79.05
	100	100

Además contiene vapor de agua que varía en un rango entre 0.2% a 2% de volumen de aire seco. La cantidad de vapor de agua presente depende de la temperatura y de las condiciones atmosféricas. Puede tener una influencia

<sup>1</sup> Tomada de [www.virtual.unal.edu.co](http://www.virtual.unal.edu.co)

importante en el desempeño del motor, notablemente en las emisiones de los gases de escape.

La relación entre la presión, la temperatura y densidad del aire la describe la ecuación de gas ideal, ver ecuación 2:

$$P_a = \rho R T_a \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde  $R$  es la constante del gas que para el aire tiene un valor de:

$$R = 287 \frac{J}{Kg * K}$$

El valor de la densidad a condiciones de referencia sobre el nivel del mar es

$$\rho = 1.2 \frac{Kg}{m^3}$$

### 2.2.2 Consumo de Aire y Desempeño del Motor

Podemos decir que la potencia disponible de un motor este limitada por la carga de aire que puede ser suministrada.

$$\dot{V}(m^3 / s) = \eta_v * \frac{V_s(m^3) * N(rpm)}{60 * K} \quad \text{Ecuación 3}$$

Donde  $K=1$  para ciclo de 2 tiempos y  $K=2$  para ciclo de 4 tiempos,  $V$  es el flujo de aire en  $m^3/s$  y  $V_s$  el volumen de la cilindrada y  $N$  son las revoluciones a la que gira el motor.

---

<sup>2</sup> Tomada de PLINT Michael, Engine Testing, Theory and practice, 1999

El valor de la relación del volumen de aire aspirado por ciclo Vs volumen del cilindro  $\eta_V$  podemos asumirla 0.8 para motores naturalmente aspirados y 2.5 para motores turbocargados.

El desempeño del motor depende además de la cantidad de aire que ingresa al cilindro, la eficiencia volumétrica, que a su vez depende de las válvulas, sellos, y conductos internos.

Las condiciones del aire a la entrada del motor son función de los siguientes parámetros:

- Presión.
- Temperatura.
- Contenido de humedad.
- Impurezas.

Para los primeros tres factores se toman a condiciones normales (presión atmosférica 1 bar, Temperatura 25 °C, Humedad relativa 30%).

### 2.2.2.1 Presión Atmosférica

La eficiencia volumétrica de un motor tiende a ser independiente de la presión a la que se suministra el aire. La masa de aire consumido tiende a variar proporcionalmente con respecto a la densidad, la cual así mismo es proporcional a la presión absoluta, la presión atmosférica varía con la altura sobre el nivel del mar, asumiendo que las otras condiciones permanecen sin cambio. De esta manera podemos relacionar la densidad por medio de la ecuación 4<sup>3</sup>.

$$\rho_t = \rho_n \frac{p_t}{p_n} \quad \text{Ecuación 4}$$

Donde

---

<sup>3</sup> Tomada de PLINT Michael, Engine Testing, Theory and practice, 1999

$\rho_t$  = Densidad a condiciones de la prueba, Kg/m<sup>3</sup>

$\rho_n$  = Densidad a condiciones normales, Kg/m<sup>3</sup>

$p_t$  = Presión atmosférica a condiciones de la prueba, bar

$p_n$  = Presión atmosférica a condiciones normales. bar

### 2.2.2.2 Temperatura

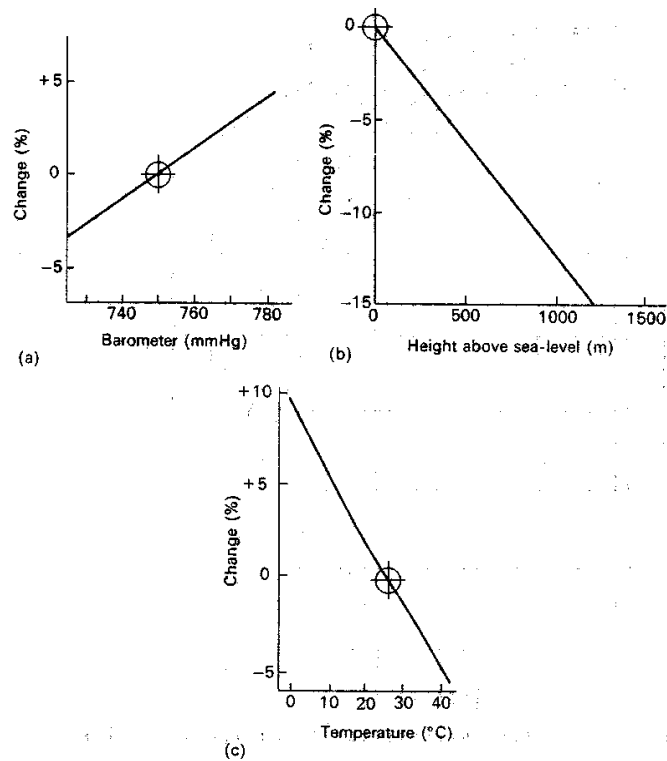
Las variaciones de temperatura del aire de alimentación tienen un efecto del mismo orden de magnitud tal como las variaciones en la presión atmosférica, la densidad del aire varía inversamente con la temperatura absoluta tal como lo indica la ecuación 5.

$$\rho_t = \rho_n \frac{298.15}{T_t + 273.15}$$

**Ecuación 5**

donde  $T_t$  = Temperatura de prueba.

El efecto de la presión atmosférica, altitud y temperatura del aire de admisión sobre la masa del aire que ingresa se ve en las figuras 2a, 2b y 2c.



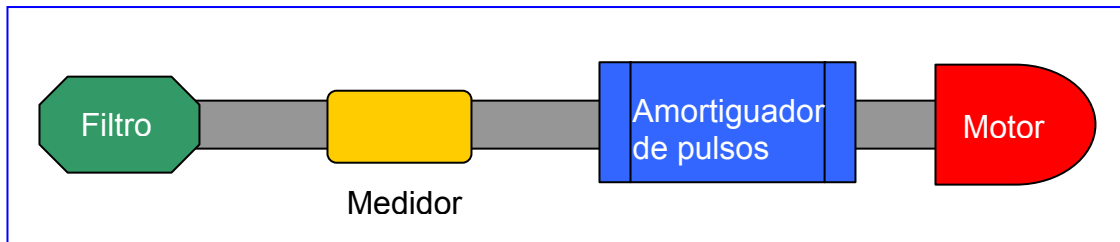
**Figura 2a, 2b y 2c Efectos de la presión, altitud y temperatura sobre cantidad de aire que ingresa al motor**

Comparando con los efectos de la presión y la temperatura la influencia de la humedad relativa del aire de alimentación sobre la cantidad que ingresa es relativamente pequeña excepto para altas temperatura de aire, el contenido de humedad del aire ejerce influencia sobre el desempeño del motor. Hasta el momento se ha analizado el problema de humedad del aire desde el punto de vista termodinámico pero también tiene que tenerse en cuenta que una unidad de volumen de aire húmedo contiene menos oxígeno que la misma unidad de volumen de aire seco al las mismas condiciones de temperatura de aire y presión.

### 2.2.3 DISEÑO DEL SISTEMA DE MEDICIÓN DE FLUJO DE AIRE

Para determinar el flujo de aire que entra al motor de combustión interna del banco de pruebas de motores teniendo en cuenta los sensores con los que

contamos para realizar estas mediciones se realizo un diseño que tuviera en cuenta algunos componentes que recomienda en **SAE J244 JUN 83** “**Measurement of intake air or exhaust gas flow of diesel engines**” .



**Figura 3. Esquema de los componentes del sistema de admisión de Aire<sup>4</sup>**

El esquema del diseño dado en la figura 3 consta principalmente de un filtro encargado de que el aire que entre al motor este libre de partículas que puedan ocasionar algún daño en el, un medidor que es el encargado de leer indirectamente la cantidad de flujo que circula, un amortiguador de pulsos que minimiza las pulsaciones que se producen debido a la naturaleza reciprocante de los motores, una termocupla que referencia la temperatura a la cual se encuentra el aire en la admisión. Cabe anotar que debe existir una longitud mínima de tubería aguas arriba y aguas abajo del medidor que garantice la linealidad del flujo y tenga un diámetro tal que proporcione la medición de flujo en un rango determinado dependiendo del tipo de sensor utilizado.

Para la medición del flujo de aire se propone el diseño de un sistema, el cual usa dos métodos diferentes dado que el laboratorio dispone de dos sensores que trabajan bajo principios de funcionamiento diferentes y se recomendará un tercer método que es el que recomienda la norma **SAE J244 JUN 83** para aplicaciones automotrices.

---

<sup>4</sup> Realizada por los Autores

## 2.2.4 Dispositivo amortiguador de pulsos

También llamado Plenum Chamber, debido a la naturaleza de los motores, las pulsaciones de presión en el sistema de medición de aire puede aparecer. En general las pulsaciones en el sistema produce efectos adversos en muchos de los dispositivos de medición de flujo de aire y deben ser controlados para las mediciones de flujos particulares. Un plenum Chamber entre el medidor y la entrada de aire al motor puede ayudar a aislar el medidor para disminuir las pulsaciones.

El volumen mínimo recomendado para el plenum chamber debe ser calculado por la ecuación 6<sup>5</sup>

$$\text{Vol} = \frac{KT * SW}{N * \sqrt{\text{Carrera/Rev}}} \quad \text{Ecuación 6}$$

Donde:

<b>Vol<sub>mínimo</sub> (m<sup>3</sup>)</b> = Volumen de Plenum Chamber (calculado)	0.0374
<b>SW (L)</b> = Volumen barrido de un cilindro	0.5
<b>N</b> = Velocidad más baja a la cual las mediciones de flujo de aire van a hacer hechas	850
<b>Carrera/Rev</b> = Numero de carreras de admisión por revolución del motor	2
<b>KT</b> = Constante adimensional, Valor aconsejado para: <u>Otros medidores y motores</u>	90

## 2.2.5 Sensores utilizados

---

<sup>5</sup> Tomada de la SAE J244 JUN83

### 2.2.5.1 Sensor de Flujo de Aire Vent Captor

Mide la velocidad del aire, se basa en el principio de funcionamiento calorimétrico. El principio calorimétrico consiste en hacer pasar una corriente eléctrica suficiente para provocar el calentamiento de las paletas metálicas, ya que el sensor se encuentra introducido en la tubería por la cual circula el fluido, las paletas se enfrían por convección, con la consiguiente variación en la corriente eléctrica. Todo esto proporciona un ancho rango de utilización acompañado de una gran precisión, el ancho de rango va de 0 a 20 m/s.



Figura 4<sup>6</sup>. Sensor de Flujo de Aire Vent Captor Weber

Utilizaremos este sensor para medir de manera indirecta el flujo de aire que admite el motor, para esto utilizaremos la ecuación 7 que relaciona la velocidad con el flujo másico de aire.

$$q_m = \rho * v * A \left[ \frac{\text{kg}}{\text{s}} \right] \quad \text{Ecuación 7}$$

### 2.2.5.2 Tubo Pitot y Dipicelda

El tubo pitot corresponde a un medidor de la serie 160S, marca Dwyer. Es el encargado de producir un diferencial de presión para de esta forma calcular

---

<sup>6</sup> Tomada de [www.captor.com](http://www.captor.com)

el flujo másico del aire. Está diseñado para la medición de flujo con alta cantidad de material particulado, por está razón al trabajarlo con aire obtenemos unos resultados superiores a los esperados. El tubo pitot es un aparato que no mide directamente la velocidad del fluido, sino que da una cantidad medible que se puede relacionar con la velocidad.

El flujo es fácilmente calculado a partir de los valores de densidad y velocidad según lo dictan las ecuaciones 5 y 8.

$$v = CP \sqrt{\frac{2 * \Delta P}{\rho}} \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde el coeficiente C es dado por el fabricante y es 0.84



**Figura 5 Tubo Pitot<sup>7</sup>**

La dipicelda es un transductor de presión diferencial, el cual nos transforma una diferencia de presión en una señal analógica que puede ser vista por un display de aguja, ver figura 6.

Tiene una lectura máxima de una pulgada de agua (1" de H<sub>2</sub>O).

---

<sup>7</sup>Tomada de [www.dwyer.com](http://www.dwyer.com)



**Figura 6 Duplicada**

### **2.2.5.3 Sensor de Temperatura del Aire de Admisión**

La medición de la temperatura así como cualquier otra variable tenidas en cuenta en el presente proyecto. Tiene como objetivo principal eliminar el error visual que se presenta cada vez que se utiliza un instrumento convencional con indicador de carátula, así como mejorar la resolución de medida, disminuir e tiempo de recolección de datos, facilitar su almacenaje y posterior estudio y reducir riesgos sobre los operarios que, de otra forma, deberían acercarse a los diferentes elementos de medida y al motor de prueba.

### **Termocupla**

Como ya es sabido, una termocupla no es mas que un par de conductores metálicos de diferente material, unidos entre si formando un circuito completo, tal que los dos conductores hacen contacto en dos puntos diferentes conocidos como unión caliente y unión fría. Al someterse la unión caliente a una alta temperatura y la unión fría a una baja temperatura, se crea un voltaje neto en el circuito, proporcional a la diferencia de temperatura en las uniones.

Para medir la diferencia de temperatura entre las dos uniones basta con abrir el circuito en algún punto e introducir el voltaje, el cual, una vez calibrado,

nos determina el valor que estamos buscando. Puesto que en general, las diferencias de voltaje que se presenta son del orden de milivoltios debe utilizarse un medidor capaz de convertir esta señal en un valor reconocible, para cual se utilizó el módulo de termocuplas del Field Point el cual transmite la señal y convierte la señal.

Para el desarrollo del presente proyecto se utilizo una termocupla con el fin de determinar la temperatura del aire de admisión, esta termocupla es de tipo T. Trabaja en un pequeño intervalo de temperaturas alrededor de la temperatura ambiente en la tabla 2 se muestra los tipo mas comunes de termocuplas con sus respectivos rangos.

**Tabla 2. Tipos Comunes de Termocuplas<sup>8</sup>**

Tipo	Metal		Rango de temperatura NBS °C
	Positivo	Negativo	
J	Hierro	cobre/nickel	-180, 750
K	Nickel/cromo	Nickel/aluminio	-180, 1372
T	Cobre	cobre/nickel	-250, 400
R	87% Platino, 13% Rhodio	100% Platino	0, 1767
S	90% Platino, 10% Rhodio	100% Platino	0, 1767
B	70% Platino, 30% Rhodio	94% Platino, 6% Rhodio	0, 1820

#### 2.2.5.4 Tubería Utilizada en el Sistema

Teniendo en cuenta un caudal volumétrico máximo ( $Q_{max}$ ) del motor y la velocidad máxima de lectura del sensor podemos determinar el diámetro de la tubería mediante la ecuación 8.

<sup>8</sup> Tomada de [www.arian.cl](http://www.arian.cl)

$$Q_{\max} \left[ \frac{m^3}{s} \right] = v \left[ \frac{m}{s} \right] * A [m^2]$$

**Ecuación 8**

$$D = \sqrt{\frac{4 * Q_{\max}}{\pi * v}}$$

El caudal máximo ( $Q_{\max}$ ) se determinó mediante la ecuación 3 dando un valor 216 m<sup>3</sup>/h a 4500 RPM y esta determinada por la velocidad máxima del rango del sensor

**Tabla 3. Diámetro de Tubería de Admisión de Aire**

Caudal máximo	Sensor	Velocidad máxima (m/s)	Diámetro calculado (pulgadas)	Diámetro seleccionado (pulgadas)
216 m <sup>3</sup> /h	Vent Captor	20	2.43	2.5
	Pitot	17.86	2.57	2.5

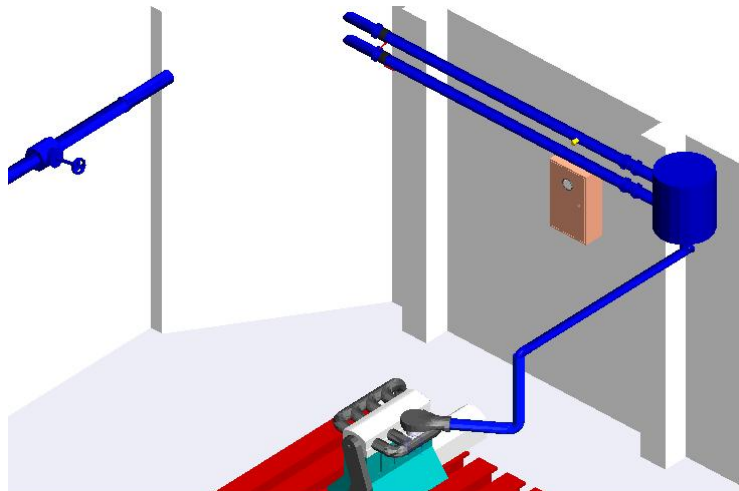
Después de haber determinado el diámetro se procedió a hallar las longitudes aguas arriba y aguas debajo de tubería con respecto al medidor. Se realizó consultando la norma ASME FLOW METERS la cual parametriza respecto al diámetro de la tubería y depende de la instalación y sus accesorios (válvula de bola y expansor).

Según lo anterior la longitud mínima aguas arriba son 20 diámetros pero por efectos de montaje decidió extenderlo a 25.



**Figura 7. Tuberías aspiración de Aire**

Debido a que existen dos métodos para la medición del flujo másico del aire y que no pueden ser utilizados de manera simultánea dado a que el montaje está hecho en paralelo se adicionó una válvula de bola aguas arriba de la tubería para habilitar o restringir el paso de flujo según el método a utilizar, ver figura 7.



**Figura 8 Esquema del Sistema de Alimentación de Aire para el Motor<sup>9</sup>**

---

<sup>9</sup> Realizada por los autores

## **2.3 MEDICIÓN DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE EN MOTORES**

El consumo de combustible es una variable importante del estado del motor, por lo que es conveniente medirla y comprobar su valor. Conocida la cantidad de combustible consumida durante el tiempo empleado durante la prueba y dividiendo sobre la potencia del motor, se determina su consumo específico, este último es un parámetro comparativo que muestra con que eficiencia convierte un motor el combustible en trabajo útil.

### **2.3.1 Propiedades de la gasolina corriente**

La gasolina corriente es una mezcla compleja donde puede haber de 200 a 300 hidrocarburos distintos, formada por fracciones combustibles provenientes de diferentes procesos de refinación del petróleo, tales como destilación atmosférica, ruptura catalítica, ruptura térmica, alquilación, reformado catalítico y polimerización, entre otros.

Las fracciones son tratadas químicamente con soda cáustica para eliminar compuestos de azufre tales como sulfuros y mercaptanos que tienen un comportamiento corrosivo y retirar gomas que pueden generar depósitos en los sistemas de admisión de combustibles de los motores. Luego se mezclan de tal forma que el producto final tenga un índice antidetonante IAD de 81 octanos como mínimo. El índice de octano es una medida de la capacidad antidetonante de la gasolina y la principal característica que identifica el comportamiento de la combustión dentro del motor. Mayor octanaje indica mejor capacidad antidetonante.

Las propiedades de la gasolina se muestran en las tablas 4 y 5.

**Tabla 4. Propiedades generales de la gasolina**

Cantidad	Propiedad	Unidades
4470.26	Poder Calorífico	Kj/Kg
0.7322	Densidad	gr/cm <sup>3</sup>
80	Numero de Octano	Octanos (corriente)
92		Octanos (extra)
280	Temperatura Mínima de Ignición	°C
56.5	Gravedad API 60/60	
6.26	Peso	Lb/gal
9.1	Presión de Vapor Reid (RVP)	psi
85.6	Octanaje	
120	Estabilidad	

**Tabla 5<sup>10</sup>. Gasolina Corriente**

PRODUCTO : GASOLINA CORRIENTE				
Grado:		Regular - Indice Octano 81, Sin Plomo (Unleaded)		
Referencia:		ASTM 4814 / NTC 1380 (Norma Técnica Colombiana) / Resolución 1585 de Diciembre 27 de 2004		
Fecha Actualización:		marzo 1, 2005		
Características	Unidades	Métodos	Mínimo	Máximo
Azufre	g /100 g	ASTM D-4294 <sup>(1)</sup>		0.1
Corrosión al Cobre, 3 h a 50 °C	Clasificación	ASTM D-130		1 <sup>(2)</sup>
Destilación :	°C	ASTM D-86		
10% volumen evaporado				70
50% volumen evaporado			77	121
90% volumen evaporado				190
Punto Final de Ebullición				225
Estabilidad a la oxidación	minutos	ASTM D-525	240	
Contenido de Gomas	mg/100 mL	ASTM D-381		5
Indice de Cierre de Vapor, ICV	kPa	<sup>(3)</sup>		98
Gravedad API @ 15.6 °C	*API	ASTM D-4052	Reportar	
Indice antidetonante, (RON+MON)/2	octanos	ASTM D 2699/D 2700 <sup>(4)</sup>	81	
Presión de Vapor	kPa (psia)	ASTM D 5191 <sup>(5)</sup>		55 (8.0)
Plomo	g/L	ASTM D 5059 <sup>(6)</sup>		0.013
Benceno	ml/100 mL	ASTM D 5580 <sup>(7)</sup>		1.0
Aromáticos	mL/100 mL	ASTM D 5580 <sup>(8)</sup>		28
Aditivos dispersantes y detergentes	<sup>(9)</sup>			

(1) Método alterno ASTM D 2622

(2) El valor 1 se refiere a valores 1a o 1B

(3) Calculado : ICV = P + 1,13A

A : % Evap a 70 °C , P: RVP (Kilopascales Kpa)

(4) Método Alterno: Infrarrojo

(5) Método Alterno ASTM D-4953 o D-323

(6) Método Alterno ASTM D 3237

(7) Método Alterno ASTM D-3606, D 6277 (IR) o Método PIANO

(8) Método Alterno ASTM D-1319 o Método PIANO

(9) Aditivos certificados por el distribuidor (Resolución 81055 de Sept. 20/99)

### **2.3.2 Medición de flujo de combustible en motores**

La medición del consumo de combustible no es fácil de realizar para una medición exacta, pero es de gran importancia dados los requerimientos propios del motor y los altos costos de los combustibles. Para obtener óptimos resultados se deben tener unas condiciones ambientales estables dentro del laboratorio y complementarlas con un medidor adecuado dependiendo de las necesidades de exactitud requeridas.

Uno de los problemas para la medición de consumo de combustibles para motores carburados es el flujo de combustible de retorno, el cual sino es tenido en cuenta puede afectar de gran manera la exactitud de la medida tomada.

Existen diferentes principios de funcionamiento para los medidores de flujo de combustible, dentro de los más comerciales tenemos:

- ✚ Medidor de flujo volumétrico

- ✚ Medidor de flujo másico.

### **2.3.3 Medidor de Flujo Volumétrico**

Los medidores de flujo volumétricos determinan el caudal en volumen del fluido, bien sea directamente (desplazamiento), bien indirectamente por deducción (presión diferencial, área variable, velocidad, fuerza, tensión inducida). Hay que señalar que la medida de caudal volumétrico en los laboratorios se efectúa principalmente con elementos que dan lugar a una presión diferencial al paso del fluido. Entre estos elementos se encuentran la placa de orificio, la tobera y el tubo venturi.

### **2.3.4 Medidor de Flujo Másico**

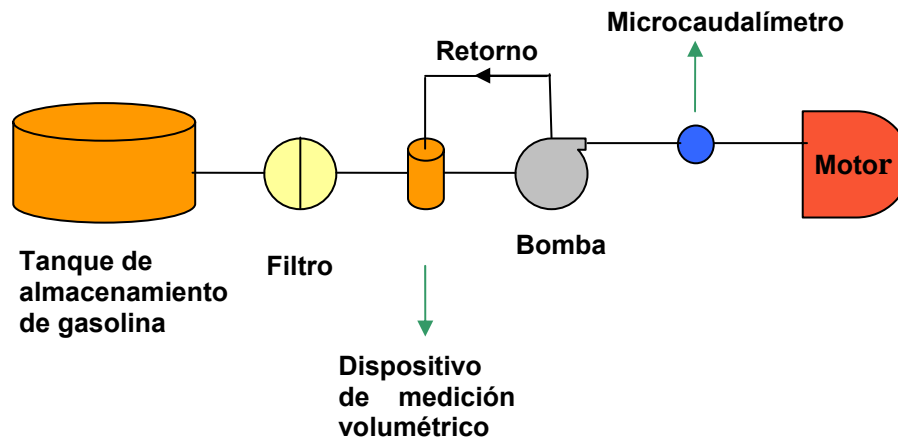
La determinación del caudal másico puede efectuarse a partir de una medida volumétrica compensándola para las variaciones de densidad del fluido, ó bien determinando directamente el caudal másico aprovechando características medibles de la masa del fluido.

En el primer caso se compensa directamente la densidad o bien las variables de presión y temperatura.

Si bien en la industria automotriz se utilizan medidores volumétricos de caudal, con el caudal determinado en las condiciones de servicio, o bien compensado según la presión, la temperatura o densidad, tal como se ha comentado anteriormente, en ocasiones interesa aprovechar características medibles de la masa. En este caso existen tres sistemas básicos, los instrumentos térmicos, los de momento angular y los de aceleración de coriolis.

### **2.3.5 Montaje del Sistema de Medición de Flujo de Combustible**

Para el montaje del sistema de medición de flujo de combustible se establecieron dos formas diferentes de llevarlas a cabo, la primera utiliza un sensor tipo turbina y la segunda mediante un tanque volumétrico, el esquema se muestra en la figura 9.



**Figura 9. Esquema del Sistema de Medición del Flujo del Combustible<sup>11</sup>**

A continuación se describe los diferentes elementos del sistema de medición del flujo de combustible.

### **2.3.5.1 Tanque volumétrico**

Es un tanque que cumple funciones de almacenamiento y medición de volumen, tiene de una capacidad de 6.15 litros y un rango de medición de 4 litros, este rango nos lo proporciona una mirilla de vidrio graduada, tiene válvulas de alimentación del tanque principal de almacenamiento y retorno de combustible proveniente de la salida de la bomba de gasolina del motor. La línea de retorno es de gran importancia debido a que no todo el combustible que admite la bomba es consumido por el motor

El tanque volumétrico fue reestructurado a partir de un extintor contra incendios, se le acoplaron niples en su parte inferior y superior además de los niples laterales que cumplen la función de comunicar al tanque con la mirilla de vidrio separados entre si 24 cm. Esta mirilla debe estar en una

<sup>11</sup>Realizada por los Autores

posición tal de que una persona promedio pueda de pie leer el nivel sin mucho esfuerzo.



**Figura 10. Tanque Volumétrico**

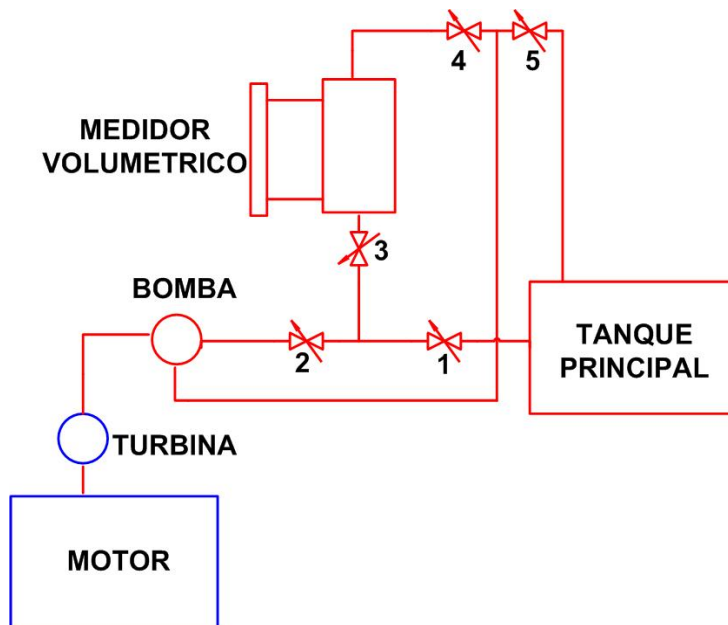
La estructura del tanque fue diseñada de tal manera que cumplan la función de soporte del tanque y de la tubería de una manera organizada. Se encuentra anclada a la pared por medio de tornillos chazos para su fácil desmontaje en caso que se desee realizar un mantenimiento.

El tanque se llena de combustible se llena antes de iniciar la prueba y gracias a un tubo de vidrio paralelo se determina el nivel de la superficie libre. Durante la prueba la determinación del consumo se mide el tiempo que le toma el motor consumir el líquido ahí almacenado. Sin embargo puede también medirse el cambio del nivel en un tiempo dado. La escala de la mirilla se determina llenando el tanque volumétrico y vaciándolo proporcionalmente al mismo tiempo que se van tabulando los datos obtenidos de una bureta graduada del laboratorio de fluidos. Ver Figura 10

Para establecer la equivalencia del consumo en mililitros se realizó una caracterización mediante aforado, logrando encontrar una equivalencia de 23.8 mililitros por división.

Las principales características de la instalación alimentadora de combustible es que tiene 2 líneas principales una encargada de la alimentación propiamente dicha, y otra la que se encarga del retorno de combustible proveniente de la bomba de gasolina. Las líneas de combustible son de tubería de cobre de 3/8 de pulgada, hay 5 válvulas de bola de 3/8 encargadas de alimentar el tanque volumétrico como es el caso de las válvulas 1, 2 y 3. de direccionar el retorno al tanque principal (válvula 5) o al tanque volumétrico (válvula 4), para realizar la prueba con el tanque volumétrico es necesario cerrar la válvula 2, ver figura 11.

El tanque volumétrico se encuentra instalado en una base que sobresale de la pared y además sostiene parte de la tubería de combustible, dándole forma, un diseño estético y lo principal seguridad, al estar concentrada en una pequeña área alejada del calor proveniente de la tubería de escape del motor evita posibles accidentes.



**Figura 11. Esquema Sistema Medición Consumo de Combustible Volumétrico**

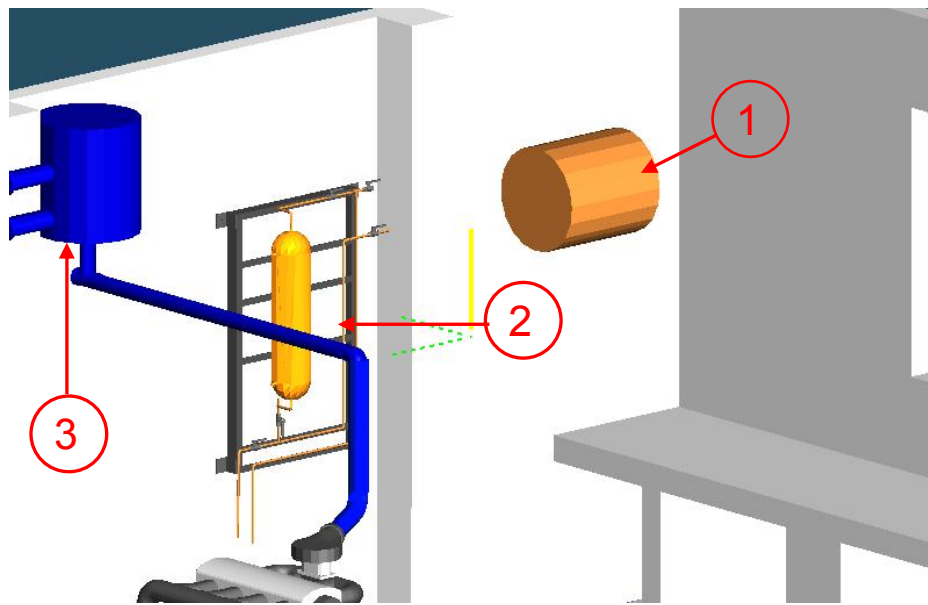
El tanque principal tiene la función de alimentar el sistema de combustible por medio del manejo de válvulas, tiene una capacidad de 15 galones, que son los que el laboratorio compra al inicio de cada periodo académico, está hecho de lamina de acero galvanizado de calibre 10, tiene 5 niples soldados que tienen las siguientes funciones niple 1 alimentación de combustible al banco de pruebas, niple 2 admisión del combustible de retorno proveniente de la bomba, niple 3 llenado del tanque principal, niple 4 venteo del tanque para prevenir que se presurice, y el niple 5 va acompañado de una válvula de bola de 3/8 de pulgada para drenar en caso que se tenga una posible contaminación del combustible.

### 2.3.5.2 Microcaudalímetro

El microcaudalímetro es un sensor que mide el flujo de combustible que consume el motor, consiste en una pequeña rueda de paletas que es

arrastrada a una velocidad proporcional al caudal volumétrico que pasa a través de ella. Un captador óptico lee las marcas foto-reflectantes que tiene el motor y provee una frecuencia de salida que va a la tarjeta lectora.

Se encuentra ubicado a la salida de la bomba de gasolina del motor (ver figura 9) por lo cual se realiza una medición directa sin tener en cuenta el retorno de gasolina ya que todo lo que pasa a través de este sensor es consumido por el motor, las especificaciones técnicas del sensor se muestran en la tabla 6.



**Figura 12. Esquema del sistema de medición del consumo de combustible<sup>12</sup>**

En la figura 12, se muestra el tanque de almacenamiento (1) el medidor de flujo volumétrico (2) y el plenum chamber (3) como elementos principales de la figura.

En la grafica 13 se puede apreciar el sistema para la medición de la relación aire-combustible.

---

<sup>12</sup> Realizada por los autores

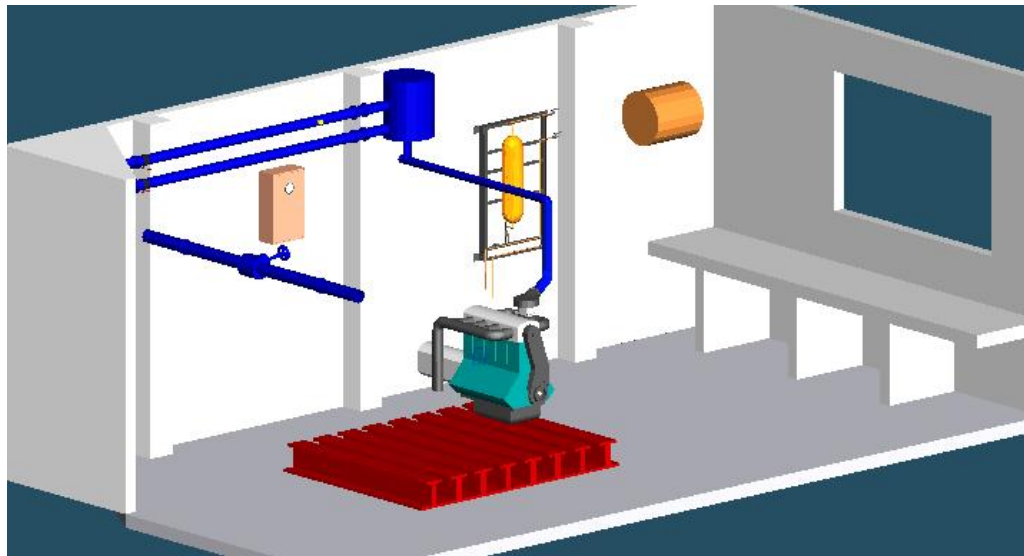


Figura 13. Sistema para la medición de la relación aire-combustible<sup>13</sup>

**Tabla 6. Características del Microcaudalímetro según fabricante**

Señal de salida	0 – 5 V
Tensión de entrada	5 VDC @ 60 mA
Linealidad	± 0.25 % de la escala total
Repetibilidad	± 0.25 % de la escala total
Limite de viscosidad	20 cpoise (solo newtonianos)
Presión	75 psi @ 180 °F
Flujo mínimo detectable	0.013 gpm
Flujo máximo detectable	0.18 gpm

<sup>13</sup> Realizada por los autores

### 3 MEDICIÓN DEL FLUJO AIRE EN TUBERÍAS USANDO TOBERAS

La norma ASME MFC-3M especifica la geometría y método de uso (instalación y condiciones de flujo) para platinas de orificio, toberas, y venturis cuando ellos son instalados en una tubería para determinar la rata de flujo del fluido del conducto. También da la información necesaria para el cálculo del caudal y su porcentaje de error asociado. Esta norma es recomendada por la norma SAE J244 JUN 83 para la aplicación de medición de la admisión y escape de gases en motores.



**Figura 14. Tobera tipo ASME<sup>14</sup>**

Esta norma aplica solamente a mecanismos de presión diferencial en los cuales el flujo sigue siendo subsónico a través de la sección medida y se mantiene o varía solo lentamente con el tiempo y donde el fluido es considerado en una sola fase. Además, las incertidumbres son dadas en la sección apropiada de esta norma para cada dispositivo, dentro de los límites especificados de diámetro de tubería y número de Reynolds.

---

<sup>14</sup> Tomada de [www.delta-tcompany.com/nozzles](http://www.delta-tcompany.com/nozzles)

Los dispositivos introducidos dentro de la tubería son llamados “*dispositivos primarios*”. El término dispositivo primario también incluye los tomas de presión y la tubería asociada aguas arriba y aguas abajo. Todos los otros instrumentos o dispositivos requeridos para la medición o transducción del diferencial de presión son conocidos como “*elementos secundarios*”. Esta norma cubre los dispositivos primarios; los dispositivos secundarios se mencionan ocasionalmente.

Los siguientes dispositivos primarios son tomados en cuenta por esta norma:

a. Platinas de orificio las cuales pueden clasificarse dependiendo donde tienen ubicados los tomas de presión

- ✚ Platina con tomas de presión en las esquinas.

- ✚ Platina con tomas distanciados  $D$  y  $D/2$ .

- ✚ Platina con toma de presión en las bridas.

b. Tobera ASME Long Radius Nozzles.

c. Tubos venturi clásicos.

La norma no tiene en cuenta para tuberías o conductos menores a un diámetro nominal de 50 mm [2 in].

La norma es aplicable para medir cualquier flujo de fluido (líquido, vapor o gas).

### 3.1 PRINCIPIO DE MEDICIÓN Y MÉTODO DE CÁLCULO

El principio de medida se basa en la instalación de un elemento primario dentro de una tubería en la cual fluye el fluido. El elemento primario causa una diferencia de presión estática entre la tubería y la garganta, o aguas abajo del elemento. La rata de flujo puede ser determinada del valor medido de esta caída de presión y por el conocimiento de las características del fluido como también de las circunstancias bajo la cual el elemento esta siendo usado. Podemos asumir que si las condiciones de geometría y dinámica del fluido son similares a la del otro elemento y son usados bajo las mismas condiciones, no es necesario hacerle una calibración, según lo dicta la norma.

La rata de flujo másico puede ser determinada si se relaciona con la presión diferencial dentro de la incertidumbre definidos en esta norma, por las siguientes ecuaciones.

$$q_m \left[ \frac{Kg}{s} \right] = \frac{\pi}{4} * C * \varepsilon_1 * d^2 [m^2] \sqrt{\frac{2 * \Delta p [Pa] * \rho_{f1} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]}{1 - \beta^4}} \quad \text{Ecuación 9}$$

O para mediciones aguas abajo:

$$q_m \left[ \frac{Kg}{s} \right] = \frac{\pi}{4} * C * \varepsilon_2 * d^2 [m^2] \sqrt{\frac{2 * \Delta p [Pa] * \rho_{f2} \left[ \frac{Kg}{m^3} \right]}{1 - \beta^4}} \quad \text{Ecuación 10}$$

**Nota:** Para líquidos  $\varepsilon_1$  y  $\varepsilon_2$  es 1, cuando el elemento primario está a la temperatura del flujo.<sup>15</sup>

Similarmente el valor de la rata de flujo volumétrico puede ser calculado de la siguiente manera:

$$\dot{Q}_v \left[ \frac{m^3}{s} \right] = \frac{\dot{q}_m}{\rho_f} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde  $\rho_f$  es la densidad del fluido a la temperatura y presión para la cual el volumen es medido.

### 3.1.1 Método para determinar el tamaño de la garganta del elemento primario.

Es necesario aproximadamente especificar el  $\Delta P$  para una rata de flujo dada, el diámetro de la garganta  $d$  debe ser calculado cuidadosamente usando la ecuación (13) como se muestra en la siguiente página. Si por otro lado, el cálculo del flujo necesita tener únicamente valores precisos para  $d$  y  $D$  el valor de  $\beta$  (y por lo tanto  $d$ ) puede ser calculado usando el valor de 1.0 para  $F_a$ ,  $\varepsilon$ , y  $C$  en la ecuación (12). Los valores para  $d$  y  $D$  pueden ser usados y corregidos en las ecuaciones para el cálculo del flujo.

En la determinación del diámetro del elemento primario, es necesario usar un procedimiento iterativo porque el coeficiente de descarga  $C$ , el factor de

---

<sup>15</sup> ASME MFC-3M

expansión  $\varepsilon$ , y los efectos de temperatura (expansión térmica) en  $d$  no son conocidos inicialmente. Estos valores son dependientes de la relación  $\beta$ . Por lo tanto es necesario iterar para encontrar  $\beta$  y luego resolver para hallar el diámetro sustituyendo en la relación  $\beta^2 D^2 = d^2$

$F_a$  es el factor de corrección de expansión térmica:

$$F_a = \left( 1 + \frac{2}{1 - \beta^4} (\alpha_{PE} - \beta^4 \alpha_P) (t - t_{meaus}) \right) \quad \text{Ecuación 12}$$

$$F_a C \varepsilon \frac{\beta^2}{\sqrt{1 - \beta^2}} = \frac{q_m}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2 \Delta P \rho}} \quad \text{Ecuación 13}$$

Donde los términos del lado derecho en la ecuación (13) son datos conocidos y constantes en las condiciones de diseño.

### 3.1.2 Cálculo de la rata de flujo

Se asume que el dispositivo primario está a la misma temperatura de la tubería. Los valores de  $D$  y  $d$  para cualquier temperatura de flujo serán calculados por la ecuación 14 y 15.

$$d = [1 + \alpha_{PE}(t - t_{med})] d_{med} \quad \text{Ecuación 14}$$

$$D = [1 + \alpha_P(t - t_{med})] D_{med} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde  $d$  es el diámetro de la garganta y  $D$  es el diámetro interno de la tubería a la temperatura de trabajo.

El cálculo de rata de flujo, la cual es un proceso puramente aritmético, es efectuado por el reemplazo de los diferentes términos del lado derecho de la formula básica de las ecuaciones 9 y 10.

### 3.1.3 Determinación de la densidad

Es necesario conocer la densidad del fluido en el plano aguas arriba o aguas abajo; esta puede también ser medida directamente con un densímetro o ser calculada por las propiedades del fluido y la ecuación de estado. Una relación usada utilizando la gravedad específica es:

$$\rho = 3.483407 * 10^{-3} \frac{pG_i}{ZT} \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde el factor de compresibilidad  $Z$  es encontrado en tablas termodinámicas, calculado de una de las ecuaciones de estado, o determinado a través de los diagramas generalizados.

Para el cálculo de la densidad de un gas o vapor en las condiciones normales ( $\rho_b$ ), la temperatura, la presión y el factor de compresibilidad son substituidos en la ecuación anteriormente mencionada.

La presión estática debe ser medida en el plano radial aguas arriba o aguas abajo, por medio de tomas de presión separados.

Aunque, la temperatura del fluido por la cual la densidad y la viscosidad pueden ser determinadas, es preferiblemente tener una única toma de presión aguas arriba, ya que entre menor cantidad de perturbaciones disminuye la posibilidad de errores en la medición. Si el fluido es un gas se puede asumir que la temperatura aguas arriba es igual a la temperatura aguas abajo si  $P_2/P_1 \geq 0.75$  y por lo tanto, la temperatura será medida aguas abajo del dispositivo primario. Si es necesario, la temperatura puede ser calculada asumiendo pérdida iso entalpica.

Cualquier otro método de determinación de los valores de la densidad, presión estática, temperatura y viscosidad es aceptable si esto no interfiere con la distribución del flujo.

## **3.2 REQUERIMIENTOS GENERALES PARA LA MEDIDA**

### **3.2.1 Dispositivo primario**

El dispositivo primario se debe manufacturar, instalar, y usar en acuerdo a la norma MFC-3M. Cuando las características de manufactura y condiciones de uso del dispositivo primario están por fuera de los límites dados de esta norma, es necesario calibrar el dispositivo primario bajo las condiciones actuales de uso.

El coeficiente de expansión térmica del material usado el dispositivo primario  $\alpha_{PE}$  y el de la tubería  $\alpha_P$  debe ser conocido si la temperatura de flujo es diferente de ésta a la cual el diámetro fue medido.

### **3.2.2 Tipo de fluido**

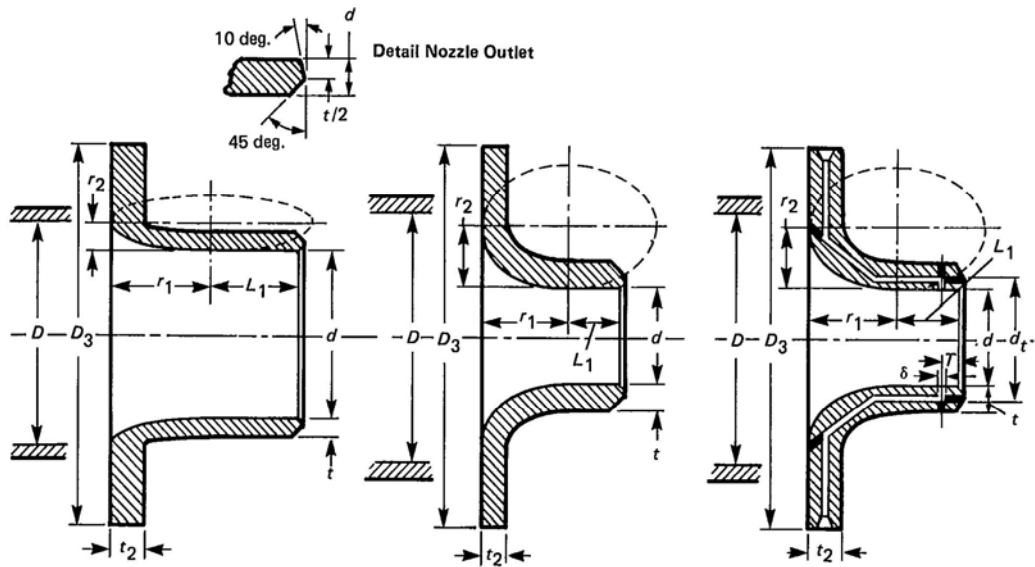
El fluido a manejar (aire) es un fluido compresible, física y térmicamente homogéneo y considerado en una sola fase. Para llevar a cabo las medidas, es necesario conocer la densidad y la viscosidad del fluido a las condiciones de trabajo.

### **3.2.3 Condiciones de flujo**

Se recomienda que la rata de flujo sea constante o que en la práctica varíe muy poco y lentamente con el tiempo. Esta norma ASME no da información acerca de la medida de flujo pulsante, por lo cual también utilizamos la norma SAE J244 JUN 83.

## **3.3 TOBERA ASME**

Hay 3 tipos de tobera long radius: tobera ASME de alto beta ( $0.50 \leq \beta \leq 0.80$ ), tobera ASME de bajo beta ( $0.20 \leq \beta < 0.50$ ), y tobera ASME throat tap flow ( $0.25 \leq \beta < 0.50$ ) los detalles de esta ultima tobera son cubiertos en la ANSI/ASME PTC 6. La figura 15 ilustra la geometría y forma de la tobera "Long Radius" con respecto a la garganta y el diámetro interno de la tubería.



**Figura 15. Toberas ASME<sup>16</sup>**

Los 3 tipos de toberas consisten en una sección convergente, cuya forma es un cuarto de elipse, y una garganta cilíndrica. Esta parte de la tobera, la cual es interna a la tubería, debe ser circular.

### 3.3.1 Tomas de presión

Al menos una toma de presión aguas arriba y aguas abajo debe ser instalada. La distancia de la toma de presión aguas arriba es aproximadamente  $D$ , por lo que puede estar entre  $1.2D$  y  $0.9D$  sin alterar el coeficiente de descarga. La distancia de la toma de presión aguas abajo estará ubicada aproximadamente a  $0.5D$  pero puede estar a  $0.49D$  y  $0.51D$  del plano de la cara interna de la tobera. Bajo ninguna circunstancia las tomas serán localizadas aguas abajo con respecto al plano de salida de la tobera.

El eje de toma de presión debe ser perpendicular al de la tubería y debe cortarse. El punto de corte a través de la tubería debe ser circular. Las

<sup>16</sup> Tomada de la ASME MFC-3M

esquinas deben ser limadas para evitar superficies rugosas. Para asegurarnos de la eliminación de todas las partículas se permite un redondeo, su radio debe ser menor que una décima parte del diámetro de la toma. Ninguna irregularidad debe aparecer adentro de la conexión, o en las esquinas del hueco perforado en la pared de la tubería. Esto puede ser evaluado por medio de inspección visual.

Los diámetros máximos recomendados en los agujeros de las tomas a través de la tubería están dados en la tabla 7, su mínimo diámetro es de 6 mm, la interpolación para tamaños intermedios es permitido. Las tomas de presión aguas arriba como aguas abajo deben tener el mismo diámetro.

**Tabla 7. Diámetros máximos recomendados en los agujeros de las tomas de presión<sup>17</sup>**

<b>Diámetro nominal de la tubería</b>	<b>Diámetros máximo de los agujeros</b>
50 a 75 mm (2 a 3 in)	10 mm (0.375 in)
D > 100 mm (4 in)	13 mm (0.5 in)

La toma de presión debe ser circular y cilíndrica sobre una longitud de 2.5 veces el diámetro interno de la toma, medido desde la pared interna de la tubería.

### **3.3.2 Material**

Las toberas deberán ser hechas de un material resistente a la corrosión. El acero inoxidable puede ser usado para altas temperaturas de servicio y otros servicios. El bronce puede ser usado para agua a temperaturas menores de 205 °C (400 °F) y presiones manométricas menores a 17.24

<sup>17</sup> Tomada de la ASME MFC-3M

bares (250 psig) también como para otros fluidos incluyendo aceites y gases. El aluminio puede ser usado para aire, algunos otros gases, y también líquidos, si es libre de elementos corrosivos al aluminio, y donde las temperaturas y presiones no excedan acerca de 94 °C (200°F) y 13.79 bar (200 psig)<sup>18</sup>.

Teniendo en cuenta las características de ambos materiales proponemos se escoja como material para la construcción de la tobera acero inoxidable SAE-AISI 316 L. el cual posee las siguientes características particulares.

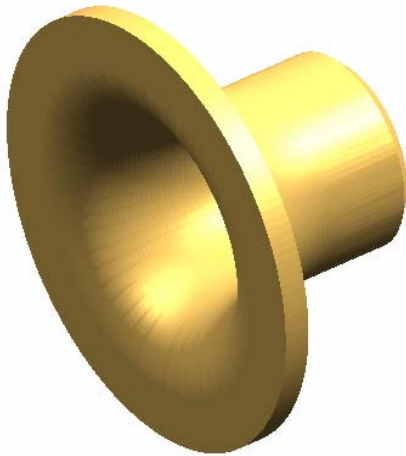
Es un acero Austenítico, que se distingue de los demás por su presencia de Molibdeno, el cual le confiere particularmente una mayor resistencia a la corrosión intergranular, o picaduras, en este el carbono se encuentra muy reducido en cantidades no superiores al 0.3 %. Otra característica importante es que su estructura permite el fácil pulido, aspecto indispensable para el cumplimiento de los requerimientos de rugosidad en las superficie interna de las boquilla.

### **3.3.3 Perfil de la tobera**

El diseño de esta tobera esta estandarizada bajo la norma “Measurement of Fluid Flow In Pipes Using Orifice, Nozzle, And Venturi” ASME MFC 3M, 1989 y “Fluid Meter, Their Theory and Application,” ASME, 6th Edition, 1971. Por consiguiente se propone como diseño para la medición del flujo de aire la cual se llevara a cabo de acuerdo a la disponibilidad de los recursos con los que cuente el laboratorio de motores en un futuro.

---

<sup>18</sup> “Fluid Meter, Their Theory and Application” ASME, 6th Edition, 1971



**Figura 16. Tobera Modelada en Solid Edge**

Diseñado para la condición de un máximo consumo de flujo de aire aspirado por el motor, que actualmente funciona en el banco del laboratorio de motores. Este consumo máximo según las características del motor dadas en el anexo A y utilizando la ecuación 3 para consumo volumétrico de aire nos da un valor de  $200 \text{ m}^3/\text{h}$ .

A partir de este caudal se determinó el diámetro requerido para unas temperaturas y presión promedio aguas arriba de la boquilla (a las condiciones de la U.I.S.). Se desarrolló para ello un método de cálculo en TK solver académico, basados en las ecuaciones de flujo de fluidos para flujos compresibles mencionadas anteriormente, ver anexo B.

Teniendo un diámetro de  $78.23 \text{ mm}$ , se procedió a escoger el perfil y determinar su geometría Ver figura 17.



**Figura 17. Perfil y Geometría de Tobera**

### 3.4 REQUERIMIENTOS DE INSTALACIÓN

#### 3.4.1 Tubería

El método de medida se aplica solo a fluidos que fluyen a través de una tubería con sección transversal circular. La tubería debe tener un flujo constante en la sección medida.

La tobera debe ser colocada en la tubería en dos secciones rectas cilíndricas de área transversal constante, en la cual no hay ninguna obstrucción.

La tubería es considerada recta cuando así sea considerado por una inspección visual (ver ANSI/ASME B36.10M y ASTM A530). Los requerimientos mínimos de distancias la cual conforman la descripción anterior, varían de acuerdo al arreglo de la tubería y la relación de diámetro en la tobera. En la tabla 8 se especifican las longitudes requeridas para orificios y toberas.

La superficie interna de la tubería debe estar limpia y libre de incrustaciones, óxidos y depósitos, y debe cumplir con el criterio de la rugosidad al menos una longitud de 4D aguas arriba y 2D aguas abajo para la tobera.

La rugosidad de la tubería, al menos sobre la longitud indicada en la tabla 8 no se excederá un máximo de  $8\mu\text{m}$  ( $300\mu\text{in}$ ).

### **3.4.2 Instalación de Bridas**

Es un método comúnmente utilizado para la unión de las 2 secciones de la tubería con la tobera, existen otros métodos de unión que pueden ser la soldadura, tipo roscado, tipo inserto, todos pueden ser empleados mientras no interfieran con el flujo.

### **3.4.3 Centrado de la Tobera**

La tobera debe ser manufacturada de modo que la tolerancia entre el hombro de la tobera y el diámetro interno de la tubería o brida si fuere el caso, no debe ser mayor a 0.8 mm (0.030 pulgada).

**Tabla 8. Longitudes requeridas de instalación en platinas y toberas<sup>19</sup>**

$\beta$	Codo 90° o T (Flujo de una sola rama)	Dos o más codos en el mismo plano			Dos o más codos en diferentes planos			Reducción de 2D a D sobre una long. De 1.5D a 3D	Expansión de 0.5Da D sobre una long. de D a 2D	Válvula de globo Full open	Válvula de bola o compuerta full open	Lado aguas abajo
		C	C'		C	C'						
0.20	6	7	3.5	5	17	4.5	5	5	8	6	6	2
0.25	6	7	3.5	5	17	4.5	5	5	8	6	6	2
0.30	6	8	3.5	5	17	4.5	5	5	8	6	6	2.5
0.35	6	8	3.5	5	18	4.5	5	5	8	6	6	2.5
0.40	7	9	3.5	5	18	4.5	5	5	8	10	6	3
0.45	7	9	4	5	19	5	5	5	8	12	6	3
0.50	7	10	4	5	20	5	5	5	8	15	6	3
0.55	8	11	4	5	22	5.5	5.5	5	10	18	7	3
0.60	9	13	4.5	5.5	24	6	6	5	11	22	7	3.5
0.65	11	16	5	6	27	6.5	5.5	6	13	25	8	3.5
0.70	14	18	5.5	6.5	31	7	6	7	15	25	10	3.5
0.75	18	21	6	7	35	8	7	11	19	25	12	4
Ajustes								Mínimas longitudes rectas requeridas aguas arriba				

Notas generales:

- Las columnas C y C' son para acondicionadores de flujo
- Todas las longitudes rectas son suministradas como múltiplos del diámetro D. Serán medidas de la cara aguas arriba del dispositivo primario.
- La interpolación para los valores intermedios de  $\beta$  pueden ser usados.

### 3.4.4 Acondicionadores de flujo

Los acondicionadores de flujo son utilizados aguas arriba de un sistema de medición de flujo pues muchos sistemas pueden transportar flujos

<sup>19</sup>Tomada de la ASME MFC-3M

turbulentos y los tramos de tubería para linealizar estos flujos pueden en algún momento ser muy grandes, es por esto que se busca por medio de linealizadores disminuir estas distancias, al mismo tiempo minimizan costos en construcción y hacen posible la fácil ubicación del sistema de medición dentro de un laboratorio de tamaño razonable<sup>20</sup>, teniendo un beta de 0.4856 calculado en el anexo B y observando la tabla 8, verificamos que la distancia en diámetros con la que se cuenta para la medición de flujo de aire con la tobera está dentro de los requerimientos dadas por la tabla 8, con lo cual se deduce que no se necesitan linealizadores.

---

<sup>20</sup> ASME MFC-3M Par 6.5

## **4 ANÁLISIS Y PROCESAMIENTO DE SEÑALES**

Este capítulo trata de cómo se generan las señales a partir de los sensores, de cómo estas son filtradas y acondicionadas por una tarjeta, adquiridas posteriormente por medio del Field Point y procesadas mediante el software LabVIEW.

### **4.1 DESCRIPCIÓN GENERAL**

El sistema de medición de la relación Aire/Combustible (A/C) cumple la función de medir ciertas variables físicas como la caída de presión, velocidad de flujo de aire, temperatura y caudal, además del número de ciclos del cigüeñal, por medio de sensores. Para comprobar que la medición leída por los sensores sea equivalente a la real se llevó a cabo la caracterización de algunos de ellos, éstas fueron realizadas en el laboratorio de mecánica de fluidos y en el Instituto Colombiano del Petróleo (ICP).

### **4.2 SENSORES**

La señal de salida de cada uno de los sensores utilizados es diferente dado que difieren en el fabricante, principio de funcionamiento y tipo de alimentación por lo cual serán descritos mas adelante.

Estos sensores fueron seleccionados y adquiridos en proyectos de grado anteriores luego entraron en una etapa de desuso debido a que el banco fue desmontado, para su utilización se debía verificar que se encontraran en buen estado y además que su lectura correspondiera con la realidad, para

esto se hizo una caracterización del sensor de flujo de aire Vent Captor, del microcaudalímetro y del conjunto tubo Pitot y Dipicelda.

#### 4.2.1 Sensor de Flujo de Aire Vent Captor

Las características suministradas por el fabricante pueden verse en la tabla 9.

**Tabla 9. Características de Sensor de Flujo de Aire Vent Captor<sup>21</sup>**

<b>Tensión de entrada</b>	24 V DC
<b>Rango de medición</b>	Continuamente ajustable desde 0-1 m/s a 0-10 m/s Alternativamente: 0-2 m/s 0 a 20 m/s
<b>Señal de salida</b>	4 a 20 mA
<b>Linealidad</b>	<5 % de la escala total
<b>Repetibilidad</b>	<2% de la escala total
<b>Medio</b>	Gaseoso

Este sensor se caracterizó en el laboratorio de mecánica de fluidos de la escuela de ingeniería mecánica, específicamente en el banco de medición de flujo de gases, ver figura 18.

Este banco tiene la finalidad de medir flujo de aire al paso de un tubo Vénturi; tiene un ventilador alimentador de flujo de aire que cuenta con un variador de velocidad, dependiendo de la frecuencia que se le suministre al sistema de control podemos modificar el flujo; el tubo Vénturi proporciona una caída de presión que es proporcional al caudal que pasa por él.

---

<sup>21</sup> [www.captor.com/N-files/data/Datasheet\\_3202\\_20-3205-20-US.pdf](http://www.captor.com/N-files/data/Datasheet_3202_20-3205-20-US.pdf)



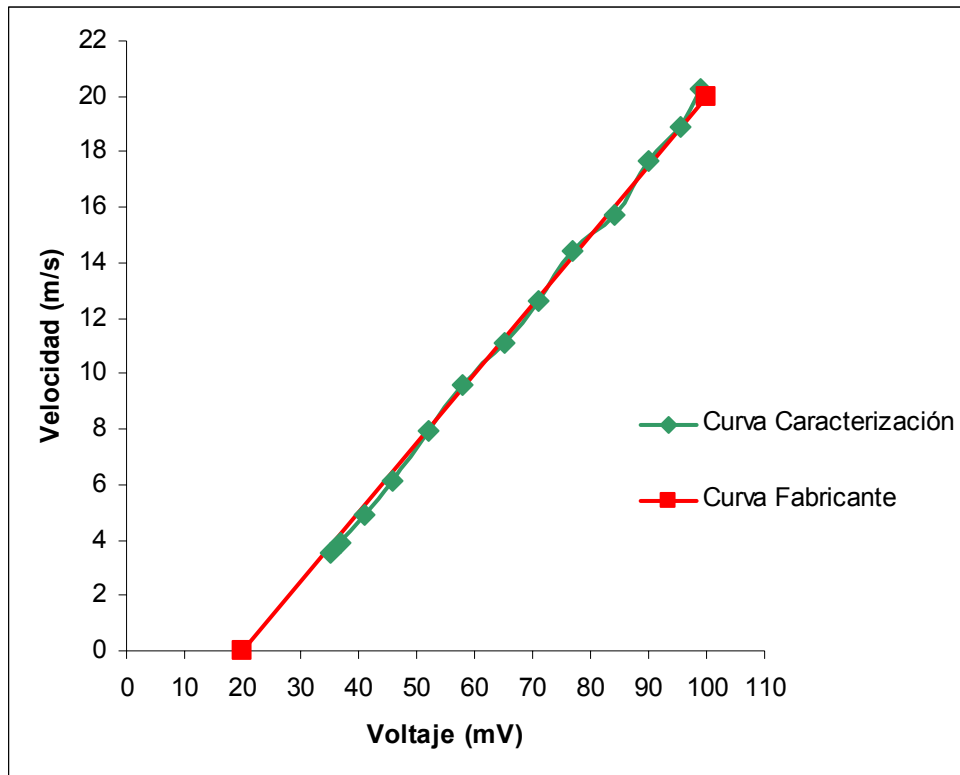
**Figura 18. Banco de medición de flujo de gases.**

Al banco se le diseñó un alargamiento de la tubería para garantizar la linealidad del flujo, para esto se utilizó una tubería sanitaria PAVCO de 3 pulgadas con una longitud de 20 diámetros (152 cm) aguas arriba y 5 diámetros aguas abajo (40 cm) de la toma de la muestra.

Se estableció un rango de flujo por medio del variador de velocidad del ventilador del banco. La frecuencia máxima del ventilador es de 60 Hz la toma de datos se realizó de manera ascendente y descendente cada 2.5 Hz hasta llegar a 32 Hz debido a que se llegaba a la máxima capacidad de

lectura del sensor, al mismo tiempo de cada medición se tabularon los datos en el multímetro y en el anemómetro que se encontraba en serie.

Este procedimiento se realizó 3 veces en el sistema montado para la caracterización, los valores fueron promediados (ver tabla 10) y posteriormente graficados como se muestra en la figura 19.



**Figura 19. Gráfica de Caracterización Sensor Flujo de Aire Vent Captor**

**Tabla 10. Tabla de Datos Promedios de Caracterización Sensor Flujo de Aire Vent Captor**

<b>Voltaje (mV)</b>	35	37	41	46	52	58	65	71	77	84	90	95.5	99
<b>Velocidad (m/s)</b>	3.5	3.92	4.94	6.15	7.93	9.59	11.1	12.65	14.4	15.72	17.7	18.9	20.3

Al comparar la gráfica promedio con la suministrada por el fabricante podemos observar que son similares por esta razón se puede decir que el Vent Captor se encuentra en buenas condiciones y puede ser utilizado para realizar las medidas de la velocidad de admisión de aire.

Dado el principio de funcionamiento del sensor, tiene unas pequeñas indicaciones que deben tenerse en cuenta para poder obtener una correcta lectura de los resultados.

- ✚ La parte media de las paletas deben encontrarse en la mitad del diámetro de la tubería.
- ✚ Verificar que las paletas se encuentren paralelas al eje geométrico de la tubería.

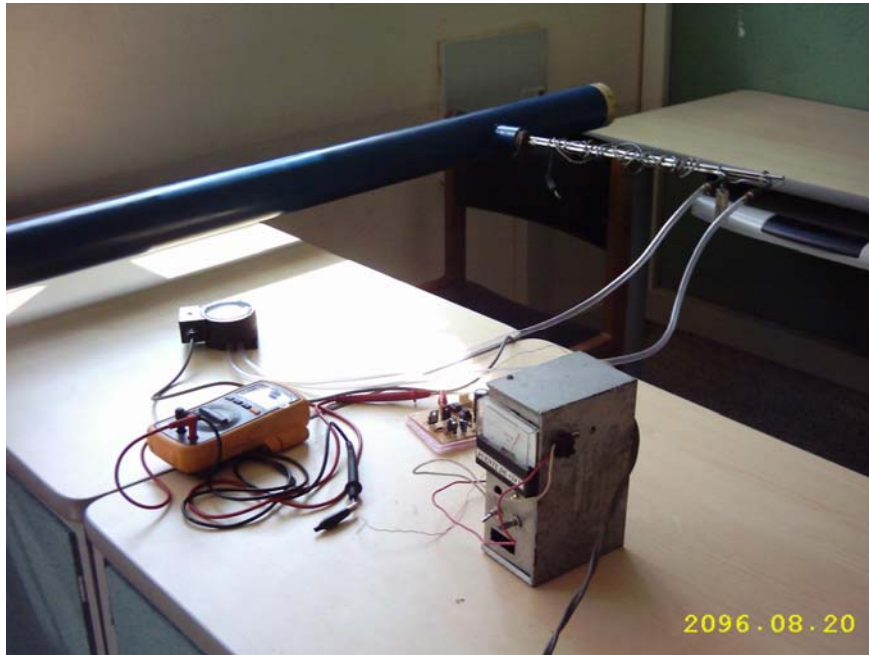
#### 4.2.2 Tubo pitot y dipicelda

Las características del tubo pitot y de la dipicelda se describen en la tabla 9.

**Tabla 11. Características de la Dipicelda**

<b>Señal de salida</b>	4 a 20 mA
<b>Tensión de entrada</b>	10-35 VDC a 38 mA
<b>Exactitud</b>	± 5%
<b>Estabilidad</b>	± 1%
<b>Rango limite de temperatura</b>	-6.67 a 48.9°C
<b>Rango de presión</b>	0 a 1" H2O

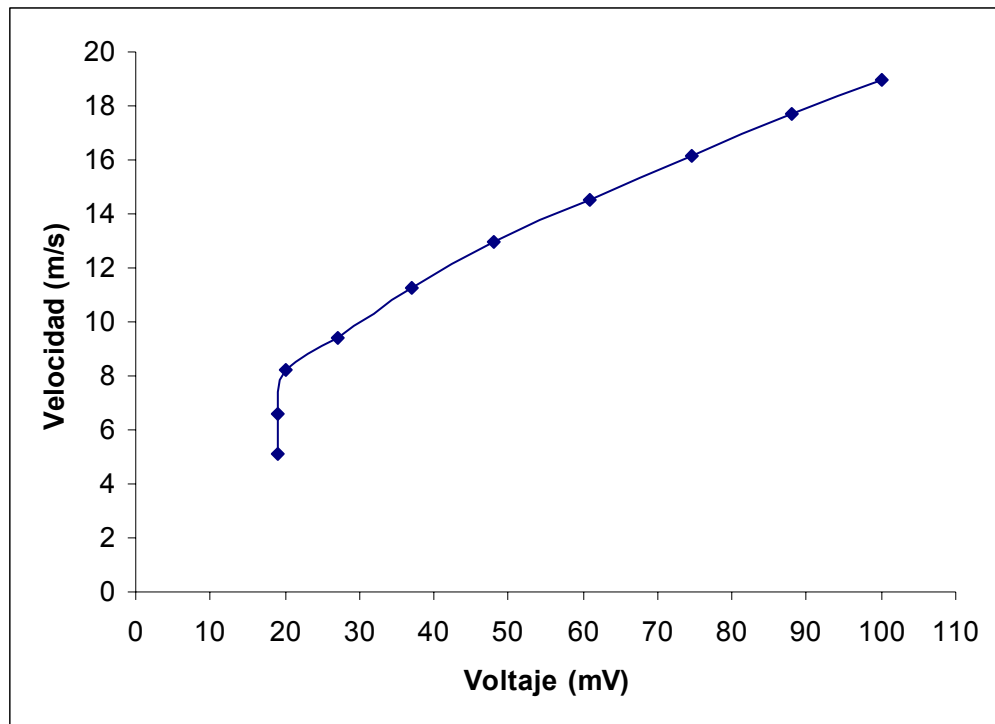
Al igual que el sensor de flujo de aire *Vent Captor* este conjunto se caracterizó en el laboratorio de fluidos en el banco de medición de flujo de gases tal como lo muestra la figura 20.



**Figura 20. Caracterización del tubo Pitot**

Se utilizó el mismo alargamiento de tubería por iguales razones y el procedimiento fue de la siguiente manera:

Se estableció un rango de flujo que cumpliera con las especificaciones del fabricante de la dipicelda, pues esta es el instrumento limitante ya que su rango es de 1 pulgada de agua. Por lo cual el controlador del ventilador se trabajó en el rango de 5 a 27 Hz ascendente y descendente cada 2 Hz, con el anemómetro en serie, este procedimiento se realizó 3 veces para ambos y sus datos se promediaron (ver tabla 12) y graficaron para su mejor comprensión tal como lo muestra la figura 21.



**Figura 21. Grafica de caracterización del conjunto tubo pitot y dipicelda**

Al observar la grafica podemos darnos cuenta del comportamiento del conjunto tubo pitot y dipicelda, aunque tenemos ya un flujo perceptible, el conjunto no lee hasta que la velocidad del aire no se hace mayor a 8 m/s, por lo anterior, podemos ver que existe un error de cero, este no puede ser corregido dado que los instrumentos son propiedad del proyecto de investigación **DIAGMA**, el cual está en desarrollo con otros proyectos de grado.

**Tabla 12. Tabla de Datos Promedios de Caracterización Tubo Pitot y Dipicelda**

<b>Voltaje (mV)</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>19</b>	<b>25.5</b>	<b>35.25</b>	<b>46.75</b>	<b>60</b>	<b>73.75</b>	<b>87.75</b>	<b>100</b>
<b>Velocidad (m/s)</b>	5.02	6.64	8.24	9.29	11.36	12.99	14.59	16.14	17.82	18.94

### 4.2.3 Microcaudalimetro

La tabla 13. nos describe las principales características de este sensor y la tabla 14 los rangos de medición de acuerdo al fabricante.

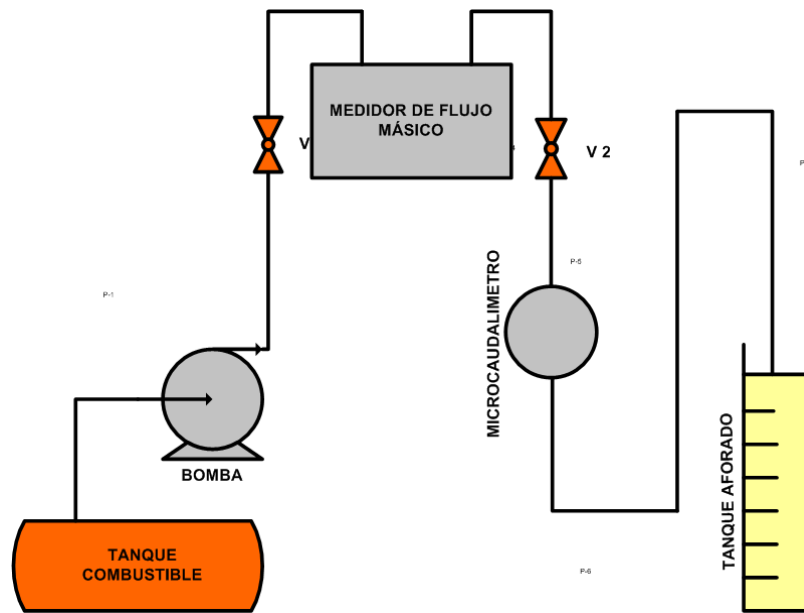
**Tabla 13. Características del microcaudalimetro**

<b>Señal de salida</b>	1.5 V pico-pico mínimo 4.5 V pico-pico máximo Frecuencia variable
<b>Tensión de entrada</b>	5 V DC a 60 mA máximo
<b>Linealidad</b>	± 0.25 % de la escala total
<b>Repetibilidad</b>	± 0.25 % de la escala total
<b>Limite de viscosidad</b>	20 cp solo fluidos Newtonianos
<b>Presión</b>	25 psi a 180 °F
<b>Flujo mínimo detectable</b>	0.013 gpm
<b>Flujo máximo detectable</b>	0.18 gpm

**Tabla 14. Rangos de medición del microcaudalimetro**

<b>Mínimo Usable</b>	<b>Flujo mL/min</b>		<b>Porcentaje de Error</b>
	<b>Mínimo Lineal</b>	<b>Máximo Lineal</b>	
50	100	6 L/min	0.25%

Este sensor fue caracterizado en el laboratorio de motores de la unidad de planta piloto del Instituto Colombiano del Petróleo (I.C.P.) con la ayuda del personal adscrito a esta unidad. Para observar la configuración de cómo se realizó la caracterización ver figura 22.

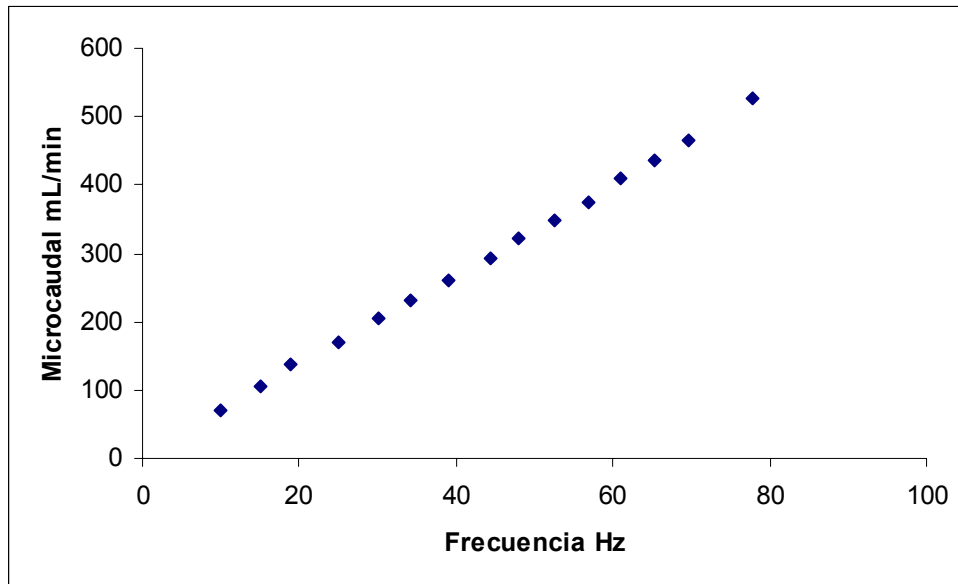


**Figura 22. Configuración caracterización microcaudalímetro.**

Este banco en general se utiliza para realizar pruebas de motores con nuevos combustibles que están en desarrollo, tanto a gasolina como diesel. Para la caracterización del microcaudalímetro se utilizó solo una pequeña parte del banco, exactamente lo que corresponde a la medición de consumo de combustible.

Como se puede observar en la figura 22. la medición de flujo se realiza con un medidor de flujo másico tipo coriolis de alta precisión marca motion inc, debido a las grandes pérdidas de presión que hay a su paso se utiliza una bomba centrífuga que proporciona el flujo necesario para realizar la prueba, seguido de la bomba sigue el medidor de coriolis y el microcaudalímetro, al final del lazo hay un tanque aforado que permite corroborar los datos obtenidos. Cabe anotar que las diferentes válvulas existentes tienen el propósito de direccionar el flujo hacia el motor o desviarlo para la limpieza de sus partes ya que como se dijo se necesitan probar diferentes tipos de combustibles.

Para la caracterización se llevó a cabo la utilización de un osciloscopio marca FLUKE, un tanque aforado de 2 litros de capacidad, un medidor de flujo másico tipo coriolis, una bomba centrífuga, filtros de combustible, tuberías y válvulas.



**Figura 23. Grafica de Frecuencia vs Caudal del microcaudalímetro**

**Tabla 15. Tabla de Datos Promedios de Caracterización Sensor de Flujo de Gasolina (Microcaudalímetro)**

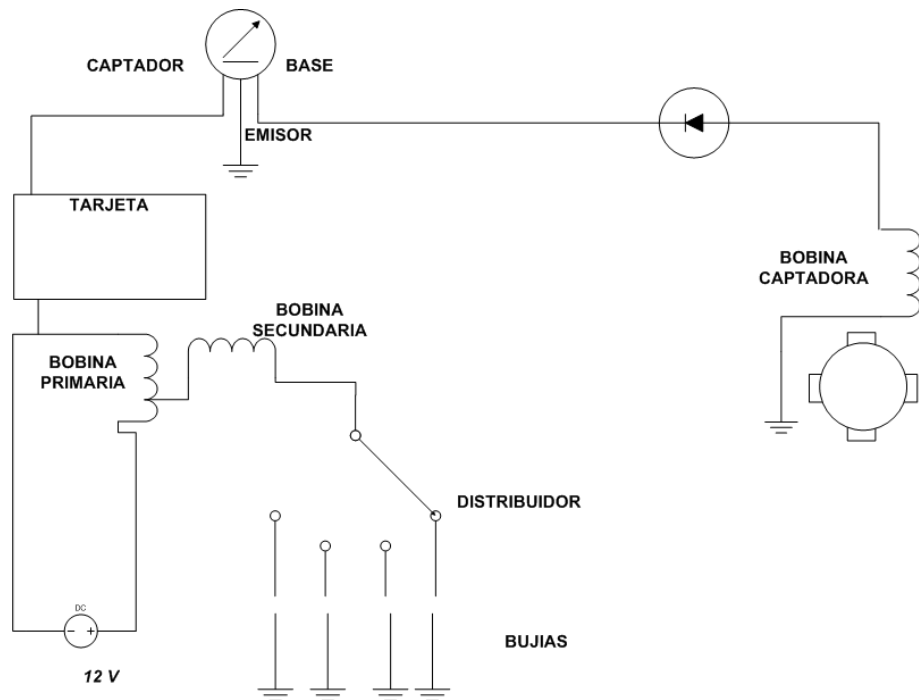
<b>Caudal (mL/min)</b>	<b>Frecuencia (Hz)</b>
70	10
104.4	15
136,5	19
170,7	25
204,8	30
232,1	34,2
259,4	39
293,6	44,5
320,9	48
348,2	52,5
375,5	57
409,7	61
437	65,2
464,3	69,6
525,8	77,8

La figura 23 y la tabla 15 muestran la lectura en mililitros respecto a la frecuencia a la que gira el microcaudalímetro, se puede observar que las lecturas menores de 70 ml/min no son captadas por el sensor y después de este valor se verifica su linealidad dada por la ecuación 17.

$$Q[mL / \text{min}] = 6.6516X + 0.9647 \quad \text{Ecuación 17}$$

#### **4.2.4 Sensor de RPM**

Este sensor tiene una doble función, una la de generar la chispa al sistema de distribución y otra de leer la frecuencia a la que gira el motor. Este sensor es de carácter inductivo y recibe pulsos provenientes de una rueda dentada que se los proporciona, esta rueda posee 40 dientes de los cuales 2 de ellos son de mayor diámetro, cada pulso me induce una corriente que al pasar por una bobina llamada primaria hacia la bobina secundaria y por medio del distribuidor pasa a cada uno de los cilindros según corresponda. En el circuito descrito anteriormente, del transistor se saca la señal de RPM como se muestra en la figura 24.



**Figura 24. Sistema de distribución del motor R 21**

### 4.3 SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS

Cualquier tipo de proceso en el que estén involucrados sensores electrónicos debe estar acompañado de una etapa de acondicionamiento y adquisición de señal para que los datos obtenidos inicialmente no sean distorsionados por una incorrecta manipulación de los mismos.

Para el acondicionamiento de señales se diseñó una tarjeta y para la adquisición de señal se utilizó un Field Point, los cuales serán descritos.

### 4.3.1 Field Point

Un Field Point es un dispositivo de recolección de señales que consta de por lo menos una base terminal, y uno o más módulos de entradas y salidas. Este hardware tiene un modulo principal FP 1000 que es el encargado de recibir la señal que ha sido acondicionada previamente y enviarla al computador, donde posteriormente es analizada para la interpretación de datos ver figura 25.

Además del módulo principal también consta de 2 módulos, el primer modulo **FP TC-120** diseñado para recibir señales de termocuplas, para nuestro caso recibe las señales de los sensores de medición de flujo de aire debido a que estas señales fueron acondicionadas previamente, y el segundo el **FP CTR 502** es un módulo contador de pulsos, por este ingresan las señales del sensor de microcaudal y de revoluciones del cigüeñal.

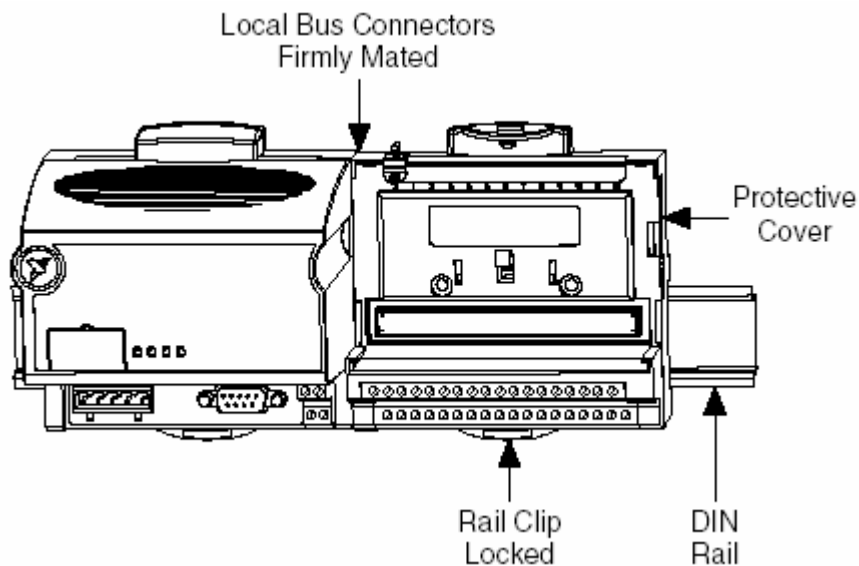
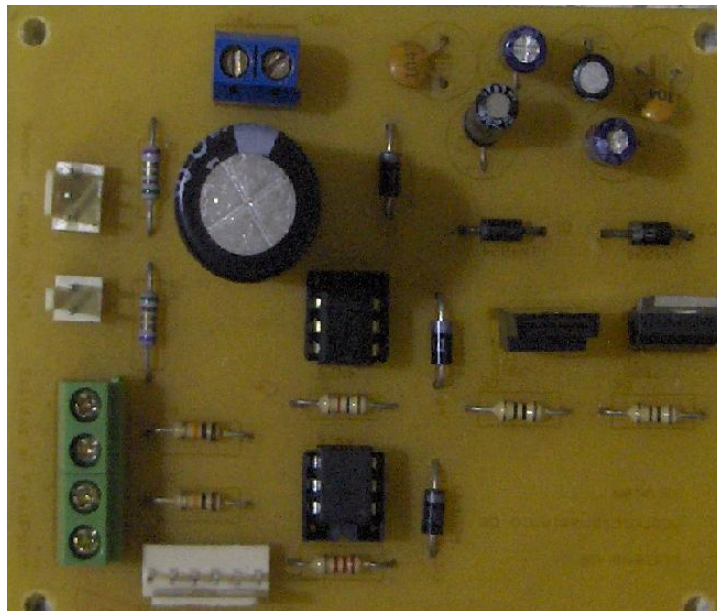


Figura 25. FP 1000

### 4.3.2 Tarjeta de acondicionamiento de señal (T.A.)

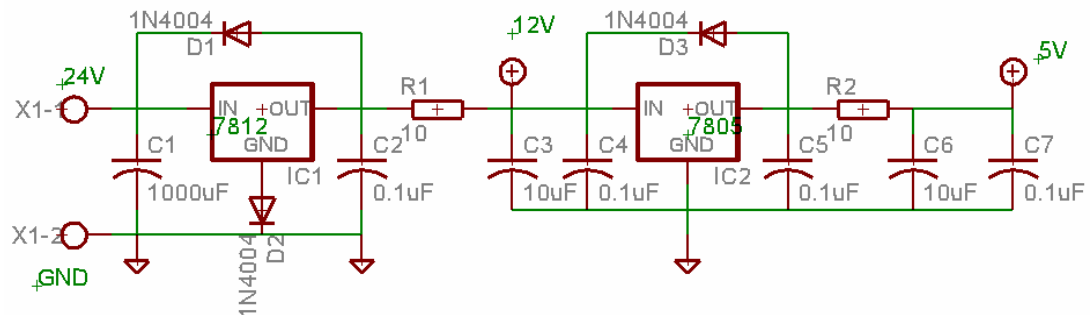
Es un elemento que tiene dos funciones fundamentales, la primera asegurar la alimentación de los diferentes sensores según las necesidades propias de cada uno de ellos, para que de esta manera se pueda utilizar una sola fuente, con esto se consigue simplicidad del sistema, ahorro de costos y espacio; la segunda función es procesar las señales de salida de los sensores de modo que puedan ingresar correctamente al módulo de adquisición de señales del sistema (Field Point).



**Figura 26. Tarjeta acondicionamiento señal**

Se tuvo la necesidad de diseñar la tarjeta, dadas las características que poseen los módulos **FP TC 120** y **FP CTR 502**, el módulo contador solo recibe ondas cuadradas y el módulo de termocuplas solo recibe señales de milivoltaje.

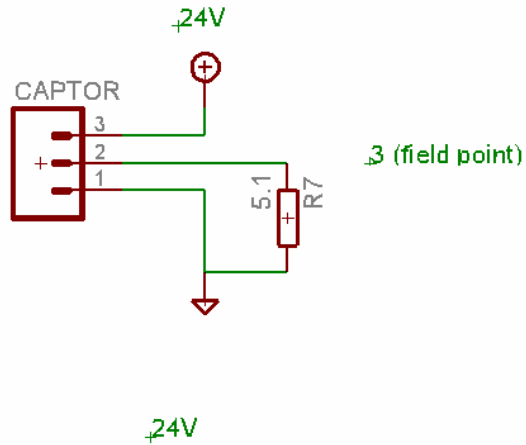
La T.A. se alimenta en un rango que puede ir de 15 a 26 VCD, y envía dos señales reguladas a 12 VCD para alimentar los circuitos que generan ondas cuadradas de las señales que envía el sensor de RPM y el sensor de consumo de gasolina (microcaudal); y a 5 VCD para alimentar el sensor de consumo de gasolina (microcaudal), Ver figura 27.



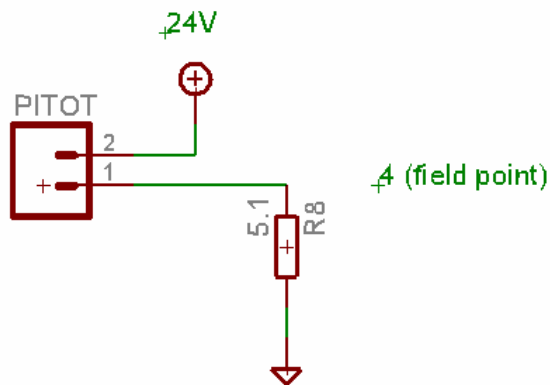
**Figura 27. Circuito de Fuente interna de la tarjeta**

La T.A. recibe la señal de 4 sensores (sensor de flujo de aire Vent Captor, sensor para RPM, conjunto tubo pitot y dipicelda, sensor medidor de microcaudal), la señal proveniente de la termocupla no se tiene en cuenta para la tarjeta debido a que el **FP TC 120** es un modulo especial para estas señales.

La T.A. convierte 2 señales de mA de los dos sensores involucrados en la medición de aire a mV por medio de una resistencia de precisión de  $5.1_{\Omega} \pm 1\%$ , ya que el **FP TC 120** no permite la entrada de un voltaje mayor a 100 mV, esto se muestra en las figuras 28 y 29.



**Figura 28. Circuito Alimentación y Recepción de Señal del Sensor de Flujo de Aire Ven Captor**



**Figura 29. Alimentación y Recepción de Señal de la Dipicelda**

Otro de los circuitos con los que cuenta la T.A. consiste en cambiar la forma de la onda del microcaudalímetro y RPM a una forma de onda cuadrada para que la pueda reconocer el módulo **FP CTR 502**. En la figura 30 y 31 se muestra el tipo de onda original de los sensores.

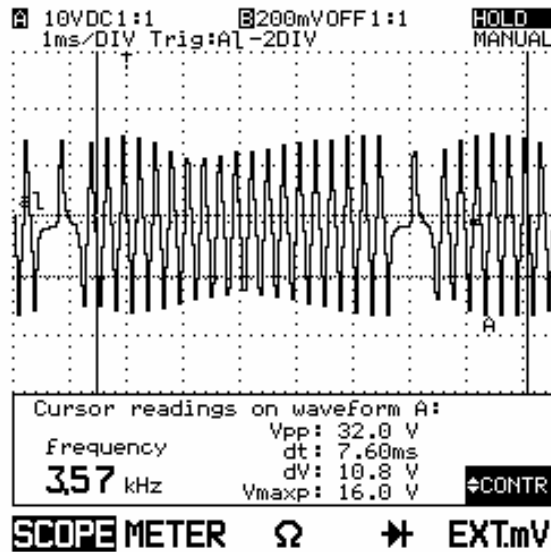


Figura 30. Señal original sensor RPM tomadas con el osciloscopio

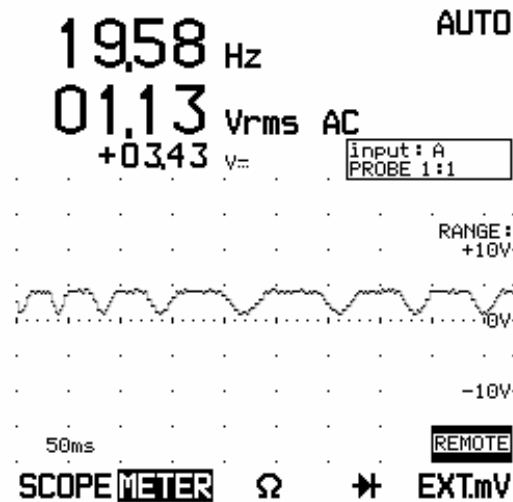
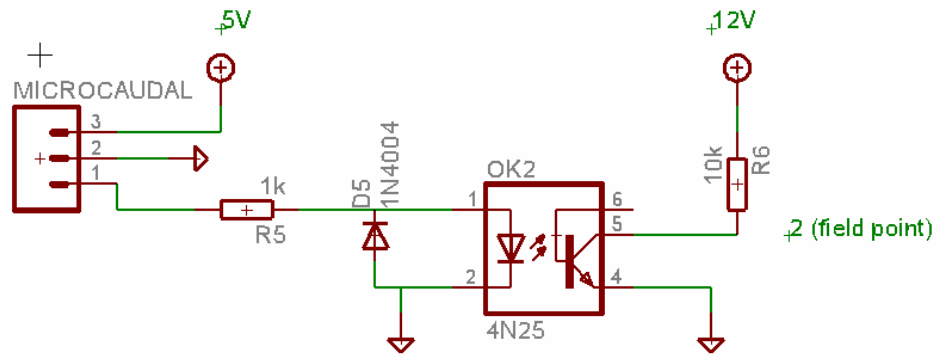
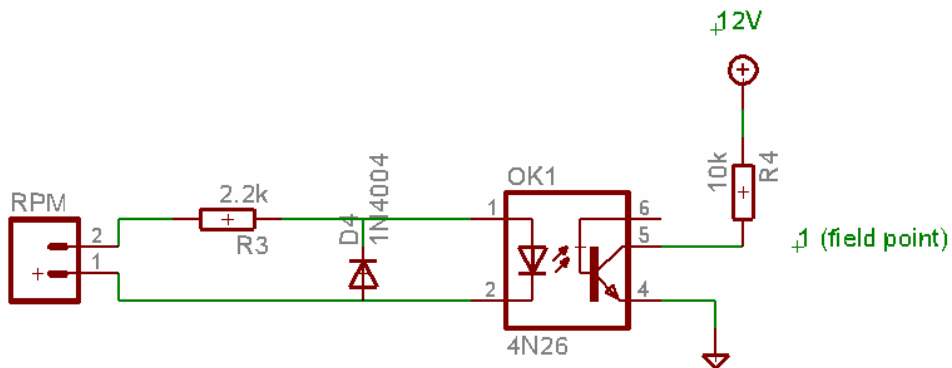


Figura 31. Señal original sensor de medición de flujo de combustible (Microcaudal) tomadas con el osciloscopio.

En las figuras 32 y 33 se muestran los circuitos diseñados para cambiar la forma de la onda.



**Figura 32. Circuito Microcaudalímetro**



**Figura 33. Circuito RPM**

La tarjeta también posee un grupo de condensadores que sirven para absorber una gran cantidad de ruido que tiende a distorsionar la señal que se está analizando.

Es importante realizar una buena conexión de la Tarjeta, del Field Point, y entre ellos, para poder tener los resultados esperados. A continuación la figura 34 muestra de manera detallada las conexiones de dichos dispositivos.

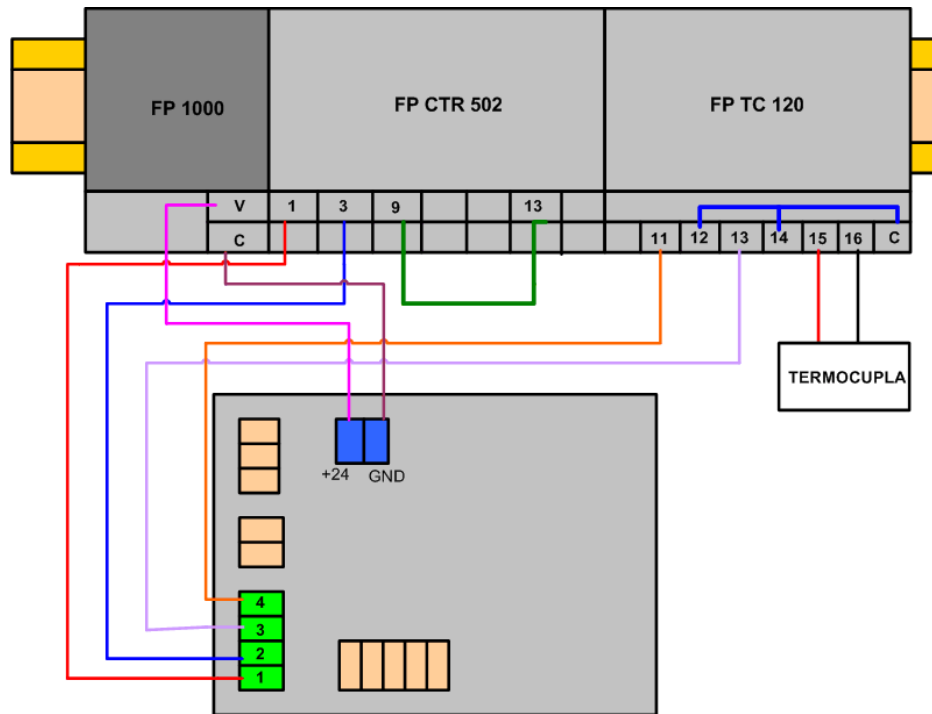


Figura 34. Conexiones entre la tarjeta y el Field Point

## **5 INTERFAZ GRAFICA**

### **5.1 DESCRIPCIÓN DE SOFTWARE**

El proyecto utiliza **LabVIEW 7.0** para realizar la interfaz grafica. LabVIEW es una plataforma virtual que simula el panel frontal de un instrumento, y se apoya en elementos hardware accesibles por el computador (Field Point y puertos) realiza una serie de medidas como si se tratara de un instrumento virtual.

### **5.2 DESCRIPCIÓN DE LA INTERFAZ**

La interfaz fue diseñada de tal manera que se convirtiera para el usuario en una herramienta de fácil manejo, facilitando la selección de opciones encargadas de exponer permanentemente el desarrollo del proceso de medición flujos máxicos de aire y combustible y mostrar sus resultados.

La pantalla de visualización de datos es un panel frontal donde se registran todas las variables, las condiciones del banco y permite ver el comportamiento de las variables durante el transcurso de la prueba en forma gráfica.

La interfaz es la encargada de llevar a cabo el manejo de la información, el procesamiento y el almacenamiento.

Debe garantizar el desarrollo automático de las siguientes funciones:

- ✚ Recibir los datos reportados por el sistema de adquisición de señales (F.P.)
- ✚ Calcular y graficar el flujo másico de aire y de combustible. Además de la relación aire combustible, y las RPM del motor.
- ✚ Permitir funciones como iniciar y finalizar una prueba.
- ✚ Almacenar los datos una vez se ha decidido iniciar una prueba

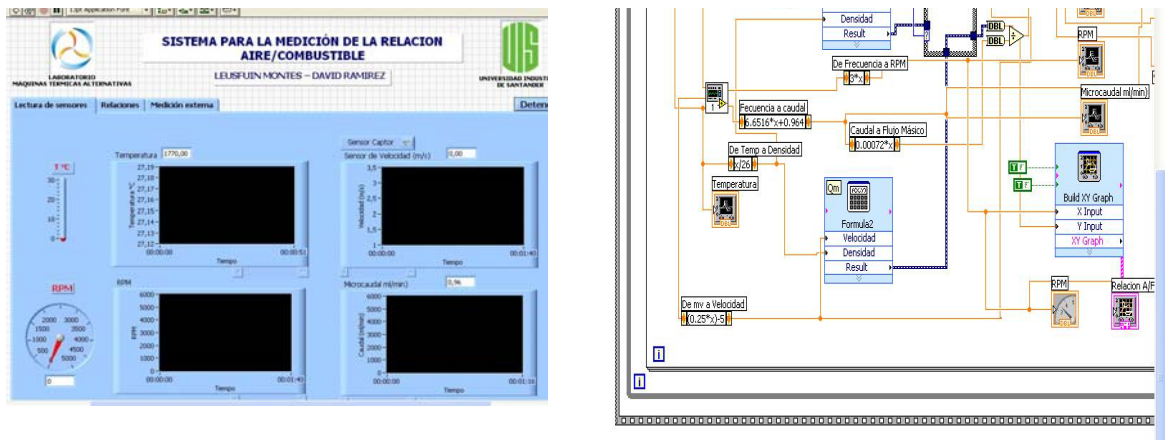


Figura 35. Panel frontal y de Bloques

Cuando se crea un VI en **LabVIEW** se trabaja con 2 ventanas: Una en la que se implementará el panel frontal y otra que soportará el nivel de programación (Diagrama de bloques) Ver figura 35.

### 5.3 PANEL FRONTAL

El panel frontal consta de 3 carpetas, la primera sección llamada **LECTURA DE LOS SENSORES** muestra la lectura de las variables medidas en forma gráfica en función del tiempo como lo son el flujo másico de aire y de

combustible, temperatura del aire de admisión al motor y RPM en forma continua hasta el final de la prueba, posee un tacómetro análogo/numérico cuya función es registrar los cambios de velocidad del motor, un indicador en forma de termómetro encargado del registro de la temperatura de admisión del aire y un menú indicador que permite seleccionar entre dos sensores el cual se desea realizar la medición de flujo de aire dado que por estar montados en paralelo no pueden ser utilizados simultáneamente, cuenta también con 3 indicadores de las condiciones ambientales a la cuales se encuentra el laboratorio, estas son editables por el usuario, ver figura 36.

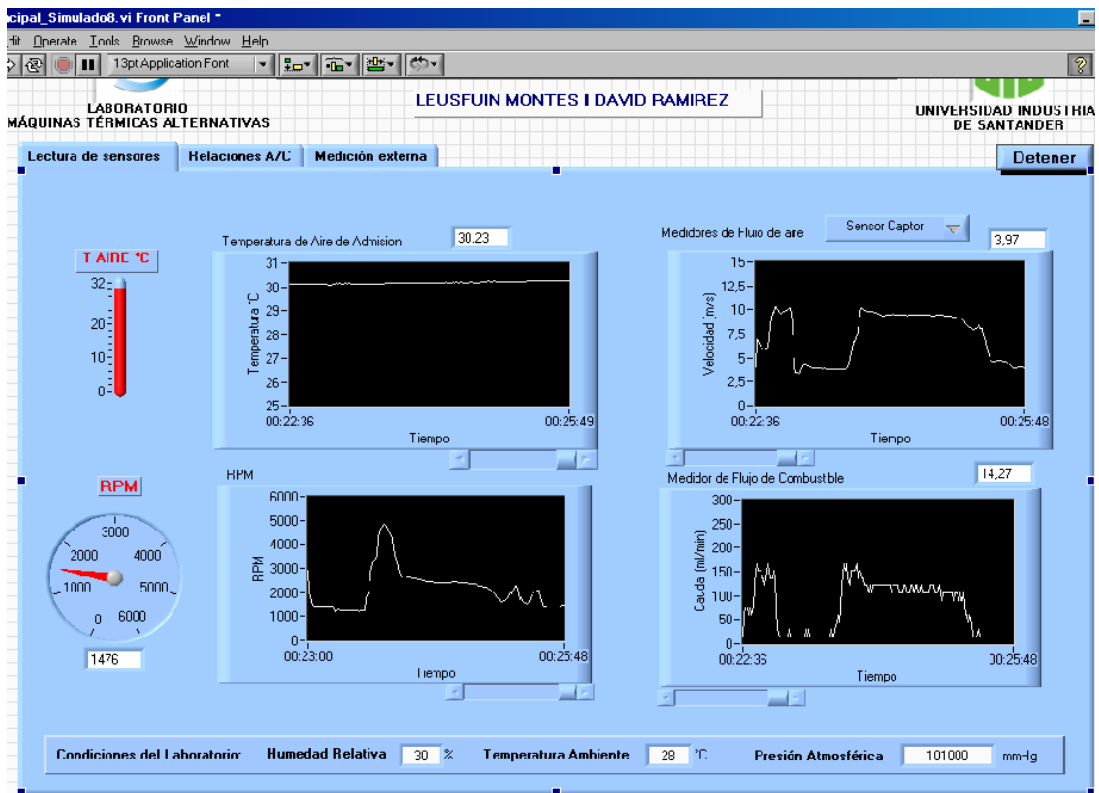
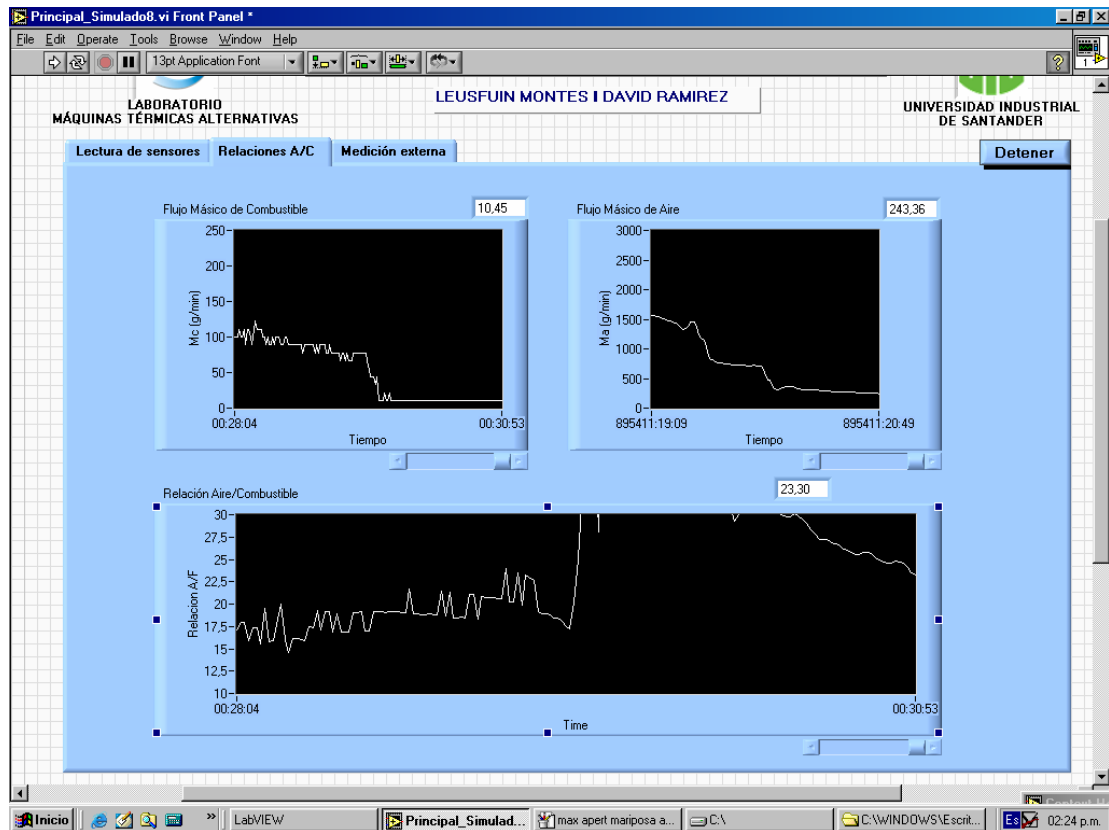


Figura 36. Vista detallada de las secciones del panel frontal

La sección **RELACION A/C** muestra en forma de grafica Waveform Chart a relación aire combustible vs el tiempo, consumo masico de aire vs tiempo y consumo masico de combustible vs tiempo, ver figura 37.



**Figura 37. Carpeta de relación A/F Vs RPM y A/F Vs tiempo**

La sección **MEDICIÓN EXTERNA** permite calcular mediante otros métodos la medición del consumo de gasolina y gas natural, como en estos métodos no se tiene señal hacia el computador se habilito 3 controles numéricos que permite al usuario ingresar los datos medidos durante la prueba y por medio de indicadores numéricos leer sus resultados ver figura 38.



Figura 38. Carpeta de Medición Externa

#### 5.4 CADENA DE MEDICIÓN

Para poder diseñar el sistema general del sensado se utilizó la cadena de medición en la figura 39.

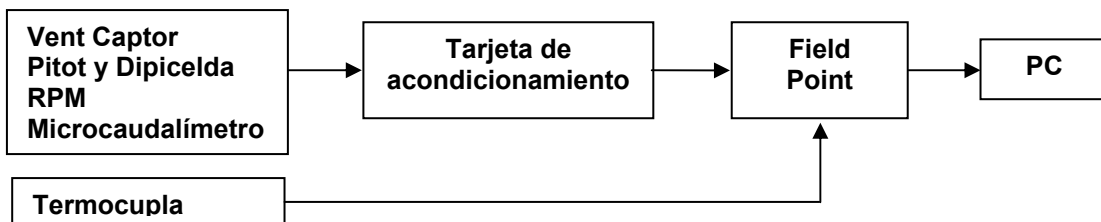
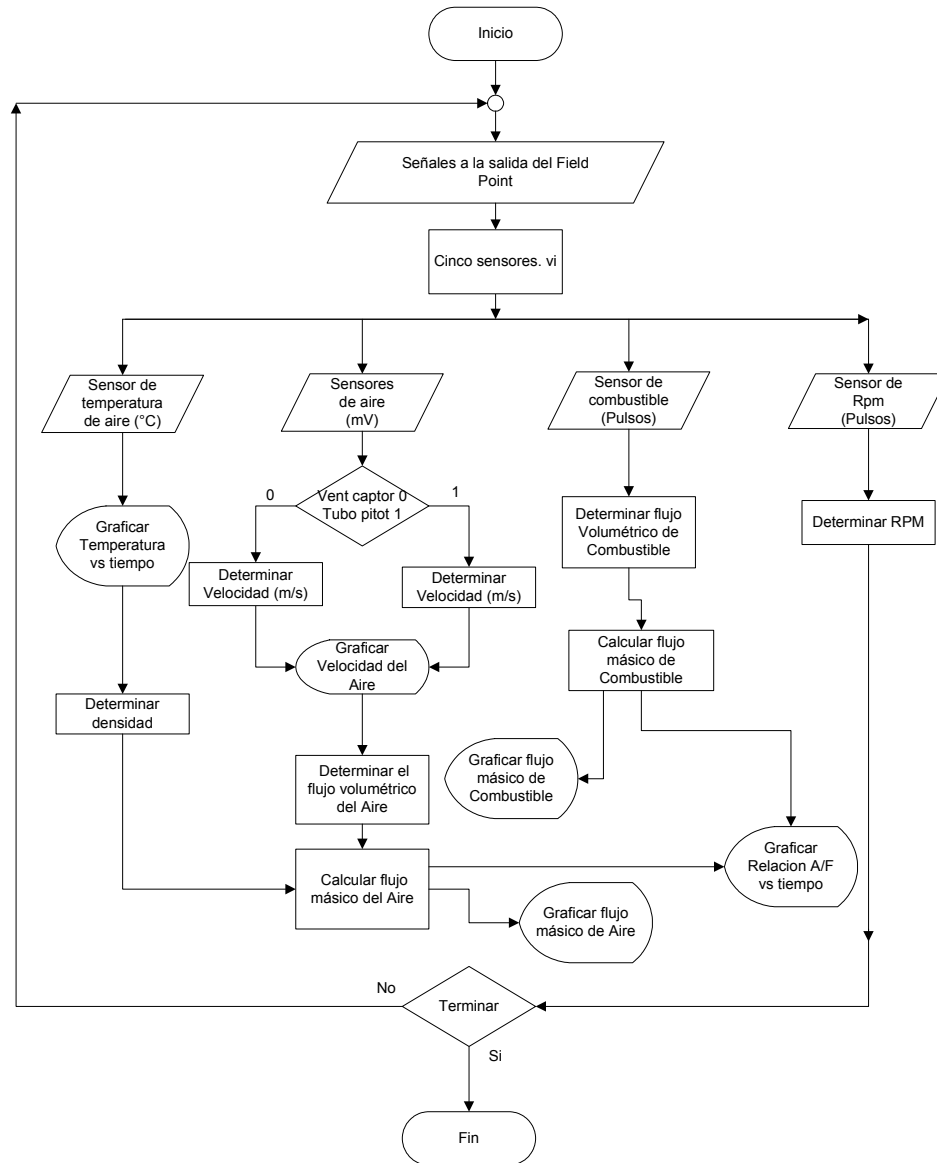


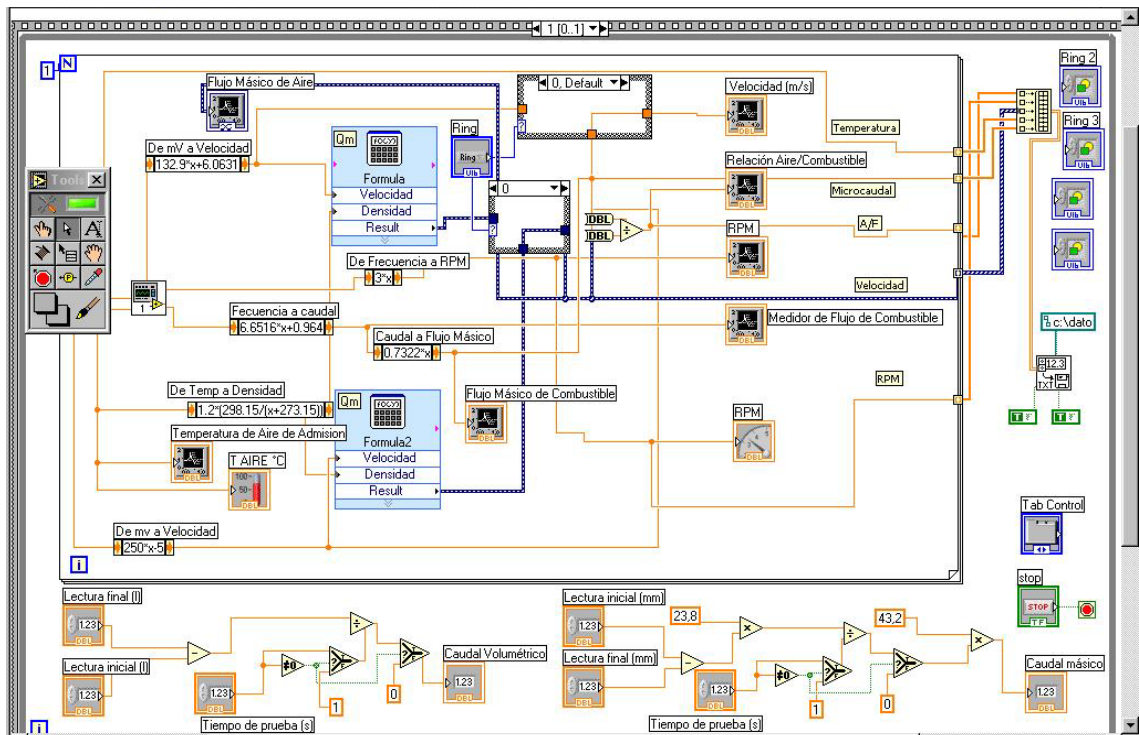
Figura 39. Cadena de Medición.

Visto el diagrama de bloques del sistema se procede a realizar el diagrama de flujo del proceso elaborado en labVIEW para llevar a cabo la medición (figura 40).



**Figura 40. Diagrama de flujo**

En el diagrama de flujo que se muestra en la grafica 40, se observa que las señales de los sensores a la salida del Field Point van a **cinco sensores.vi**, este es un subprograma diseñado por la forma de medir en el sistema de adquisición (modulo contador del Field Point), allí se reciben las señales de los cinco sensores ( termocupla, conjunto pitot y dipicelda, Vent Captor, microcaudalimetro y RPM, y sobre estos dos últimos lo que realiza el programa es ordenar realizar el conteo de la señal en un determinado periodo configurado previamente en el Fiel Point, registrarla, graficarla y volver a realizar este proceso hasta la orden de detener. Con base a eso se determina la frecuencia de los sensores y se continua el proceso tal cual como se describe en la figura 40. En la figura 41 se muestra la ventana donde se ubica el nivel de programación descrito en el diagrama de flujo (figura 40).



**Figura 41. Panel de Bloques**

## 6 MEDICIÓN DE GAS NATURAL EN EL BANCO DE LABORATORIO DE MOTORES

El gas natural es una mezcla de hidrocarburos y no hidrocarburos, formado al interior de la tierra en el curso de un proceso evolutivo de centenares de miles de años; la mayoría de estos hidrocarburos se presentan en estado gaseoso a condiciones de presión y temperatura ambiente y otros líquidos a las mismas condiciones.

El gas natural se utiliza como materia prima o como combustible en los sectores industrial, petroquímico, termoeléctrico, doméstico, comercial y de transporte terrestre. Sus principales usos por sector son los siguientes:

**Tabla 16. Usos del Gas Natural<sup>22</sup>**

<b>SECTOR</b>	<b>USOS</b>	
<b>INDUSTRIAL</b>	Refinerías de petróleo Industria del vidrio Minas de ferroníquel Industria alimenticia Hierro y acero	Pulpa y papel Industria de cemento Cerámica Industria textil
<b>PETROQUIMICO</b>	Úrea Alcoholes MTBE Etileno ETC	Nitrato de amonio Aldehídos Acetileno Polietileno
<b>TERMoeLECTRICO</b>	Turbogeneradores Calderas (turbinas de vapor) Plantas de ciclo combinado	Plantas de ciclo "STIG" Plantas de cogeneración Plantas de trigeneración
<b>DOMESTICO GENERAL</b>	Cocinas Secadoras de ropa Refrigeración y acondicionamiento de aire	Calentadores de agua Calefacción Restaurantes Hoteles
<b>TRANSPORTE - GNV</b>	Gas Natural Vehicular comprimido en reemplazo de gasolina motor	

<sup>22</sup> [www.ecogas.com](http://www.ecogas.com)

Por que medir el consumo de combustible?

Desde un punto de vista investigativo la importancia está en poder determinar los parámetros de funcionamiento de un motor, dentro de los cuales están: consumo específico de combustible, la relación de aire combustible, emisiones, potencia efectiva, rendimiento efectivo del motor.

### 6.1 BANCO DE GNV

El gas natural es un hidrocarburo utilizado como combustible o fuente energética para múltiple aplicaciones, aunque su composición varía en función del yacimiento del que se extrae, está compuesto principalmente por metano en cantidades que comúnmente pueden superar el 90 o 95%, y suele contener otros gases como nitrógeno, etano, CO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>S, butano, propano, mercaptanos y trazas de hidrocarburos mas pesados.



**Figura 42. Banco de Conversión de Gasolina a Gas Natural**

### **6.1.1 Funcionamiento**

En este caso particular por tratarse de un motor estacionario la toma de gas natural se realiza directamente de la línea disponible del laboratorio a una presión de entrada de 38 psi ver figura 42 .

El gas natural desde la tubería de suministro de 1/2 pulgada de diámetro fluye por el regulador de presión hasta el mezclador pasando por la válvula de control de flujo. La cantidad de gas natural que lleva al carburador a través del mezclador es controlada por la válvula de control y el controlador de mezcla quien recibe las señales de relación estequiométrica aire gas dependiendo de las necesidades del motor.

El gas pasa posteriormente al mezclador dosificador de gas que se encuentra montado en la línea de aire de entrada al carburador del motor. Finalmente, el gas pasa a través del carburador el cual se encuentra libre de gasolina, para entrar al múltiple de admisión y luego a cada uno de los cilindros.

Después de que la combustión se ha llevado a cabo en la cámara de combustión de los cilindros, los gases de escape son sensados para medir el contenido de oxígeno sobrante o faltante en la mezcla que previamente se ha quemado. Este se realiza con el propósito de que la válvula de control de flujo permita o evite la entrada de gases al motor.

El cambio de gasolina a gas natural se hace desplazando el conmutador gas-gasolina desde la posición gasolina hasta la posición centra, con lo que se cierra la electroválvula de gasolina como la de gas natural para darle tiempo al motor e consumir la gasolina del depósito del carburador este puede tardar algunos segundos. Cuando se note una inestabilidad en el sonido

característico del motor se cambia el conmutador a la posición de gas y el motor empezará a funcionar con gas a partir de ese momento. El cambio de gas natural a gasolina se hace operando rápidamente el conmutador de manera inversa.

Al efectuar el cambio de un combustible a otro, el dispositivo electrónico de avance de chispa mantendrá el mismo avance cuando el motor trabaja con gasolina y hará un aumento cuando el motor trabaja con gas natural lo cual recuperara sustancialmente la perdida de potencia debida a la baja velocidad de encendido de gas natural comparada con la gasolina.

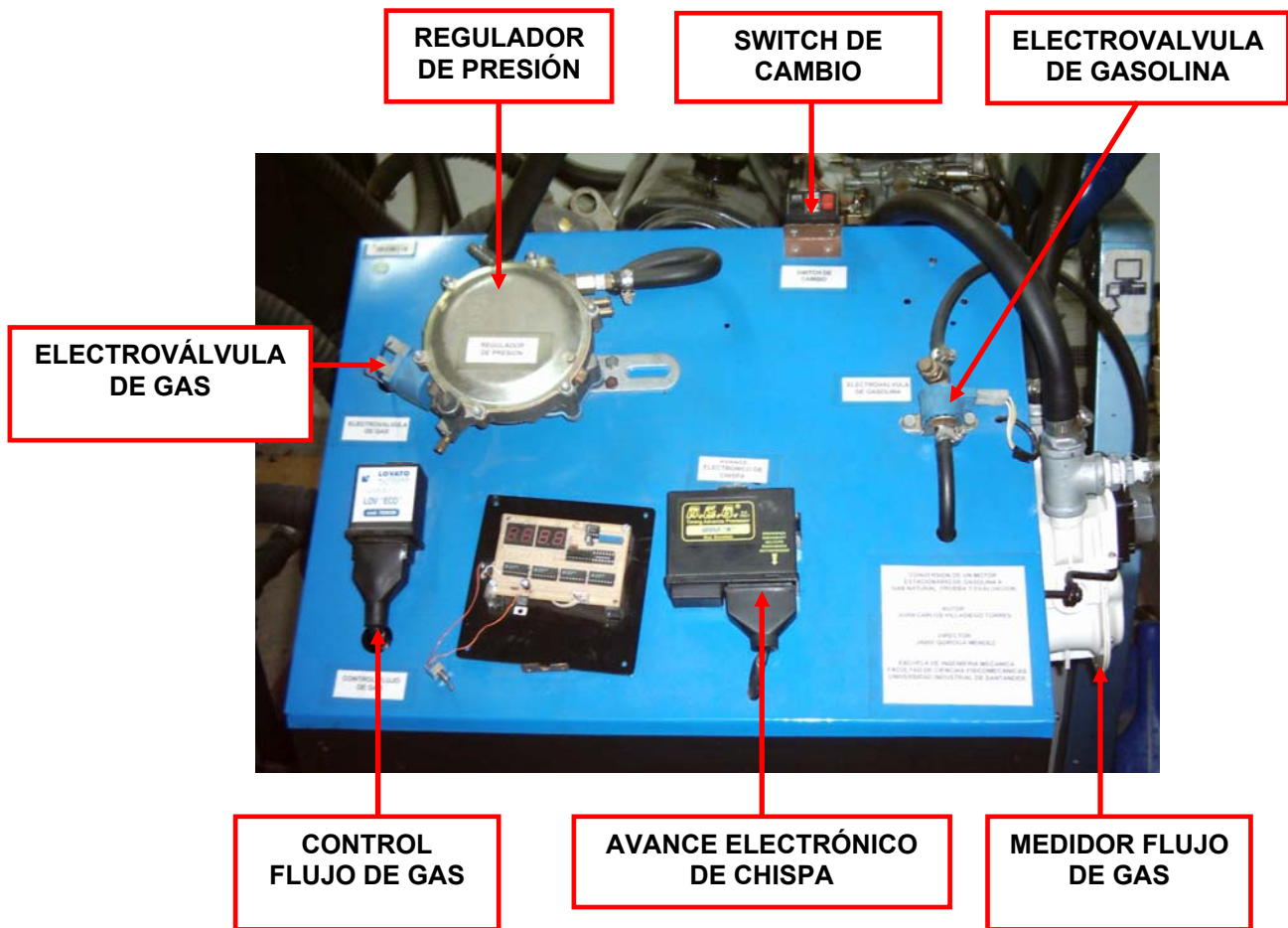
### 6.1.2 Partes del banco<sup>23</sup>

- ✚ Regulador de presión.
- ✚ Controlador de mezcla.
- ✚ Válvula de control flujo de gas.
- ✚ Sensor de oxígeno mezclador
- ✚ Electroválvula de gasolina.
- ✚ Dispositivo electrónico de avance de chispa.
- ✚ Conmutador gas gasolina.
- ✚ Medidor de flujo de gas.

En la figura 43 se puede observar las partes de las cuales esta compuesto el tablero de conversión a gas natural, que fueron montadas en un proyecto anterior.

---

<sup>23</sup> VILLADIEGO, Juan. Tesis de grado Conversión de motor estacionario de gasolina a gas natural.



**Figura 43. Banco de prueba GNV**

El banco de conversión gasolina - GNV, contaba con un medidor de desplazamiento positivo tipo diafragma para aplicaciones industriales con escala dada en metros cúbicos. Al realizar pruebas al banco pudimos constatar que el consumo de gas natural es bastante pequeño comparándolo con una escala tan grande como lo es un metro cúbico, por lo cual se decidió sustituirlo por uno de menor escala, otra de las razones que nos llevó a cambiarlo fue las grandes pérdidas de presión a su paso por el medidor, que en algunos casos no permitían que el motor funcionara adecuadamente. La empresa **GASORIENTE S.A. E.S.P.** donó dos contadores domiciliarios de

diafragma. De los cuales se instaló uno y se tiene el otro para una próxima necesidad.

Como se desea en un futuro la automatización total del banco de prueba de motores se desea adquirir un medidor de gas que tenga salida electrónica, que su rango esté entre 1 y 7 m<sup>3</sup>/h, mas adelante se establecerá un metodologías para la selección del medidor del gas natural

## 6.2 CONSUMO DE GAS NATURAL

Para establecer el consumo vamos a guiarnos de los resultados de las pruebas suministradas en la tesis de conversión gasolina - gas natural y se verificó con una prueba realizada por los autores de esta tesis.

**Tabla. 17. Prueba de Consumo de Combustible sin Carga<sup>24</sup>**

Velocidad motor RPM	Potencia al freno BHP	Caudal gas natural m <sup>3</sup> /h	Consumo gas natural Kg/h
3000	0	3.275	1.910
2500	0	2.517	1.468
2000	0	2.247	1.310
1600	0	1.893	1.104

### 6.2.1 Consumo Medido

Este fue realizado en el laboratorio de maquinas térmicas alternativas, en el banco de conversión a GNV, utilizando un medidor tipo diafragma adquirido recientemente y un cronometro digital se realizaron pruebas para determinar un consumo volumétrico normal<sup>25</sup>, máximo y mínimo.

---

<sup>24</sup> VILLADIEGO, Juan -Tesis de grado Conversión de un Motor Estacionario de Gasolina a Gas Natural

<sup>25</sup> Choose the right flow meter” Chemical Engineering Progress ; VOL. 92 ; ISSUE: 1 ; PBD: Jan 1996

## 6.2.2 Criterios de Selección del Medidor de Gas Natural

La medición de flujo se distingue por la gran variedad de tecnologías disponibles para hacerlas. Para la selección adecuada del medidor de flujo se quiso seguir una metodología utilizada por Jonh W Dolenc<sup>26</sup>

Existen siete preguntas claves para la correcta selección del medidor, estas son:

- 🚦 Que se piensa medir?
- 🚦 Cual es el propósito de la medición?
- 🚦 Cual es el rango de flujo?
- 🚦 Cuales son las propiedades físicas del fluido en el punto que se desea medir?
- 🚦 Que materiales de construcción son aceptables?
- 🚦 Cuáles son los apremios de la instalación?
- 🚦 Cuales son los lideres para la aplicación especifica que necesitamos?

A continuación vamos a utilizar el procedimiento anterior para escoger un medidor de gas que se encargue de medir el consumo de gas natural en el banco de pruebas de motores.

### 6.2.2.1 Que se piensa medir?

Cuando pensamos responder esta pregunta debemos tener en cuenta un sistema de clasificación, preferiblemente que involucre las propiedades

---

<sup>26</sup> "Choose the right flow meter" Chemical Engineering Progress ; VOL. 92 ; ISSUE: 1 ; PBD: Jan 1996

físicas del fluido, a continuación clasificamos los fluidos de la siguiente manera:

- 🚰 Líquido limpio.
- 🚰 Líquido sucio.
- 🚰 Mezclas con partículas sólidas.
- 🚰 Mezclas con fibras sólidas.
- 🚰 Líquidos corrosivos.
- 🚰 Líquidos criogénicos.
- 🚰 Gas limpio.
- 🚰 Gas sucio.
- 🚰 Vapor.

Esta clasificación se hace necesaria porque no todos los medidores de flujo pueden medir todos los tipos de fluido. Determinando el tipo de fluido podemos empezar el proceso de eliminación de algunos dispositivos de medición, una matriz de tipo de fluido Vs tecnología del medidor puede ser de gran ayuda, a continuación podemos verla en la tabla 18.

Nuestro fluido a medir es gas natural y lo consideramos dentro de la clasificación como un gas limpio.

#### **6.2.2.2 Cuál es el propósito de la medición?**

Para entender el propósito de la medición debemos saber para que va a ser utilizado ese dato, si el valor de la rata de flujo va a ser usado para control crítico de un proceso, control de proceso no crítico, monitoreo o solo como indicador.

Dadas las características del banco de prueba de motores el propósito será de monitoreo.

Tabla 18<sup>27</sup>. Aplicabilidad de los Principales Tipos de Flujómetros

TECNOLOGIA	LIQUIDO LIMPIO	LIQUIDO SUCIO	PARTÍCULAS MEZCLADAS	FIBRAS MEZCLADAS	LIQUIDO CORROSIVO	LÍQUIDOS CRIOGENICOS	GAS LIMPIO	GAS SUCIO	VAPOR
<b>PRESIÓN DIFERENCIAL</b>									
TUBO PITOT	Acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable
TOBERA	Acceptable	Normalmente aceptable	No acceptable	No acceptable	Normalmente aceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	Normalmente aceptable	Acceptable
ORIFICIO	Acceptable	Normalmente aceptable	No acceptable	No acceptable	Normalmente aceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	Normalmente aceptable	Normalmente aceptable
VENTURI	Acceptable	Acceptable	No acceptable	No acceptable	Normalmente aceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	Normalmente aceptable	Normalmente aceptable
<b>VELOCIDAD</b>									
ELECTROMAGNETICO	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	Acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable
TURBINA	Acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	Acceptable	Normalmente aceptable	No acceptable	No acceptable
ULTRASONICO DOPPLER	No acceptable	Acceptable	Normalmente aceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable bajo ciertas condiciones	No acceptable	No acceptable	Normalmente aceptable	No acceptable
ULTRASONICO TIEMPO TRASCIENTE	Acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	No acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones
VORTEX	Acceptable	Normalmente aceptable	No acceptable	No acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	Acceptable	Normalmente aceptable	Acceptable
<b>FLUJO MASICO</b>									
CORIOLIS	Acceptable	Acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	Acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable bajo ciertas condiciones
THERMAL MASS HEATED ELEMENT	No acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	Acceptable	Acceptable	No acceptable
<b>VOLUMETRICO</b>									
DESPLAZAMIENTO POSITIVO	Acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable bajo ciertas condiciones	No acceptable	Normalmente aceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable
<b>OTROS</b>									
AREA VARIABLE	Acceptable	No acceptable	No acceptable	No acceptable	Normalmente aceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones	Acceptable	No acceptable	Acceptable bajo ciertas condiciones

NOTA:  Aceptable  Aceptable bajo ciertas condiciones  
 Normalmente aceptable  No aceptable

<sup>27</sup> "Choose the right flow meter" Chemical Engineering Progress ; VOL. 92 ; ISSUE: 1 ; PBD: Jan 1996

### 6.2.2.3 Precisión en la medida

Desafortunadamente la precisión en la medida es definida de varias maneras. Puede ser expresada como porcentaje de la actual rata de flujo, porcentaje a rata máxima de flujo o porcentaje al máximo diferencial de presión.

Debemos tener en cuenta que el grado de precisión va directamente relacionado con el costo del medidor.

### 6.2.2.4 Cuales son las propiedades físicas del fluido en el punto que se desea medir?

El autor señala varias propiedades físicas que tienen una influencia significativa en la selección del medidor, como lo son la temperatura, presión, rata de flujo, viscosidad y la conductividad.

- ✚ *Temperatura y presión del fluido:* principalmente sus valores limites de operación, ya que puede causar daños al medidor.
  
- ✚ *Rata de flujo:* es muy importante, generalmente se deben tener en cuenta 3 ratas de flujo, la rata de flujo normal, la máxima y la mínima que pasa por el medidor. La relación entre el flujo máximo y el mínimo nos da un parámetro de escogencia del medidor.
  
- ✚ *Viscosidad del fluido:* juega un papel importante en la determinación del tipo de medidor, una alta viscosidad del fluido puede afectar la precisión o incrementar la caída de presión esperada a través del

instrumento. La viscosidad es utilizada para calcular el número de Reynolds ya que este número nos permite realizar la escogencia del tipo de medidor.

- 🌈 Conductividad del fluido: debe ser considerada cuando estamos pensando en la utilización de un flujómetro electromagnético y debe ser mínimo de 5 micromhos / cm. Para que el flujómetro pueda funcionar de manera adecuada.

#### **6.2.2.5 Que materiales de construcción son aceptables?**

Se puede decir que los mas utilizados por fabricantes especializados son el acero inoxidable, polimérico, aluminio, entre otros.

#### **6.2.2.6 Cuáles son los apremios de la instalación?**

Dependiendo del tipo de medidor se deben garantizar una longitud aguas arriba y aguas abajo del medidor para que exista una linealidad de flujo, minimizar las vibraciones en tuberías o mangueras según sea el caso, cumplir con las normas que rigen la parte eléctrica, asegurarse de la no existencia de fugas en el sistema, tener en cuenta los valores máximos y mínimos de operación por seguridad y confiabilidad de la lectura.

#### **6.2.2.7 Cuales son los lideres para la aplicación especifica que necesitamos?**

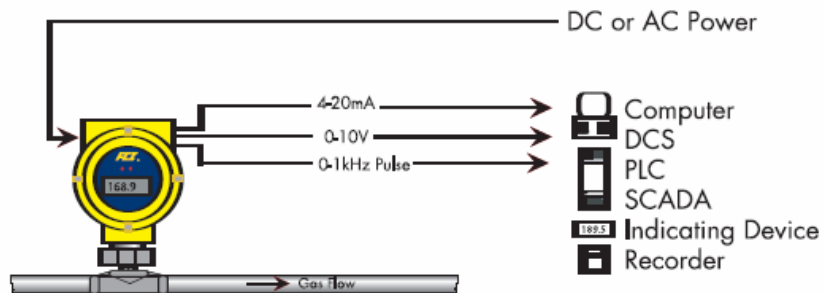
Podemos tener una infinidad de fabricantes, a continuación relacionamos a los que consideramos como lideres.

- 🇮🇹 SAMGAS ITALIA
- 🇪🇸 SICK OPTIC ELECTRONIC, S.A.
- 🇪🇸 ELSTER Co.
- 🇺🇸 FLUID COMPONENTS INTERNATIONAL CO.

Finalmente, después de haber respondido estas preguntas debe hacerse una preselección, aplicándose posteriormente el criterio desempeño vs. Costo se determina el dispositivo indicado.

Teniendo en cuenta los parámetros de selección anteriormente mencionados, y los fabricantes especializados en gas natural, nos permitimos sugerir los medidores.

Medidor de flujo másico **ST 75 2 FLUID COMPONENTS INTERNATIONAL**, se caracteriza por no tener elementos en movimiento, fácil instalación a líneas de alimentación en diferentes diámetros según se establezca, rosca NPT para instalación a la línea, salida electrónica de datos, posibilidad de configuración entre flujo másico, flujo volumétrico y velocidad del flujo según la necesidad; además tiene la posibilidad de comunicarse por infrarrojos. Tiene soporte técnico en el país.



**Figura 44. Esquema del Medidor de flujo másico FLUID COMPONENTS**

La experiencia del laboratorio de motores de la Universidad de Antioquia en proyectos de investigación específica en la rama del gas natural, además de los criterios utilizados para el anterior medidor nos llevan a recomendar como segunda opción al **ESLER LABORATORY GAS METER DRY TYPE**.

Tiene como principales características es un medidor de flujo volumétrico especializado en laboratorios de investigación, diafragma sintético, salida electrónica, su fabricante se especializa en gas natural, tiene experiencia en su utilización dentro del laboratorio de motores de la Universidad de Antioquia, en proyectos de investigación tipo Maestría.

## RECOMENDACIONES

Se requiere que exista una continuidad en los procesos de mejora y automatización del banco de prueba de motores, para realizar esto se requiere adquirir nueva instrumentación que esté acorde con la evolución de la tecnología y a la vanguardia de las instituciones dedicadas a la investigación a nivel nacional y seguir realizando proyectos de grado en los cuales trabajen grupos interdisciplinarios que sean capaces de satisfacer estas necesidades.

Teniendo en cuenta el trabajo realizado se recomienda con respecto al sistema de aire:

- ✚ Construcción de la tobera ASME diseñada en este proyecto de grado para la medición de flujo másico de admisión de aire.
- ✚ La adquisición de un transductor de presión con señal de salida al computador con rango de hasta 5 pulgadas de agua para que sea implementada junto con el medidor tipo tobera.
- ✚ Adquisición de un medidor un anemómetro de hilo caliente, ya que mide la velocidad del aire con alta precisión.

Con respecto al sistema de combustible la consecución de equipos de alta precisión y capacidad:

- ✚ Se recomienda un medidor de consumo másico de combustible marca **AVL TMCONT500.03**, estos medidores másicos son especializados para bancos de prueba de motores, ver cotización anexo G.
- ✚ Compra de un tanque de almacenamiento de combustible de 5 galones de capacidad hecho en acero inoxidable.

## CONCLUSIONES

De acuerdo con los objetivos propuestos al iniciar el proyecto, se logró caracterizar los sensores para la medición del consumo de aire y de combustible que se utilizan en el banco de pruebas de motores, teniendo lecturas continuas y sincronizadas de ellos.

- ✚ Se implementaron nuevamente los sensores que se encontraban abandonados en el Laboratorio de Maquinas Térmicas Alternativas.
- ✚ Se corroboró el funcionamiento de los sensores utilizados mediante la caracterización llevada a cabo en el laboratorio de fluidos y el ICP.
- ✚ Se pudo observar que el rango de medición del medidor de flujo de combustible (microcaudalímetro) al principio de su medición posee un comportamiento no lineal e inestable (antes de 70 mL/min) al momento de realizar la medición. Dado que el consumo de combustible del motor puede encontrarse de 20 mL/min hasta 450 mL/min existe un rango en el cual la medición no puede ser tomada en cuenta por su inestabilidad, al estar leyendo en manera continua nuestro sistema de adquisición existirán lecturas falseadas de relación aire/combustible al principio de la prueba cuando el motor se encuentra en mínimo.
- ✚ En la medición realizada con el conjunto tubo pitot y dipicelda existe un error de cero que no puede ser corregido, dado que estos instrumentos son propiedad del proyecto de investigación DIAGMA D-100 por lo cual la lectura es perceptible a partir de 0.15 pulgadas de

agua y no se obtienen valores menores que éste, esto afecta la medición de flujo de aire y el correspondiente cálculo de la relación aire – combustible (A/C).

- ✚ Este proceso de medición de consumo de flujo de aire y combustible ha sido una primera etapa realizada en el banco de pruebas y que ha contribuido al avance tecnológico de la carrera, pero dada la necesidad de realizar pruebas controladas de los motores es necesaria la automatización de la mariposa del carburador y del dinamómetro, en la actualidad se realizan manualmente, pero esto no es recomendable por motivos de seguridad de los estudiantes y las instalaciones del banco además para la confiabilidad de la prueba y los resultados de la misma.
- ✚ El banco de prueba de motores del laboratorio de maquinas térmicas alternativas cuenta con un sistema para la medición del consumo de aire y combustible que permite realizar experiencias practicas de índole académico, encaminadas a la ampliación y afianzamiento de los conocimientos teóricos.
- ✚ Los estudiantes cuentan con un instructivo de prueba detallado y con ayudas visuales que facilitan su comprensión. De esta manera puede realizarse una nueva practica de laboratorio
- ✚ Se elaboró un instructivo de configuración del Field Point como paquete de apoyo en caso de daño parcial o total del computador o software, puede volverse a instalar y configurar de manera correcta.

## BIBLIOGRAFIA

- ✓ PLINT Michael and MÁRTIR Anthony. Engine Testing. Warrendale, SAE International Second Edition, 2002. 365p.
- ✓ UPP, LOY and LANASA, PAUL. Fluid Flow Measurement. Boston, Gulf Professional Publishing Second Edition. 2002. 264p.
- ✓ CREUS, Antonio. Instrumentación Industrial. México, Alfaomega 6 Edición. 1998. 750p.
- ✓ 1991 SAE HANDBOOK. Engines, fuel, lubricants, emissions, noise. Warrendale, SAE International Volume 3.
- ✓ A.S.M.E. PTC 19.5 . Fluid Meters Sixth Edition 1971.
- ✓ A.S.M.E. MFC-3M 1989. Measurement of Fluid Flow In Pipes Using Orifice, Nozzle, And Venturi.
- ✓ ARIZA, Jaime y Compañeros. Reacondicionamiento Y Automatización de un Banco de Pruebas de Motores de Combustión Interna. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 1995.
- ✓ CUADRADO, Ilba. Diseño y Construcción de un Banco Patrón para Calibrar Medidores de Gas Basado en la Tecnología de Boquillas Sónicas. Universidad Industrial de Santander, Bucaramanga 2004.

## ANEXO A

**TABLA A1. DATOS TÉCNICOS DEL MOTOR RENAULT 21**

CARACTERÍSTICA	DETALLE
Tipo de Índice del Motor	J6R-712
Diámetro del Pistón	88 mm
Carrera del Pistón	82 mm
Cilindrada Total	1995 c.c.
Potencia Máxima	99 CV
Régimen de Potencia Máxima	5500 RPM
Torque Máximo	12.6 kg-m
Régimen de Torque Máximo	3250
Numero y Disposición del Cilindros	4 en Línea
Disposición de Válvulas	En V
Inclinación de Motor	15°
Relación de Compresión	9.2 a 1
Árbol de Levas	1 en la Culata
Mando de Árbol de Levas	Por Correa Dentada
Tipo de Camisas	Húmedas
Tipo de Cámara de Combustión	Hemisférica
Numero de Cojinetes Bancada	5
Material Bloque T de la Culata	Aluminio
Batería	12 V- 48 <sup>a</sup> /H
Alternador	70 A
Carburador	Doble Cuerpo Solex 32-32-z7-840C(A)
Ralentí	800± 20 RPM
Encendido	A.E.I.
Orden	1-3-4-2

## ANEXO B

### DETERMINACIÓN DEL DIÁMETRO DE LA TOBERA

El modelo de calculo es desarrollado en TK Solver Academic, Con la cual es posible a partir de la definición de las variables de entrada, entre ellas las condiciones ambientales, el caudal a manejar, el diámetro interno de la tubería aguas arriba y la presión diferencial a manejar, calcular el diámetro de la garganta, la relación entre diámetros  $\beta$ , el factor de expansión, el coeficiente de expansión y el coeficiente de descarga teórico.

A continuación se presenta el modelo aplicado a la tobera:

**TABLA B1. DEFINICIÓN DE LAS VARIABLES DE ENTRADA**

NOMBRE	VARIABLE	VALOR
Rango de caudal	Q	50 a 200 m <sup>3</sup> /h
Presión aguas arriba de la tobera	P <sub>1</sub>	90500 Pa
Temperatura aguas arriba	T <sub>1</sub>	301.15 K
Coeficiente isentrópico	κ	1.4
Diámetro interno tubería	D	3.068
Diferencial e presión	ΔP	5 in H <sub>2</sub> O
Coeficiente de dilatación	α <sub>PE</sub>	0.000016

### CÁLCULO ITERATIVO

En la determinación del diámetro del elemento primario, es necesario usar un procedimiento iterativo por que el coeficiente de descarga C, el factor de expansión  $\epsilon$ , y los efectos de temperatura (expansión térmica) en d no son conocidos inicialmente. Estos valores son dependientes de la relación  $\beta$ . Por lo tanto es necesario iterar para encontrar  $\beta$  y luego resolver para hallar el diámetro a la temperatura de operación

Densidad del aire a  $P_1$  y  $T_1$

$$\rho = \frac{P}{R * T * Z} = 1$$

Viscosidad =  $\mu = 1.84 * 10^{-5}$  Kg/m\*s

Diámetro D de la tubería del fluido es:

$$D = [1 + \alpha_{PE}(t - t_{meas})] D_{meas}$$

$\alpha_{PE}$  = coeficiente de dilatación de la tubería (acero inoxidable, 0.016 m/m)

Numero de Reynolds para  $q_{vmax} = 200 \frac{m^3}{h}$

$$R_D = \frac{q_m}{\frac{\pi}{4} \mu D} = 49462$$

## Ecuaciones de iteración

Valores iniciales de iteración:  $F_a = 1$ ,  $C = 1$ ,  $\varepsilon_1 = 1$  y  $\beta = 0.5$

$$F_a C \varepsilon_1 \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{q_m}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2\Delta P \rho_1}}$$

A partir del valor anterior de  $\beta$  se calcula el Factor de expansión  $\varepsilon$  (en los líquidos es 1). El coeficiente isentrópico  $\kappa$ , o relación de calores específicos a presión constante y a volumen constante, respectivamente, puede consultarse en la tabla B1

$$\varepsilon_1 = \left[ \left( \frac{\kappa r^{\frac{2}{\kappa}}}{\kappa - 1} \right) * \left( \frac{1 - \beta^4}{1 - \beta^4 r^{\frac{2}{\kappa}}} \right) * \left( \frac{1 - r^{\frac{\kappa-1}{\kappa}}}{1 - r} \right) \right]^{0.5} \quad \text{con } r = (P_1 - \Delta P)/P_1$$

Coeficiente de descarga (**C**);

$$C = 0.9975 - 0.00653 \left( \frac{10^6 \beta}{R_D} \right)^{0.5}$$

Factor de corrección de expansión térmica

$$F_a = \left( 1 + \frac{2}{1-\beta^4} (\alpha_{PE} - \beta^4 \alpha_P) (t - t_{meaus}) \right)$$

A continuación se calcula un nuevo valor de  $\beta$ , con los valores determinados para  $C$ ,  $\epsilon_1$  y  $F_a$  en la formula:

$$F_a C \epsilon_1 \frac{\beta^2}{\sqrt{1-\beta^2}} = \frac{q_m}{\frac{\pi}{4} D^2 \sqrt{2\Delta P \rho_1}}$$

$$\beta = 0.4856$$

El diámetro del orificio a la temperatura de servicio del fluido es:

$$d = \beta * D = 1.49 \text{ pulgadas (37.4 mm)}$$

## ANEXO C. CONFIGURACIÓN FIELD POINT

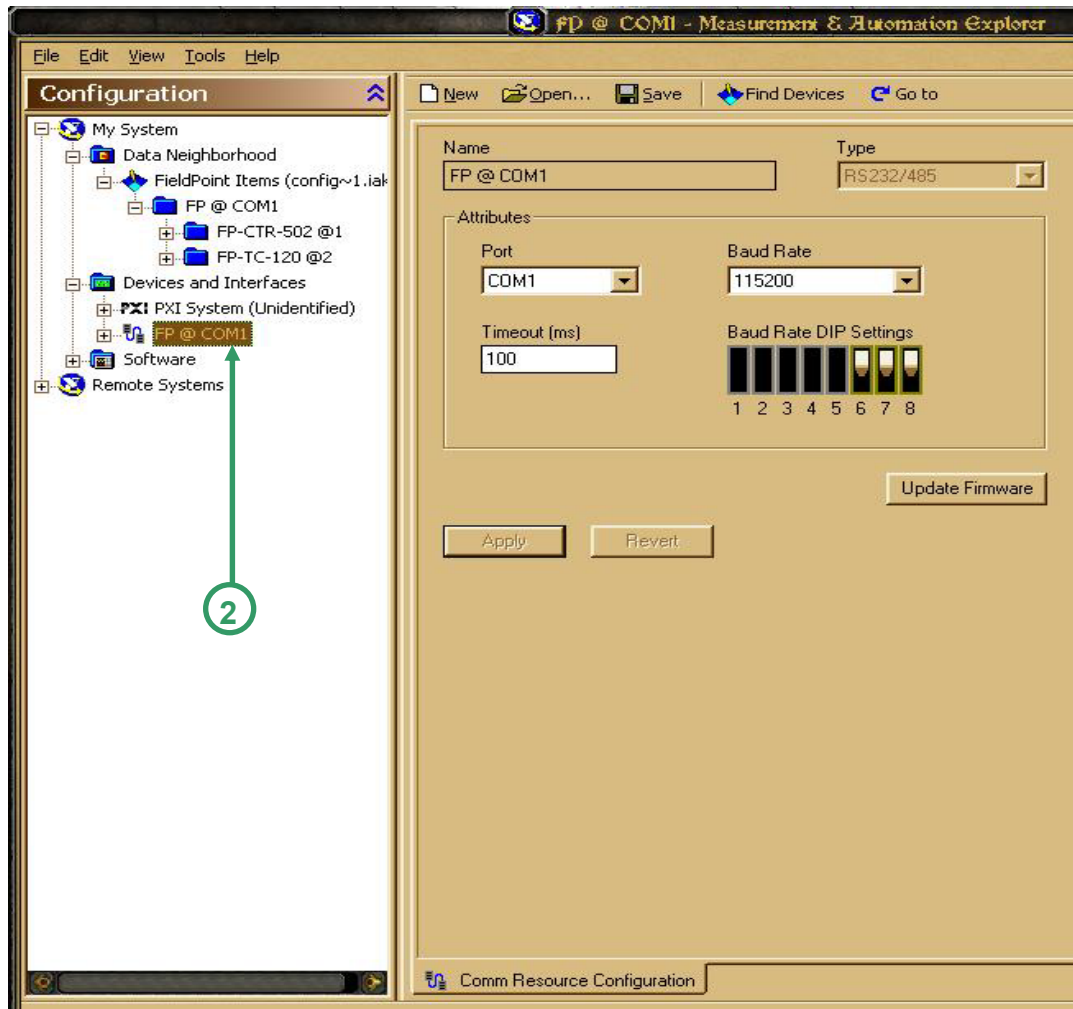
### INSTRUCTIVO DE CONFIGURACIÓN

Para ejecutar la interfaz realizada en labVIEW en la adquisición de las señales de los sensores utilizados en este proyecto de grado se realizó la siguiente configuración:

A continuación se darán los pasos a seguir para la configuración mediante ilustraciones, es necesario tener en cuenta los valores que se muestran en cada una de estas:

- 1 Después de haber instalado el software del Field Point, haz doble clic en el acceso directo llamado "**Measurement & Automation**" ubicado en el escritorio.
- 2 En la carpeta FP@ COM1, verifica que los atributos se encuentren seleccionados tal como se muestra en la figura C1.

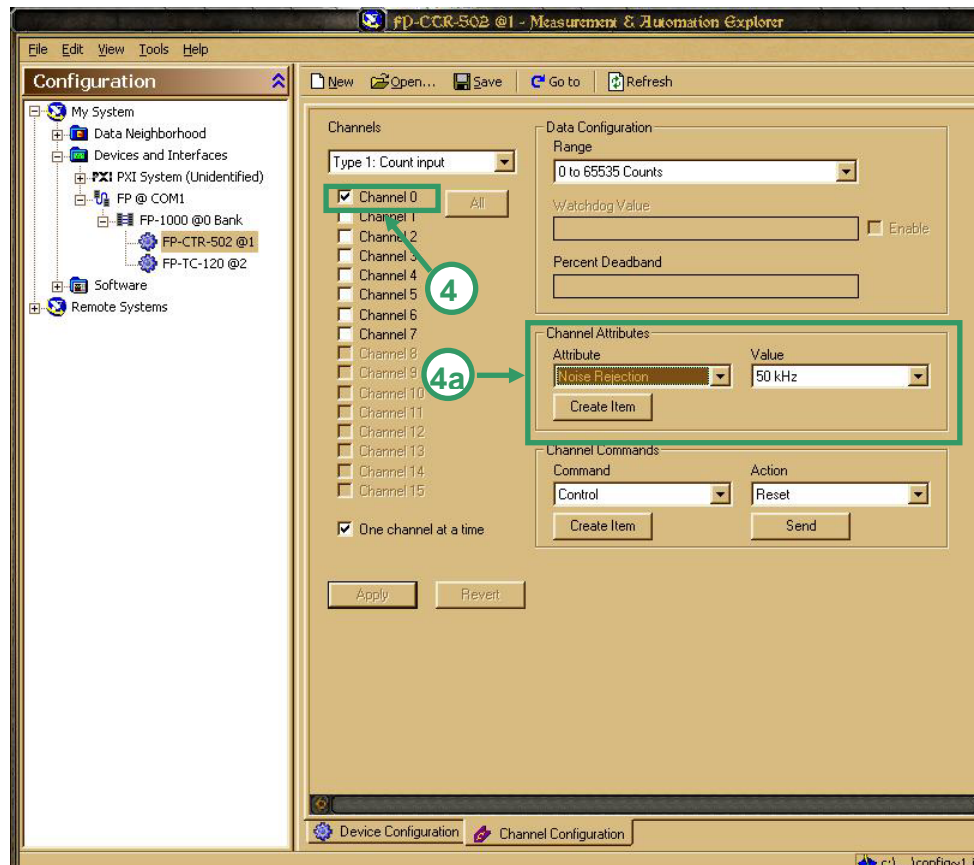
**Nota:** si posees varios puertos seriales, verifica cual "com" es la que esta tomando los datos el computador, y si la rata de baudios "baudo rate" es diferente revisa que el Field Point posicione los pines que se muestran en la figura.



**Figura C1**

- 3 Despliegue la carpeta **FP@ COM1**, como verán se mostraran los dos módulos que posee el Field point, el **FP-CTR502@1** y el **FP-TC-120@2**, haga clic izquierdo sobre **FP-CTR502@1**
  
- 4 Seleccione el canal 0 “Chanel 0” y verifique en “Chanel Attributes” que cada uno de los ítems esté de acuerdo tal como se muestra a continuación:

4.a En “Attribute” seleccione “Noise Rejection” junto con el valor de 50KHz, tal como en la figura C2



**Figura C2**

4.b En “Attribute” seleccione “Read Reset Mode” junto con el valor “Don’t n Reset a Read”, en la figura C3

4.c En “Attribute” seleccione “Gate Source” junto con el valor “Gate Input O” tal como en la figura C4

4.d En “Attribute” seleccione “Count Source” junto con el valor “External Count Input” tal como en la figura C5.

4.e En “Attribute” seleccione “Terminal Count” junto con el valor “terminal Count”, tal como en la figura C6.

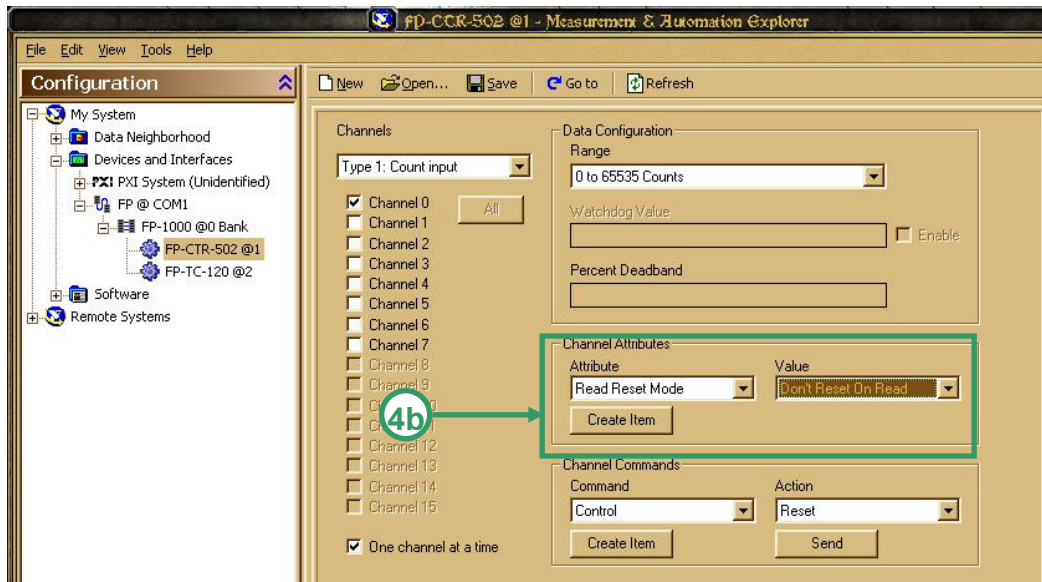


Figura C3

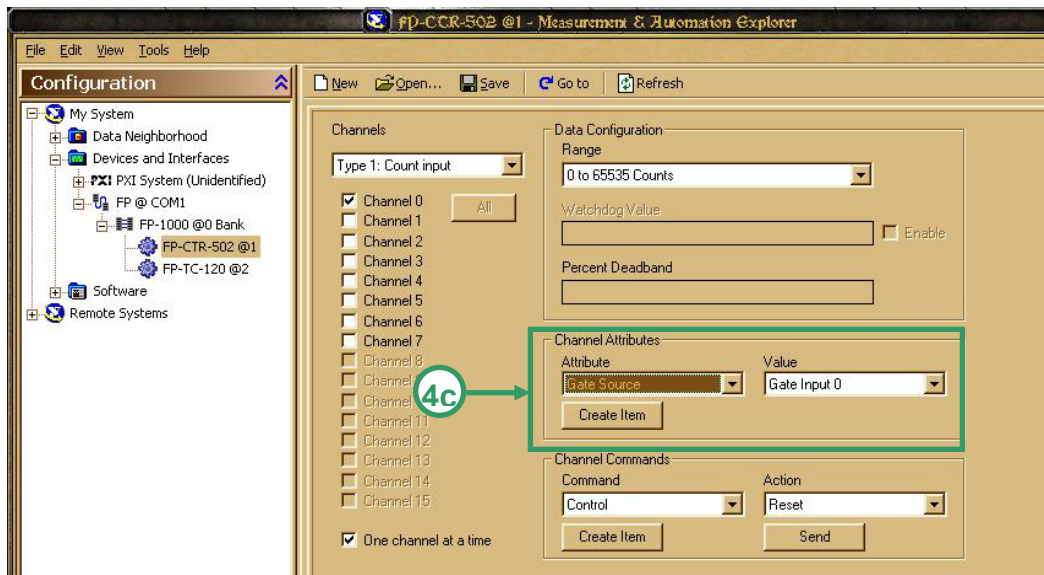


Figura C4

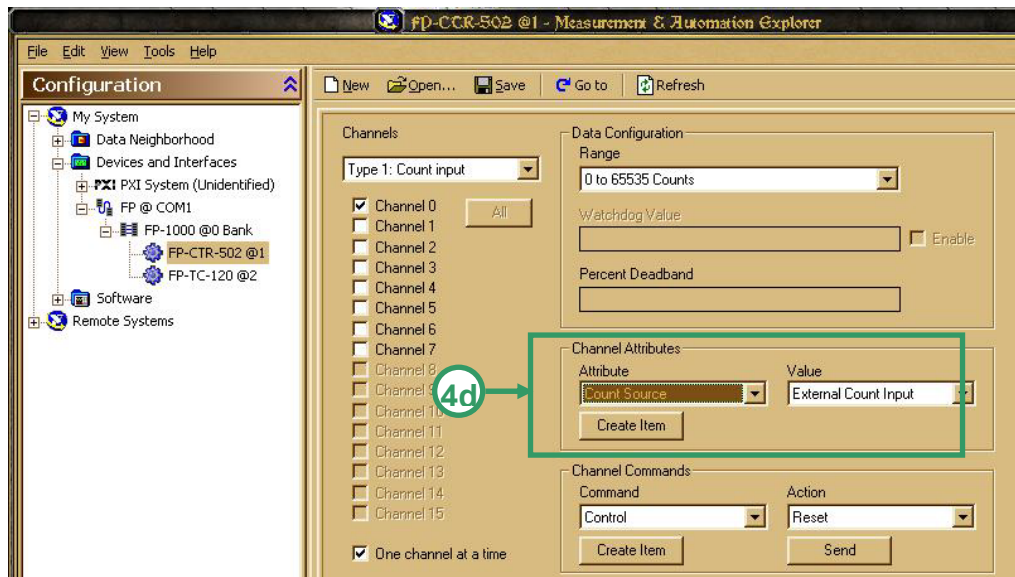
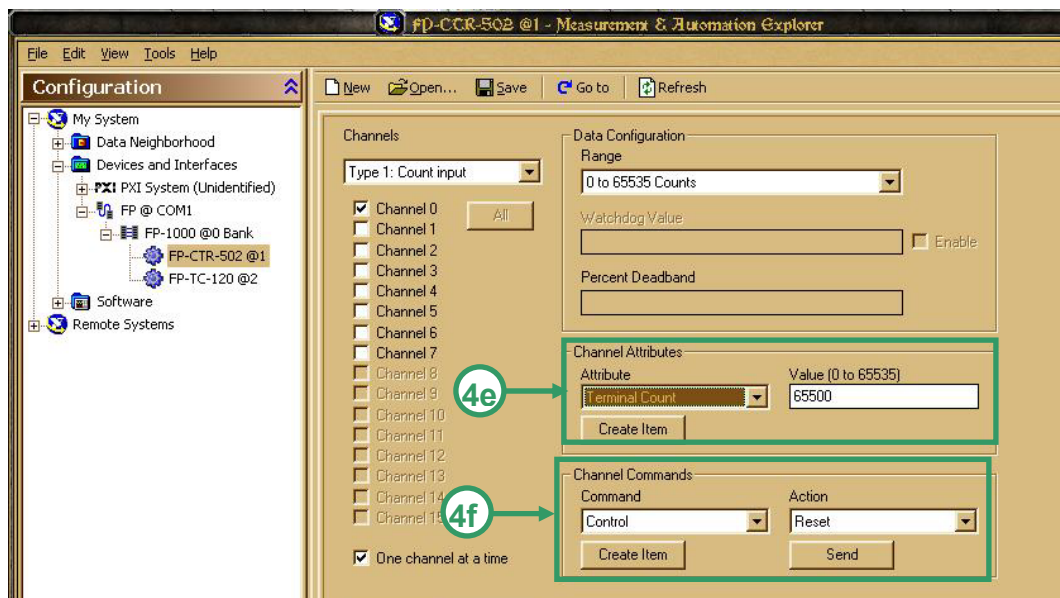


Figura C5

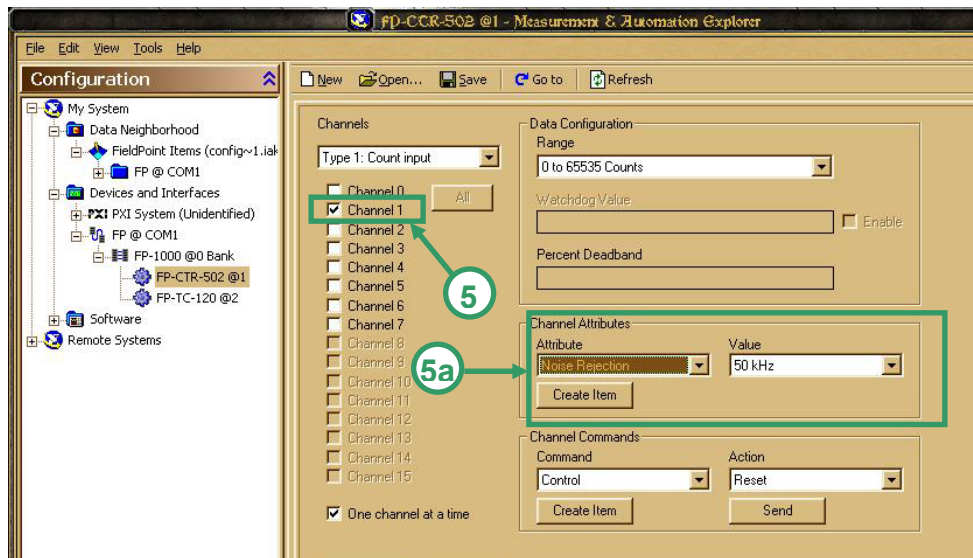


**Figura C6**

4.f Revisa que en “Chanel Commands” el “Command” este en control y que “Action” este e Reset ver figura C6. Después de esto crea un item presionando en “create item” solo una vez.

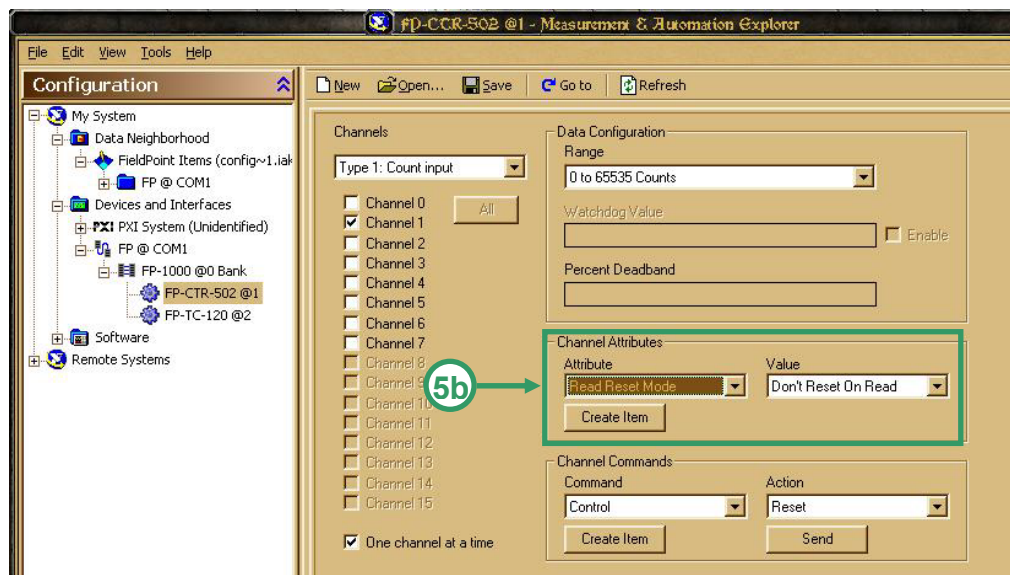
5 En FP-CTR-502@1, seleccione “Channel 1” y revise en “Channel Attribute” los atributos tal como se muestra a continuación:

5.a En “Attribute” seleccione “Noise Rejection” junto con el valor de 50KHz, tal como en la figura C7



**Figura C7**

5.b En “Attribute” seleccione “Read Reset Mode” junto con el valor “Don’t Reset a Read”, en la figura C8



**Figura C8**

5.c En “Attribute” seleccione “Gate Source” junto con el valor “Always Enabled” tal como en la figura C9

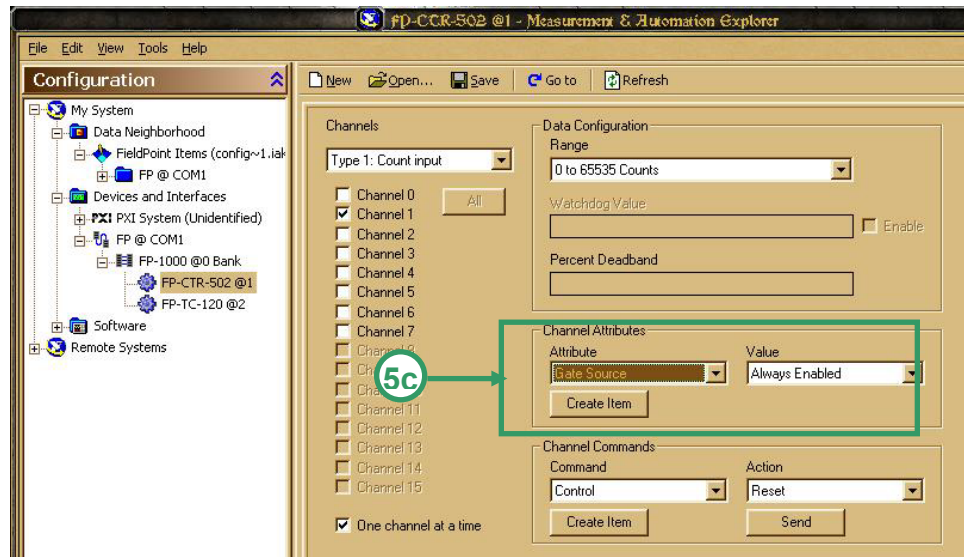


Figura C9

5.d En “Attribute” seleccione “Count Source” junto con el valor “1 KHz referente” tal como en la figura C10.

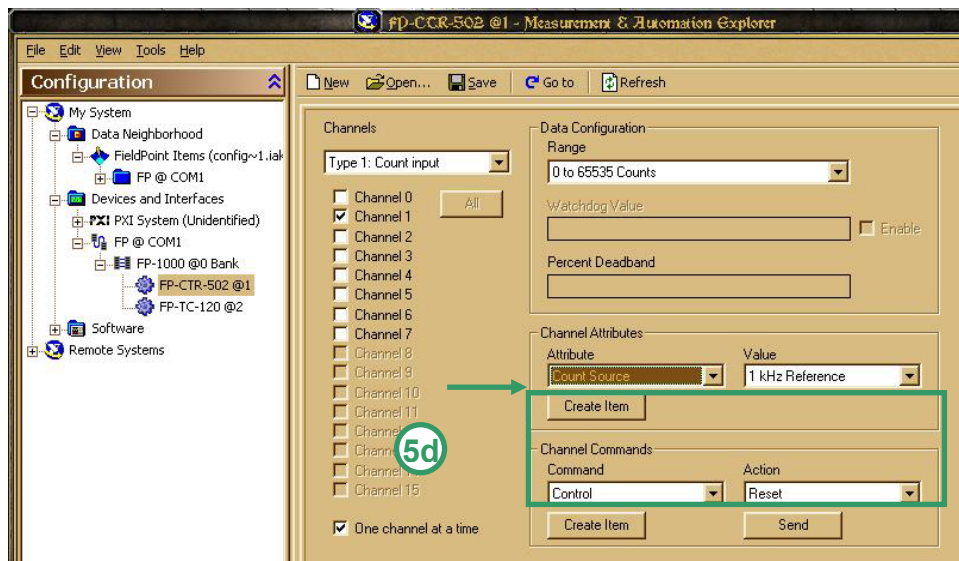
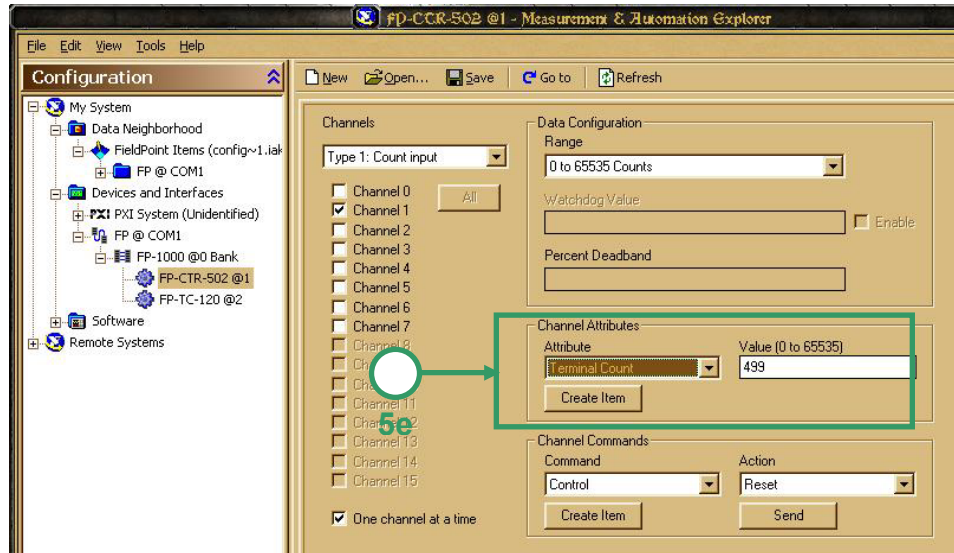


Figura C10

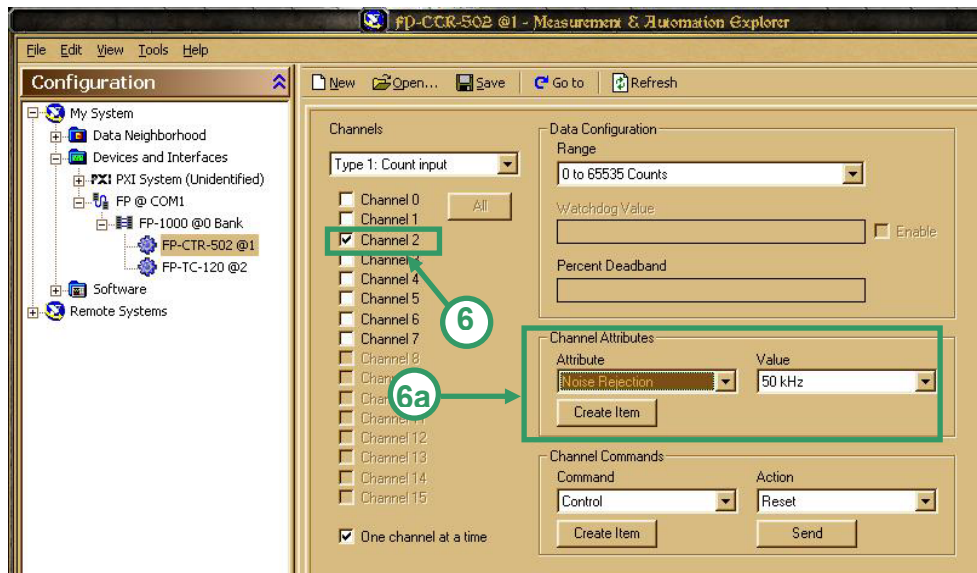
5.e En “Attribute” seleccione “Terminal Count” junto con el valor “499”, tal como en la figura C11.



**Figura C11**

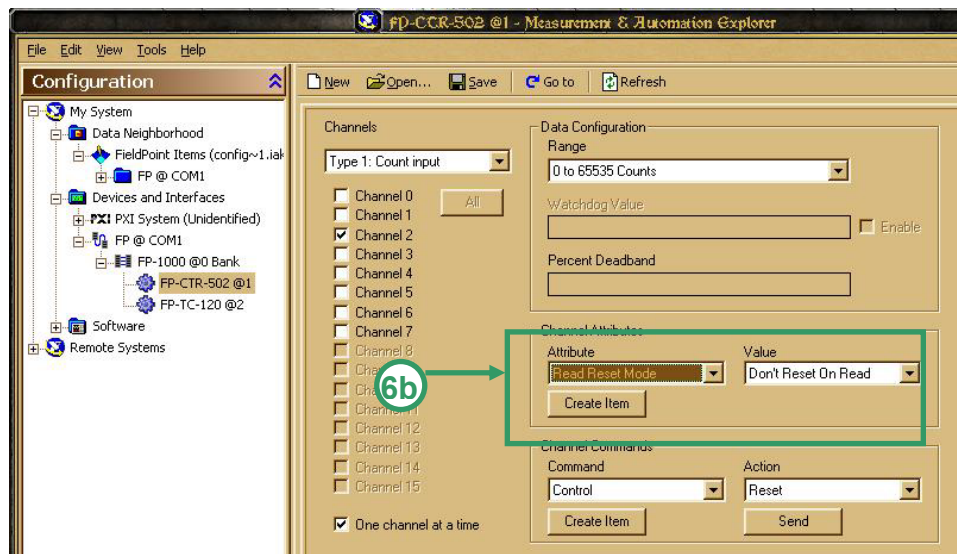
6 En FP-CTR-502@1, seleccione “Channel 2” y revise en “Channel Attribute” los atributos tal como se muestra a continuación

6.a En “Attribute” seleccione “Noise Rejection” junto con el valor de 50KHz, tal como en la figura C12



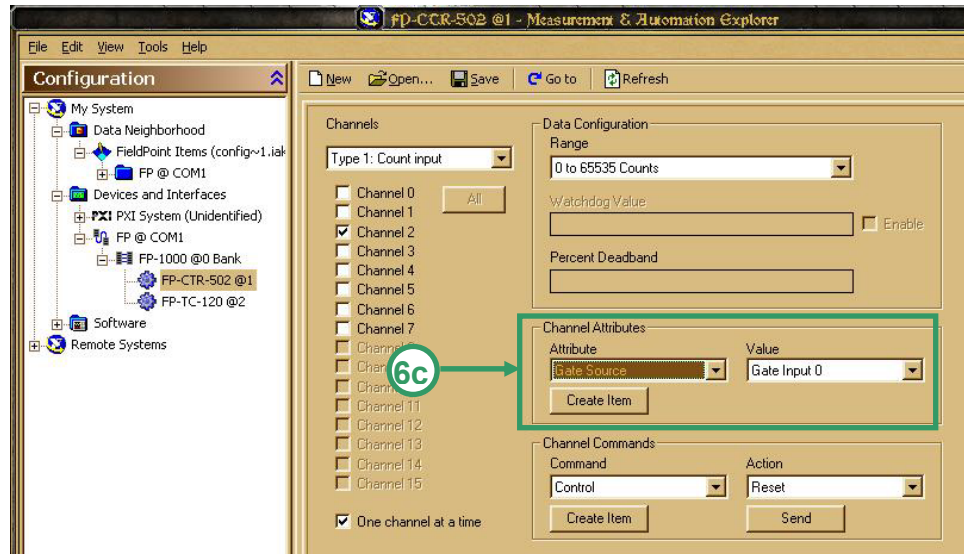
**Figura C12**

6.b En “Attribute” seleccione “Read Reset Mode” junto con el valor “Don’t n Reset a Read”, en la figura C13



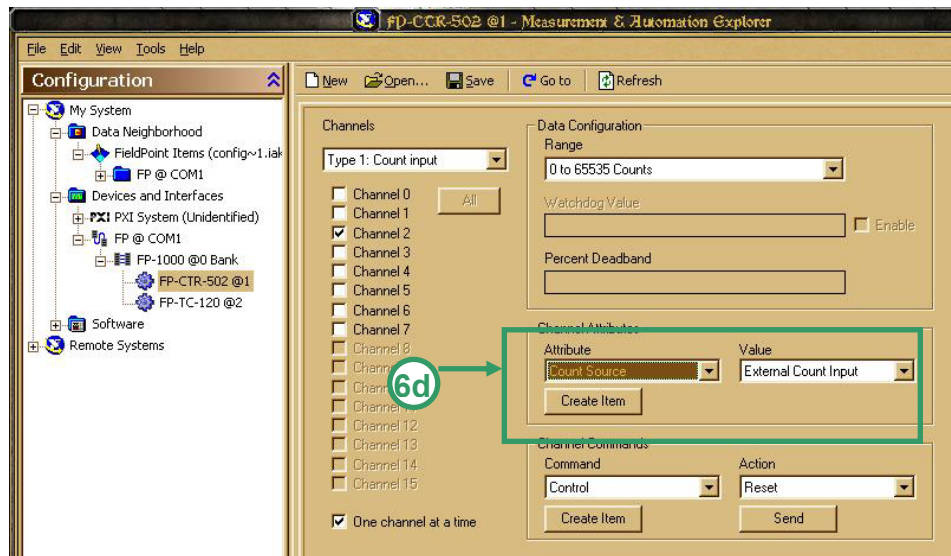
**Figura C13**

6.c En “Attribute” seleccione “Gate Source” junto con el valor “Gate Input O” tal como en la figura C14



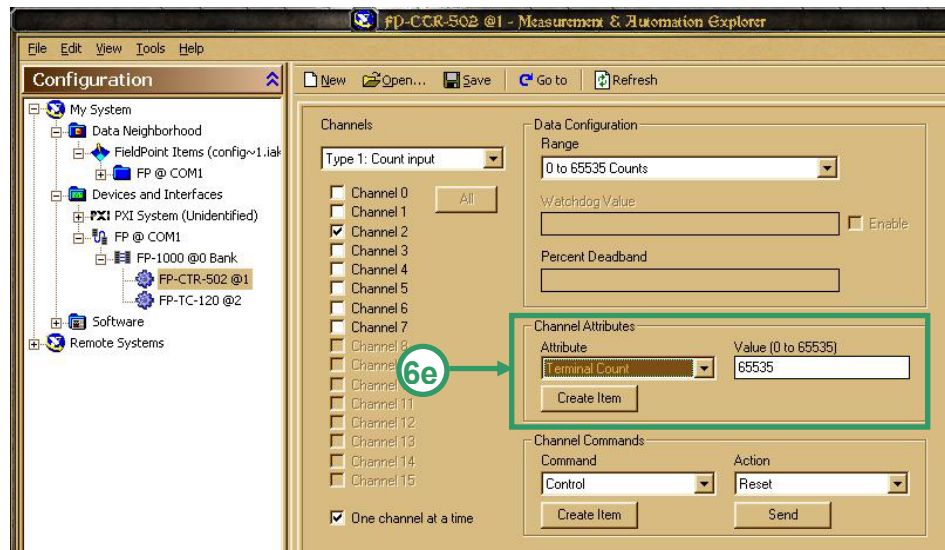
**Figura C14**

6.d En “Attribute” seleccione “Count Source” junto con el valor “External Count Input” tal como en la figura C15.



**Figura C15**

6.e En "Attribute" seleccione "Terminal Count" junto con el valor "65535", tal como en la figura C16.



**Figura C16**

- 6.f Revisa que en “Chanel Commands” el “Command” este en Control y que “Action” este el Reset ver figura C16. Después de esto crea un item presionando en “Create Item” solo una vez.
- 7 Despliegue la carpeta FP@ COM1, como verán se mostraran los dos módulos que posee el Field Point, el FP-CTR502@1 y el FP-TC-120@2, haga clic izquierdo sobre el FP-TC-120@2
- 8 Seleccione el canal 5 “Chanel 5” y seleccione la carpeta “configuración del canal”, verifique en “Chanel Atributes” y “Data Configuration” que cada uno de los ítems esté de acuerdo tal como se muestra en la figura 17:
- 8.a En “Data Configuration” en “Range” escoja de -0.1 to 0.1 Volts.
- 8.b En “Chanel Atributes” en “atribute” seleccione termocupla tipo J

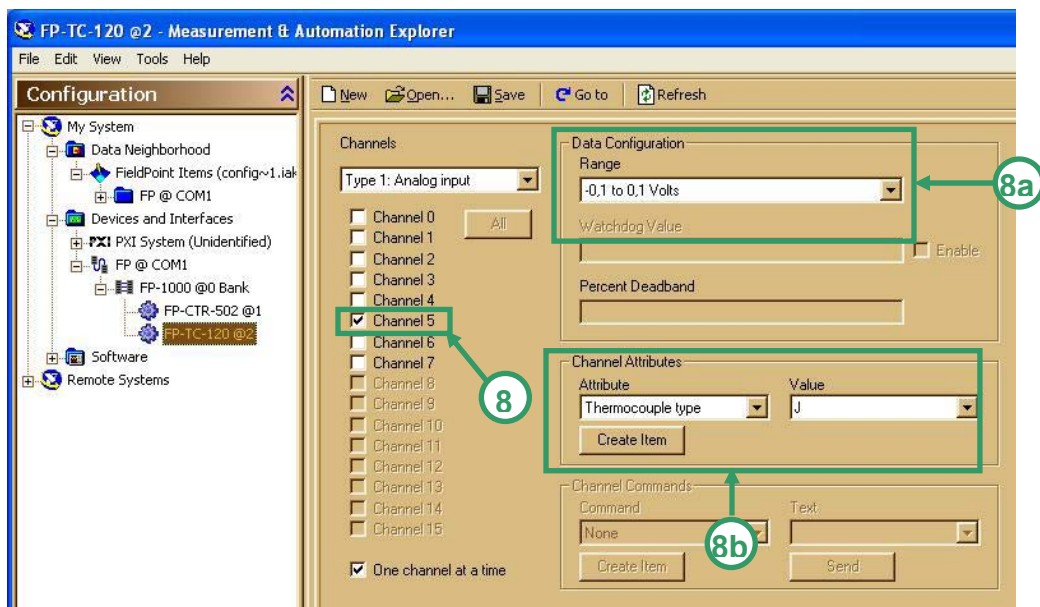


Figura C17.

- 9 Seleccione el canal 6 “Chanel 6” y seleccione la carpeta “configuración del canal”, verifique en “Chanel Atributes” y “Data Configuration” que cada uno de los ítems esté de acuerdo tal como se muestra en la figura C18:

9.a En “Data Configuration” en “Range” escoja de -0.1 to 0.1 Volts.

9.b En “Chanel Atributes” en “atribute” seleccione termocupla tipo J

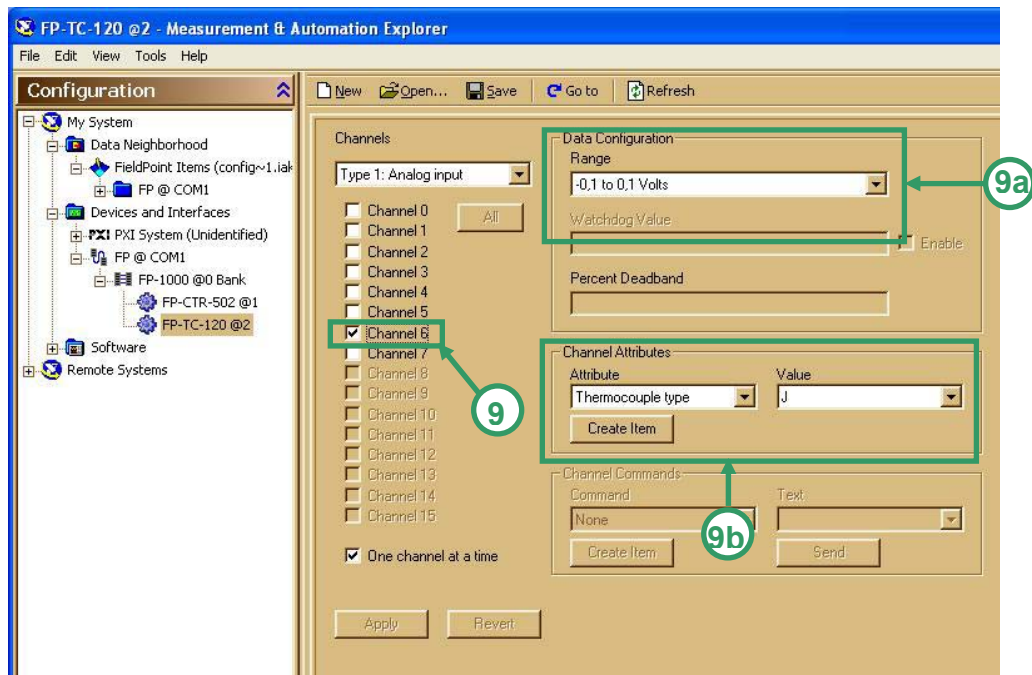


Figura C18

- 10 Seleccione el canal 7 “Chanel 7” y seleccione la carpeta “configuración del canal”, verifique en “Chanel Atributes” y “Data Configuration” que

cada uno de los ítems esté de acuerdo tal como se muestra en la figura C19:

10.a En “Data Configuration” en “Range” escoja de -270 a 1770 Celsius .

10.b En “Chanel Atributes” en “atribute” seleccione termocupla tipo J

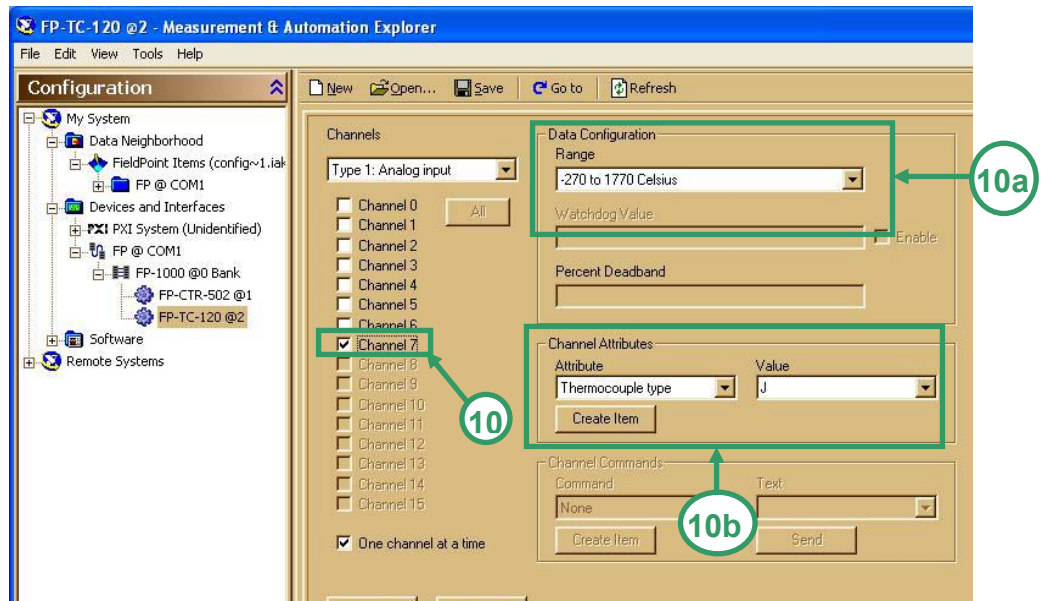


Figura C19

## ANEXO D



LABORATORIO  
MAQUINAS TERMICAS ALTERNATIVAS

# INSTRUCTIVO PARA LA MEDICIÓN DE LA RELACIÓN DE AIRE COMBUSTIBLE



**Figura D1. Sistema de medición de la Relación Aire - Combustible**

## **INSTRUCCIONES GENERALES PARA EL MANEJO DEL BANCO PARA LA MEDICIÓN DE LA RELACION DE AIRE-COMBUSTIBLE (A/C)**

*Lea cuidadosamente todas las instrucciones que se presentan a continuación antes de manipular el banco de pruebas para la medición de la relación A/F, cualquier pregunta por favor acérquese a su auxiliar de laboratorio.*

### **OBJETIVO**

Medir la relación aire-combustible a diferentes velocidades del motor, por medio de sensores, un sistema de adquisición de datos y visualizarlos a través de una interfaz grafica.

**Temas de consulta:** Para la medición de la relación aire-combustible en motores de combustión interna se recomienda leer esta tesis y el capítulo 8 de los pdf del aula virtual.

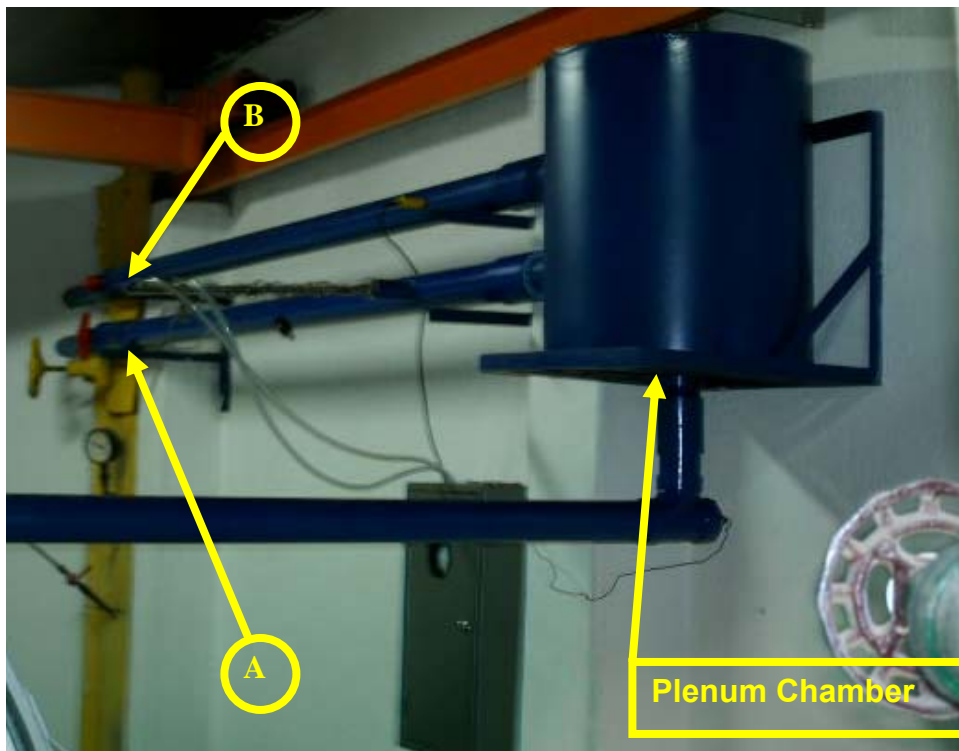
Basado en la lectura recomendada responda las siguientes preguntas:

- a. Que entidades y organizaciones cree que se encargan de normalizar procedimientos que involucran la medición de variables a motores.
- b. Que tipos de medidores de flujo de combustible recomienda para aplicaciones automotrices de laboratorio y por qué?
- c. Cuando tiene lugar el máximo consumo de aire?
- d. Cuales son los principales elementos del sistema de carburación de combustible?
- e. Describa el proceso por medio del cual es admitida la gasolina al múltiple en motores carburados.
- f. De que manera puede calcular el flujo másico de aire de forma teórica consumido por un motor?
- g. Que tipo de medidores se recomiendan para la medición del consumo de combustibles líquidos?
- h. Cual es la función de cada una de las partes del sistema de admisión de aire del banco?

## PROCEDIMIENTO

### AUXILIAR

- ✚ Acople los bornes de la batería a los terminales del motor.
- ✚ Verifique que el nivel de aceite del motor, esté dentro del rango que indica la mirilla de aceite.

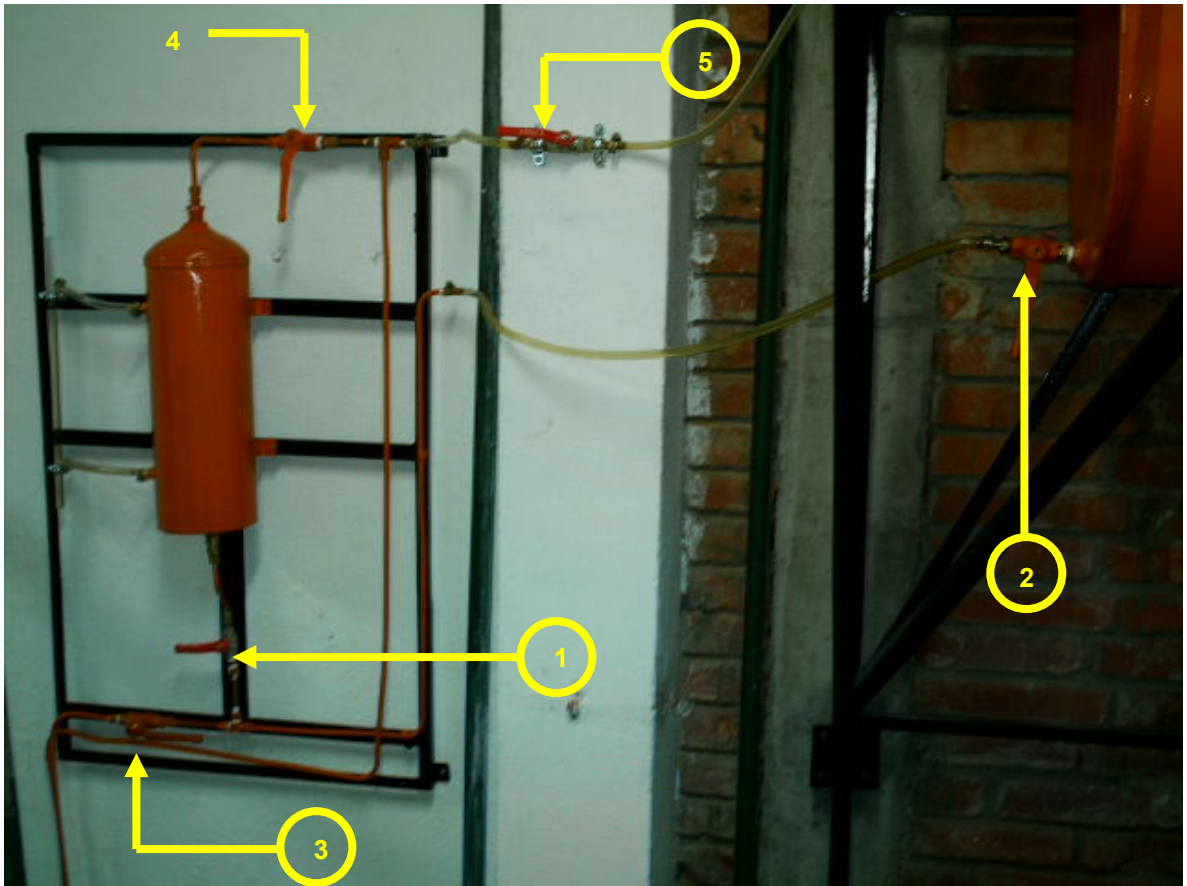


**Figura D2. Subsistema de medición de Flujo de Aire**

- ✚ Revise que el nivel del agua de refrigeración del motor en el recipiente se encuentre entre los niveles mínimo y máximo, sino lo está proceda a llenarlo.

✚ Compruebe que exista suficiente combustible para realizar la prueba

- ✓ Cierre la válvula 3, abra las válvulas 1 y 2, tenga cuidado de cerrar la válvula 2 cuando el nivel señale 14 en la escala de la mirilla.
- ✓ Cierre la válvula 2, abra las válvulas 1 y 3 para que el motor esté listo para realizar la prueba (La identificación de las válvulas puede verse en la Figura D3).
- ✓ Verifique que la válvula 4 esté abierta y la 5 esté cerrada.



**Figura D3. Subsistema de Medición de flujo de Combustible**

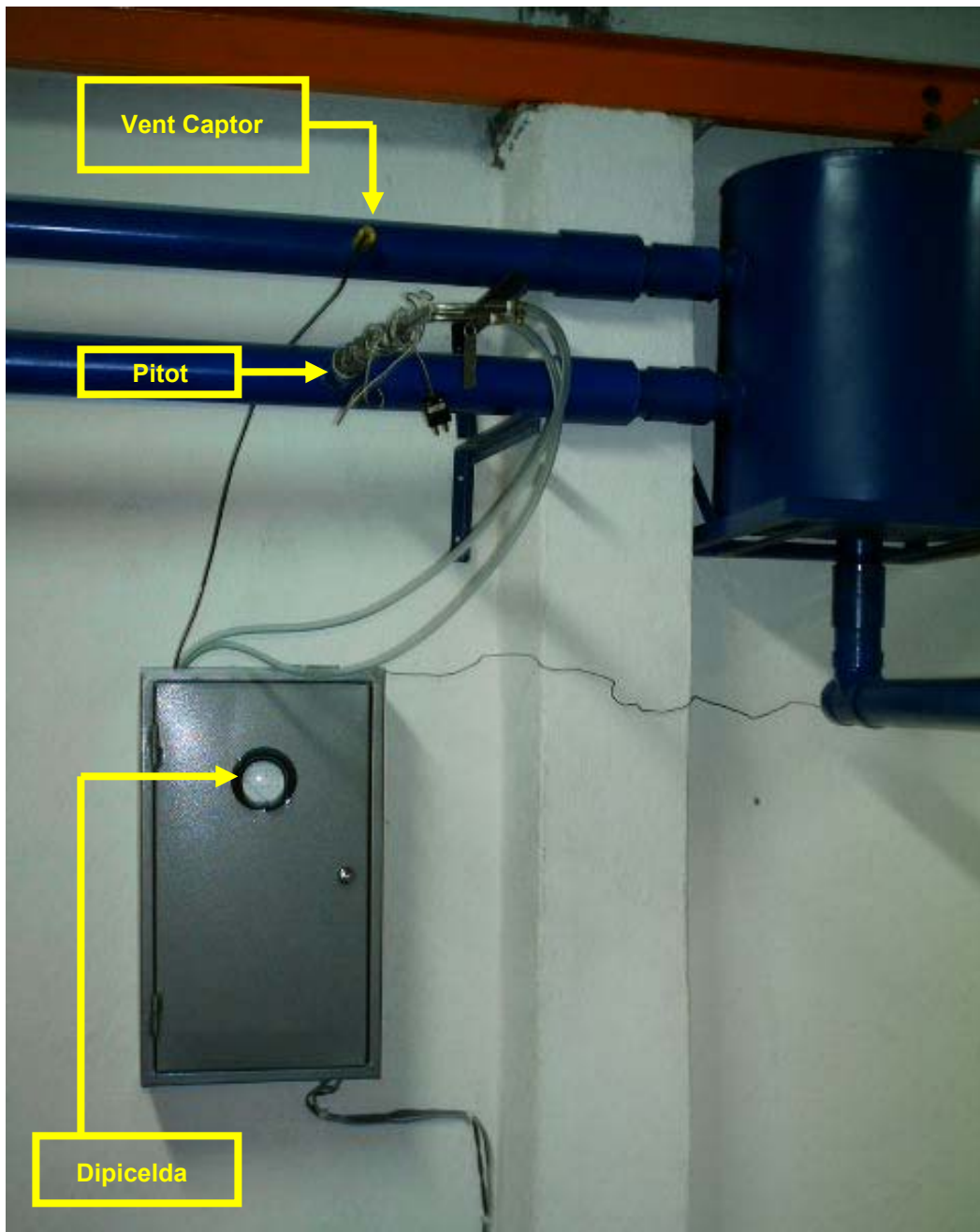
- ✚ Compruebe que la posición del switch de cambio de combustible esté en la posición gasolina. Debe encenderse la luz indicando gasolina al hacer un pequeño giro en el switch del motor. El switch de cambio está ubicado en la mesa de gas natural.
  
- ✚ Antes de encender el motor debe encender el sistema de ventilación del banco de pruebas de motores de modo que el exceso de calor sea extraído y enviado al exterior.
  
- ✚ Encienda el sistema de refrigeración del motor.
  
- ✚ Comprobar que la caja de velocidades del motor se encuentre en neutro.
  
- ✚ Verificar que por lo menos una de las válvulas de flujo de aire este abierta (Válvula A o Válvula B mostradas en la figura D2) , de esta manera permitimos que el aire ingrese al motor.
  
- ✚ Encienda el motor girando la llave ubicado en el tablero de control del banco de prueba de motores.



**Figura D5. Tanque Aforado con escala**

- 🔌 Conecte la fuente de alimentación de la caja de control, y verifique que el voltaje de salida sea de 24 Voltios, tenga en cuenta que el switch se encuentre en apagado. Después de comprobar el voltaje de salida puede poner encendido a la salida de la fuente.
- 🔌 Encienda el computador y abra el software hecho para la visualización de la interfaz.

- ✚ Verifique que los sensores que se encuentran en el sistema de aire estén correctamente ubicados.
  
- ✚ Realice la prueba.
  
- ✚ Al terminar la prueba cierra las válvulas 1, 2 y 3 correspondientes al sistema de combustible.
  
- ✚ Desconecte los bornes de la batería.
  
- ✚ Apague el sistema de ventilación del banco de prueba de motores y el sistema de refrigeración del motor.



**Figura D4. Caja de adquisición de Señales**

## **PRUEBA A REVOLUCIONES CONSTANTE:**

1. Gire la llave para darle encendido al motor.
2. Verifique que la fuente tenga una salida de voltaje de aproximadamente 24 voltios si esto es cierto oprima el interruptor.
3. Espere que el motor llegue a su temperatura de operación normal (de 80°C – 90°C).
4. Abra la válvula A de paso de aire para comenzar la prueba, esta válvula habilita el paso de aire a través del **VENT CAPTOR**.
5. Seleccione el **VENT CAPTOR** en la interfaz, para que de este modo comience a ser captada la señal.
6. Verifique el valor que marca la mirilla del medidor volumétrico justo el instante antes de comenzar la prueba.
7. Comience la prueba sin acelerar.
8. Acelere lentamente hasta llegar a 3000 revoluciones aproximadamente.
9. Abra las válvulas de paso de agua del freno hidráulico y mueva la palanca para que comience a actuar
10. Compruebe el consumo volumétrico de combustible por medio de la mirilla.

11. Comience a aplicar la carga lentamente con el freno hidráulico y accionar la mariposa del acelerador para intentar mantener constante la velocidad de salida del motor, todas estas variables deben estar siendo adquiridas por la interfaz.
12. Comience a aplicar la carga lentamente con el freno de fricción y continúe accionando la mariposa del acelerador para intentar mantener constante la velocidad de salida del motor.
13. Retire carga al tiempo que desacelera el motor.
14. Digite los datos tomados en la mirilla.
15. Abra la válvula B de paso de aire para comenzar la segunda prueba, esta válvula habilita el paso de aire a través del **TUBO PITOT**.
16. Seleccione el **TUBO PITOT** en la interfaz para comenzar a captar la señal.
17. Repita los pasos 7 hasta 13.
18. Apague la fuente y el motor.
19. Analice los datos obtenidos y genere sus propias conclusiones.
20. Examine las conclusiones en conjunto con el auxiliar encargado.

### PRUEBA A VELOCIDAD VARIABLE:

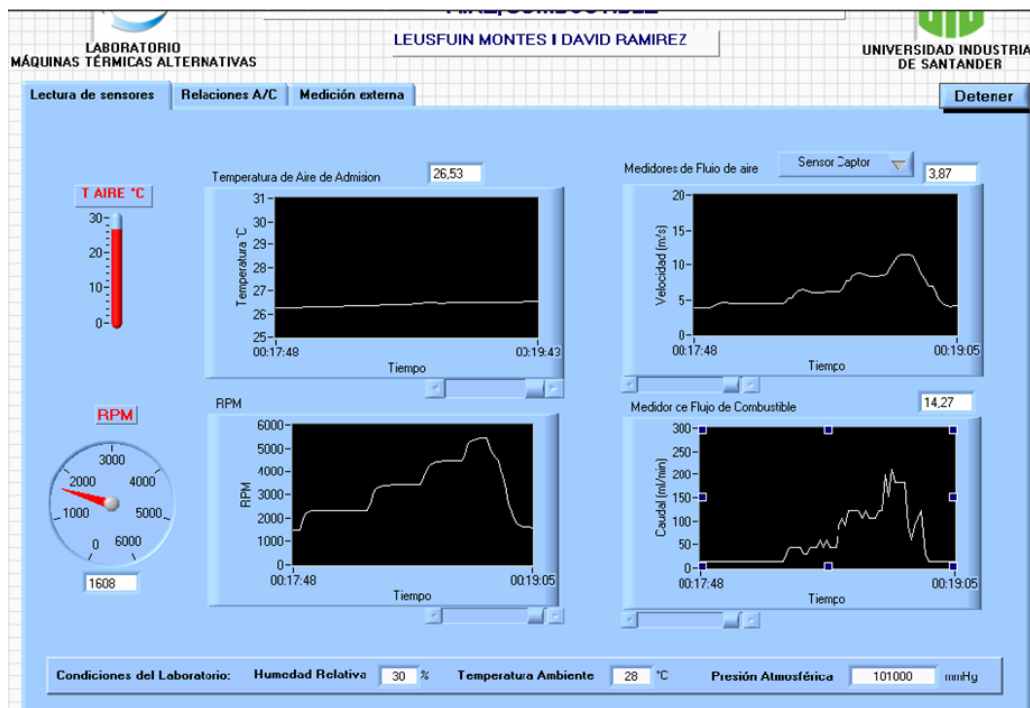
1. Gire la llave del acelerador para darle encendido al motor.
2. Verifique que la fuente tenga una salida de voltaje de aproximadamente 24 voltios si esto es cierto oprima el interruptor.
3. Espere que el motor llegue a su temperatura de operación normal (de 80°C – 90°C).
4. Abra la válvula A de paso de aire para comenzar la prueba, esta válvula habilita el paso de aire a través del **VENT CAPTOR**.
5. Seleccione el **VENT CAPTOR** en la interfaz, para que de este modo comience a ser captada la señal.
6. Verifique el valor que marca la mirilla del medidor volumétrico justo el instante antes de comenzar la prueba.
7. Comience la prueba sin acelerar.
8. Lleve el motor a una velocidad máxima de referencia.
9. Aplicación de carga por parte del freno hidráulico a diferentes intervalos de tiempo, en este momento se deben estar adquiriendo todos los datos por parte de la interfaz grafica.
10. Aplicación de carga por parte del freno de fricción a diferentes intervalos de tiempo.

11. Retire carga al tiempo que desacelera el motor.
12. Digite los datos tomados en la mirilla.
13. Abra la válvula B de paso de aire para comenzar la segunda prueba, esta válvula habilita el paso de aire a través del **TUBO PITOT**.
14. Seleccione el **TUBO PITOT** en la interfaz para comenzar a captar la señal.
15. Repita los pasos 7 hasta 13.
16. Apague la fuente y el motor.
17. Analice los datos obtenidos y genere sus propias conclusiones.
18. Examine las conclusiones en conjunto con el auxiliar encargado.

## ANEXO E.

### PRUEBAS REALIZADAS

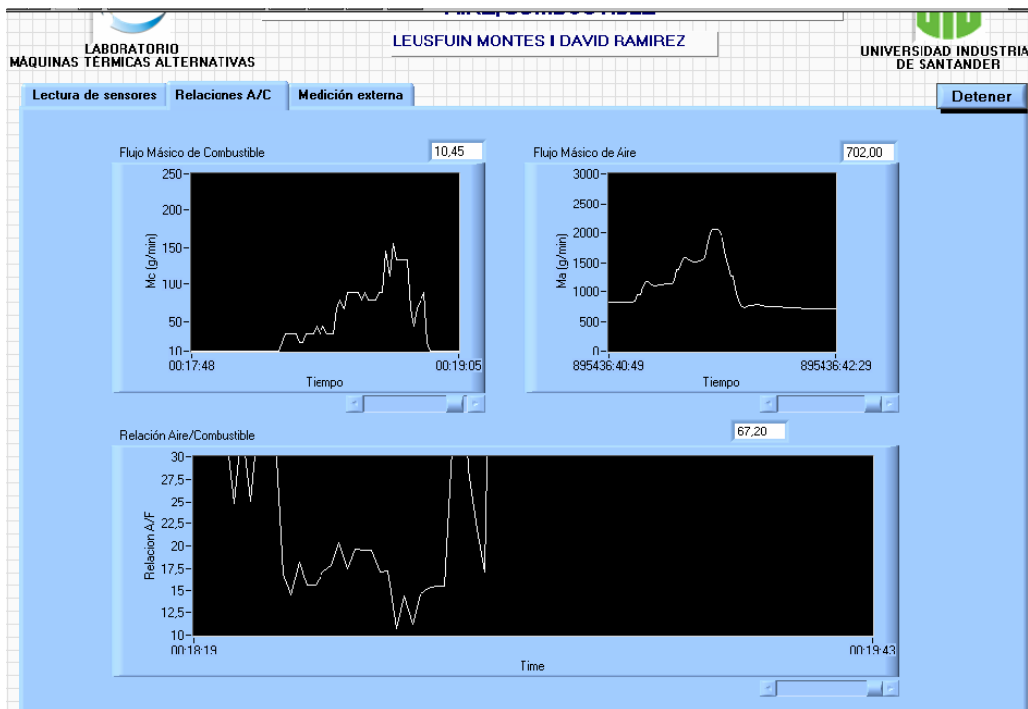
En el presente anexo se explican cada una de las graficas de la interfaz, en lo que concierne a consumos de aire por la dipicelda y el sensor de flujo de aire Vent Captor, además del consumo de combustible dado por el microcaudalímetro, esta representación aparece en la primera carpeta de la interfaz en forma de lectura de los sensores según su principio de funcionamiento, la segunda carpeta (Relaciones A/C), trata de los consumos máscopicos de aire y combustible vs tiempo y en su parte inferior la relación A/C vs. tiempo.



**Figura E1. Carpeta Lectura de Sensores de la Interfaz Grafica con Sensor de Medición de Flujo de Aire Vent Captor**

A continuación se muestra gráficamente el comportamiento de los sensores de medición de flujo de aire Vent Captor, Pitot y Microcaudalímetro. Como se mencionó tanto en la caracterización de los sensores como en las conclusiones, estos no tienen lectura antes de un valor mínimo de flujo, y este valor mínimo se da a unas revoluciones del motor.

La figura E1 a condiciones sin carga del motor, embragado a cuarto cambio (para que la potencia del motor sea transmitida casi completamente al dinamómetro en caso de que se necesite) muestra que el sensor medidor de flujo de gasolina microcaudalímetro empieza a dar una lectura verdadera por encima de las 2.500 RPM y el sensor medidor de Flujo de Aire Vent Captor dado su principio de funcionamiento tiene un excelente desempeño desde el principio de la medición. Es por esta razón que la relación A/C en algunos momentos de la prueba se sale del rango teórico.



**Figura E2. Carpeta Relaciones A/C de la Interfaz Grafica con Sensor de Medición de Flujo de Aire Vent Captor**

Al realizarse la misma prueba que se le hizo al Sensor de Flujo de Aire Vent Captor, el conjunto Tubo Pitot más Dipicelda corrobora la información proporcionada por la caracterización realizada y analizada en las conclusiones del presente proyecto. Teniendo lecturas solamente cuando el motor se encuentra por encima de las 3.000 RPM a las mismas condiciones que para el sensor de Flujo de Aire Vent Captor. Ver Figuras E3 y E4.

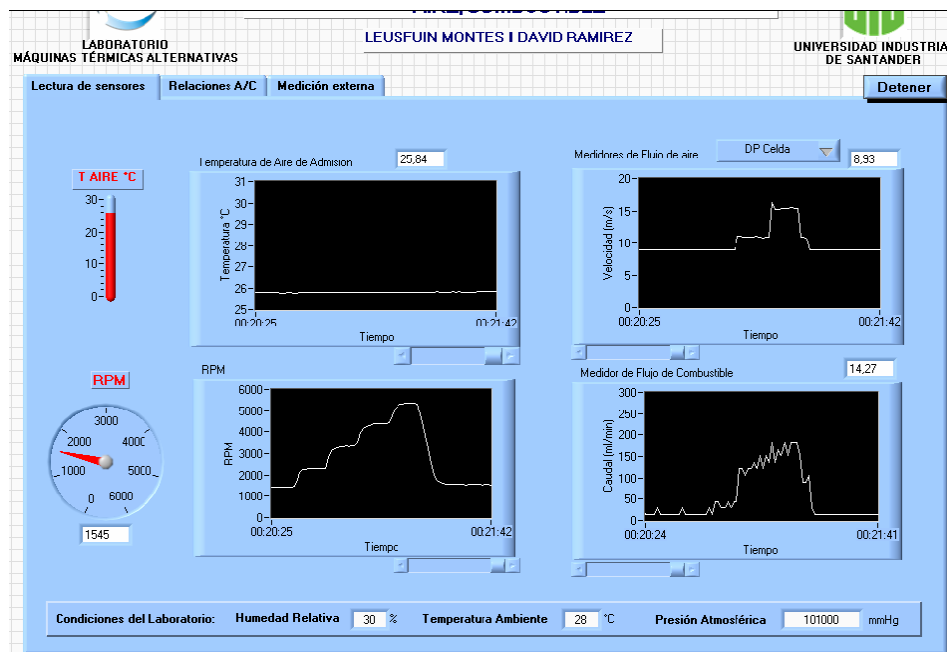
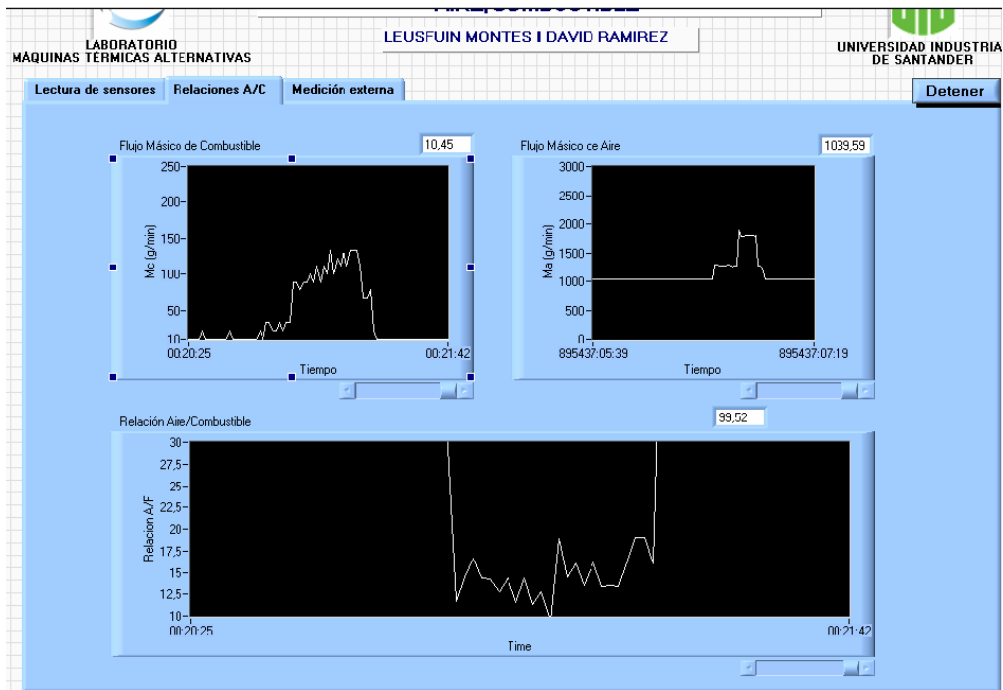


Figura E3. Carpeta Lectura de Sensores de la Interfaz Grafica con Dipicelda



**Figura E4. Carpeta Lectura de Sensores de la Interfaz Grafica con Dipicelda**

El Dr Raymond G. Wasdyke<sup>28</sup> recomienda 2 procedimientos para la realización de pruebas de motores, estas pruebas buscan establecer los parámetros fundamentales en motores como lo son el consumo específico de combustible, relación Aire/Combustible, eficiencia térmica y volumétrica del motor.

A continuación la figura E5 muestra los resultados de una prueba de velocidad constante, esta prueba se describe en el anexo D, podemos observar el comportamiento de los sensores de consumo de flujo de aire y combustible, con respecto a las revoluciones a la que gira el motor.

<sup>28</sup> Autor de Motor de Gasolina de Cuatro tiempos, Operación, prueba y evaluación, Editorial LIMUSA

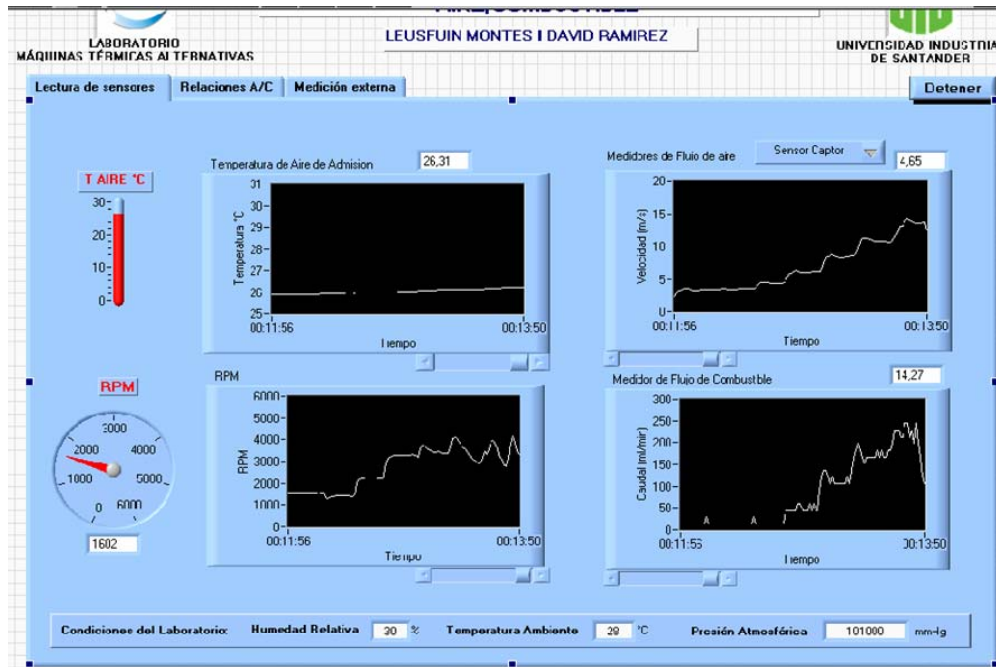


Figura E5. Prueba a RPM constante con Sensor de Flujo de Aire Vent Captor

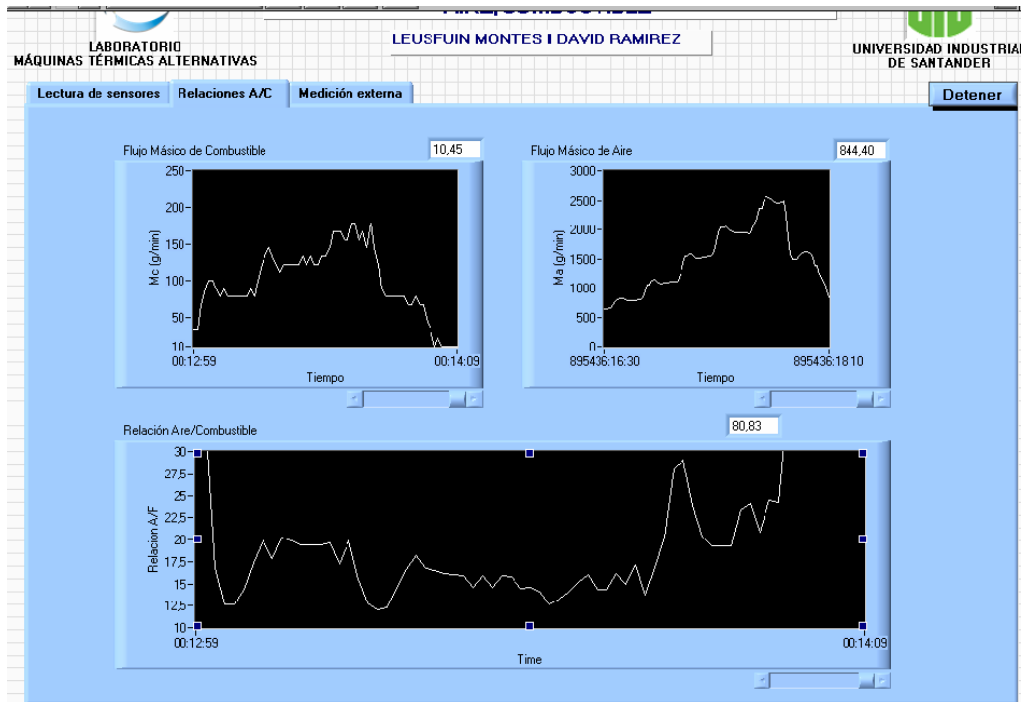
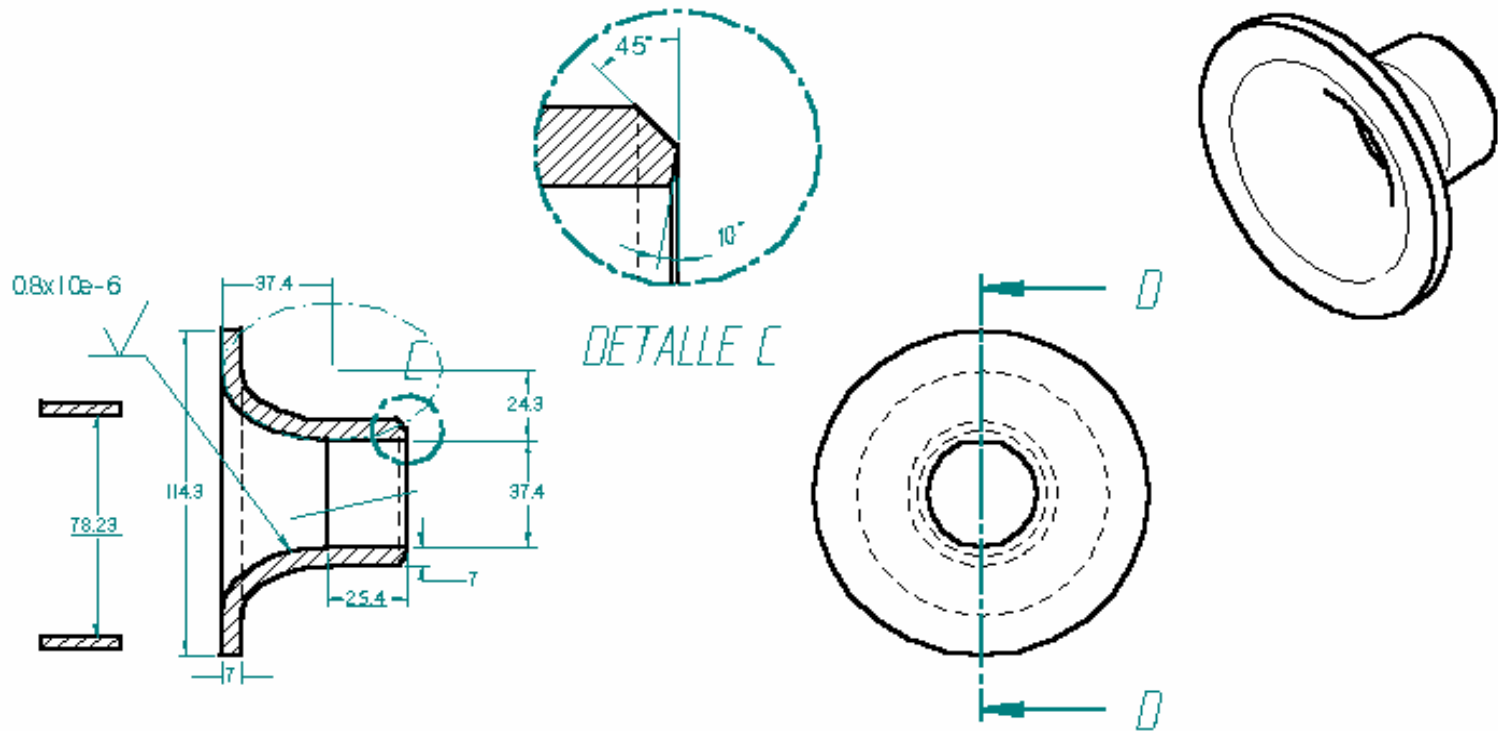


Figura E6. Prueba a RPM constante con Sensor de Flujo de Aire Vent Captor

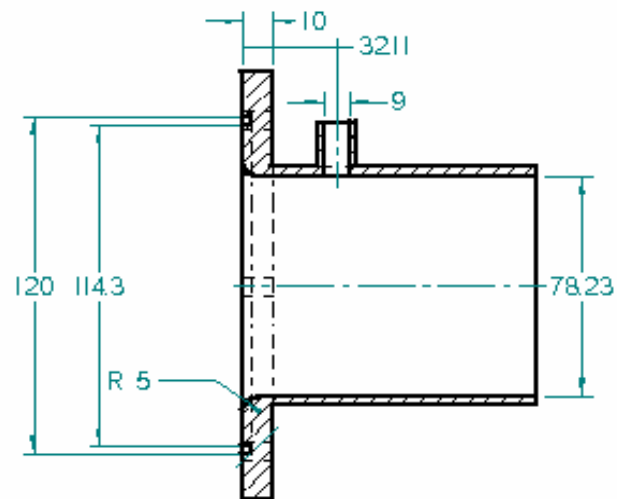
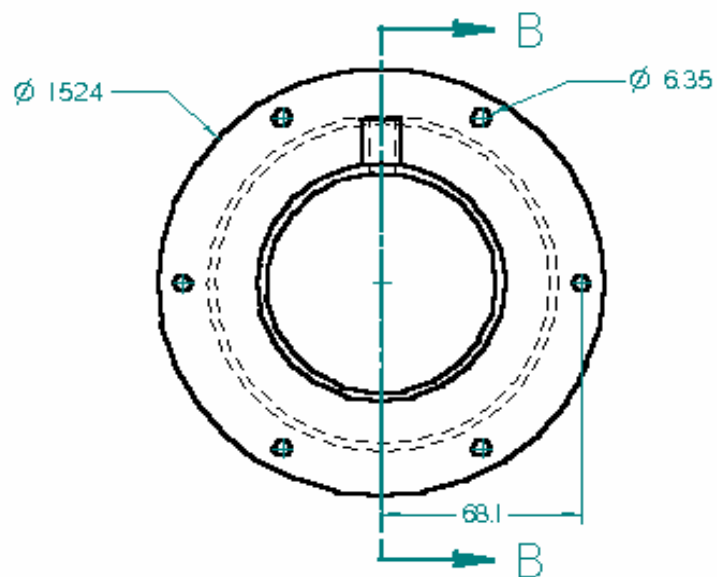
**ANEXO F**  
**PLANOS TOBERA**



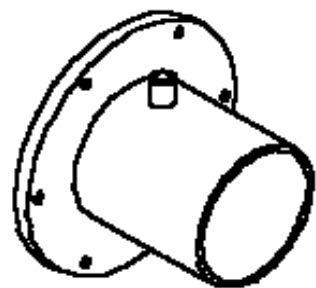
*CORTE D-D*

*Nota: La superficie interna de la tobera se pulida o maquinada lisa y tiene un máximo de rugosidad de 0.8x10e-6 m*

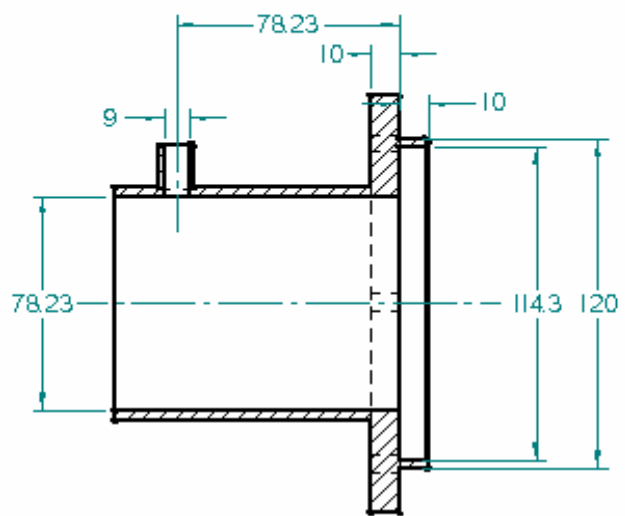
	NOMBRE	FECHA	SOLID EDGE	
DIBUJADO	David -Leusfuin	01/02/06	TITULO	
COMPROBADO			TOBERA ASME	
APROBADO 1			A4	A400 PLANO
APROBADO 2			Archivo	Tobera_asme.dxf
Salvo indicacion contraria cotas en milímetros, angulos en grados			Escala	Hoja 1 de 4



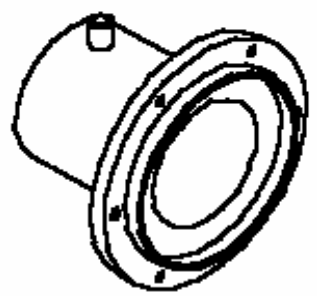
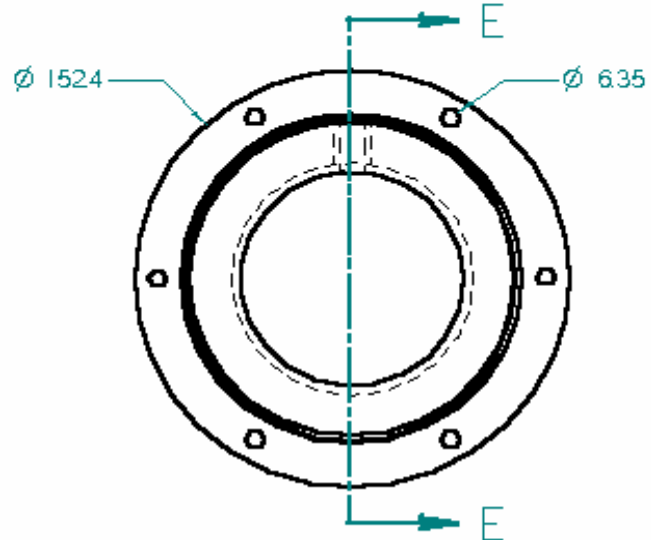
CORTE B-B



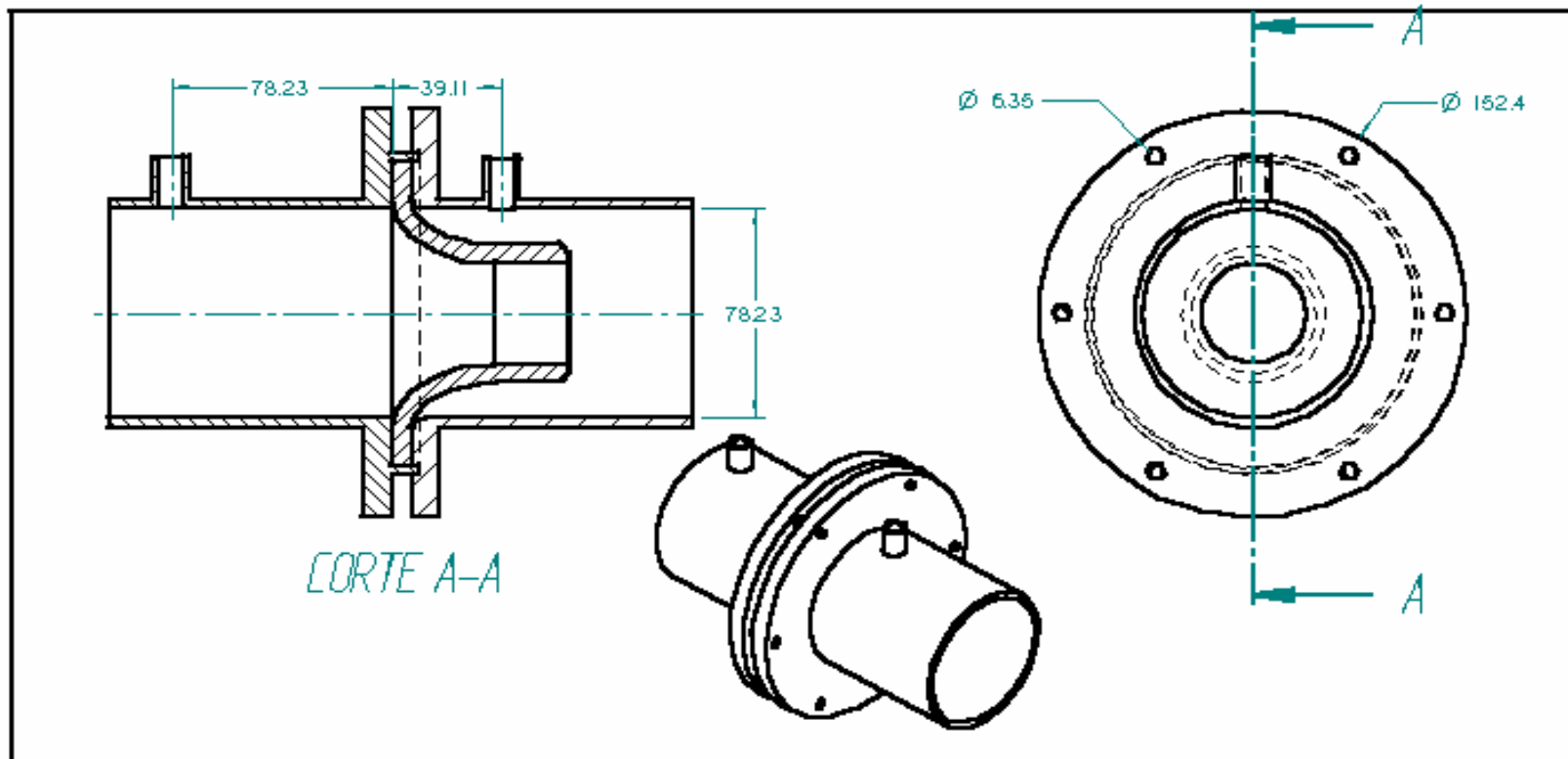
	NOMBRE	FECHA	SOLID EDGE			
DIBUJADO	David -Leusfán	01/02/06	TÍTULO BRIDA HEMBRA			
COMPROBADO						
APROBADO 1						
APROBADO 2						
Salvo indicación contraria cotas en milímetros, ángulos en grados			A4	A400	Pla.no	227 1
			Archivo:	Brida_hembra.dft		
			Escala: 2:1		Hoja: 2 de 4	



CORTE E-E



	NOMBRE	FECHA	SOLID EDGE			
DIBUJADO	David -Leusfoin	01/02/06	TITULO BRIDA MACHO			
COMPROBADO						
APROBADO 1						
APROBADO 2						
Salvo indicacion contraria cotas en milímetros, angulos en grados			A4	A400	Plano	227
			Archivo:		Brida_macho.dft	
			Escala: 2:1		Hojas 3 de 4	



Número de elemento	Título	Materia l	Cont idad
1'	Taberiz agons arriba	Acero inoxidable cedula 10	1
2'	Tabera ASME	Acero inoxidable SAE AISI 316	1
3'	Taberiz agons abajo	Acero inoxidable cedula 10	1

NOMBRE		FECHA	SOLID EDGE	
DIBUJADO	David -Leas fair	01/02/06	TITULO INSTALACION TOBERA	
COMPROBADO				
APROBADO 1				
APROBADO 2				
Salvo indicacion contraria todas en milimetros, o angulos en grados			AA	CONJUNTO
			Archivo: instalacion_tabera.dft	
			Escala: 1 : 2	Hoja: 4 de 4

**ANEXO G**  
**COTIZACIONES**