



UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA
PROYECTO TÉCNICO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO

TEMA:

ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.

Autor: Ricardo Aurelio Tapia Barrera

Tutor: Ing. Javier García del Valle, PhD.

AMBATO-ECUADOR

2017

APROBACIÓN DEL TUTOR

En mi calidad de Tutor del presente Proyecto Técnico previo a la obtención del Título de Ingeniero Mecánico, bajo el tema “ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”, ejecutado por el señor Ricardo Aurelio Tapia Barrera, egresado de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, de la Universidad Técnica de Ambato, CERTIFICO que el presente trabajo de investigación fue elaborado en su totalidad por el autor, revisado en todos sus capítulos y ha sido concluido.

Ambato, Marzo del 2017

Ing. Javier García del Valle, PhD.

TUTOR DEL PROYECTO TÉCNICO

AUTORÍA DEL TRABAJO

Expongo que el contenido del actual proyecto técnico: “ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”, de la misma forma la autenticidad de las ideas, procesos, opiniones, resultados, conclusiones, los que son de responsabilidad de mi persona en calidad de autor del proyecto.

Ambato, Marzo del 2017

Ricardo Aurelio Tapia Barrera

C.I: 180400311-7

AUTOR DEL PROYECTO TÉCNICO

DERECHOS DE AUTOR

Autorizo a la Universidad Técnica de Ambato, para que haga de este Proyecto Técnico o parte de él como un documento aprovechable para la lectura, consulta y procesos de investigación, según las normas de la institución.

Cedo los derechos en línea patrimonial de mi Proyecto Técnico con fines de difusión pública, además apruebo la reproducción de este Proyecto Técnico, dentro de las regulaciones de la Universidad, esperando que esta reproducción no contenga una ganancia en fines de lucro y se realice respetando mis derechos de autor.

Ricardo Aurelio Tapia Barrera

C.I: 180400311-7

AUTOR DEL PROYECTO TÉCNICO

APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO

Los miembros del Tribunal de Grado aprueban el informe del Proyecto Técnico realizando por el estudiante Ricardo Aurelio Tapia Barrera de la carrera de Ingeniería Mecánica, bajo el tema: “ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA”.

Ambato, Marzo del 2017

Para constancia firman:

Ing. Mg. Alex Mayorga

Ing. Mg. Mauricio Carrillo

DEDICATORIA

El presente trabajo lo dedico a mis padres, a mi esposa e hija y a mis hermanos por brindarme siempre su apoyo y comprensión desmedida, con suma gratitud dedico en especial a mi padre que de sus valores y principios forma gran parte mi formación personal, inculcándome siempre esforzarme hasta conseguir el éxito, con lo cual me ha ayudado alcanzar un objetivo más en mi vida.

AGRADECIMIENTO

La gracia entera a Dios por mantenerme en pie pese a adversidades a toda mi familia que forma parte de mi vida e indispensable, a mis padres por el apoyo incondicional, a mi esposa por su paciencia y apoyo desmedido como también a mi hija que es el motor para salir adelante, a mis hermanos y amigos.

A la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica, a los profesores por formarme de la mejor manera.

De manera especial y humildemente a mi tutor Ing. Javier García del Valle. PhD, por su paciencia y dedicación para que este sueño sea posible, inculcándome siempre la superación personal.

ÍNDICE GENERAL

APROBACIÓN DEL TUTOR.....	II
AUTORÍA DEL TRABAJO.....	III
DERECHOS DE AUTOR	IV
APROBACIÓN DEL TRIBUNAL DE GRADO	V
DEDICATORIA	VI
AGRADECIMIENTO	VII
ÍNDICE GENERAL.....	VIII
ÍNDICE DE GRÁFICOS	X
ÍNDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN EJECUTIVO	XIV
ABSTRACT (SUMMARY)	XV
CAPÍTULO I.....	1
1. ANTECEDENTES.....	1
1.1 TEMA	1
1.2 JUSTIFICACIÓN	1
1.3 OBJETIVOS	2
1.3.1 OBJETIVO GENERAL.....	2
1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	2
CAPÍTULO II	3
2. FUNDAMENTACIÓN.....	3
2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS	3
2.1.1 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS	3
2.1.2 TRABAJOS DE GRADUACIÓN	3
2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA.....	5
2.2.1 SISTEMA DE MEDIDA	5
2.2.2 TRANSDUCTORES PARA MEDIDA DE TEMPERATURA.....	6

2.2.3 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE DESPLAZAMIENTO Y POSICIÓN	8
2.2.4 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE FUERZA Y PAR	10
2.2.5 TRANSDUCTORES DE MEDIDAS DE PRESIÓN	12
2.2.6 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE GASTO	15
MEDIDORES DE DIAFRAGMA PARA MEDICIÓN DIFERENCIAL	15
2.2.7 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE HUMEDAD	18
2.2.8 ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS	20
CAPÍTULO III	26
3. DISEÑO DEL PROYECTO	26
3.1 BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA	26
3.2 DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO	29
3.3 IMPLEMENTACIÓN INFORMÁTICA	48
3.4 MEDIDAS EXPERIMENTALES	52
3.5 PRESUPUESTO	63
CAPÍTULO IV	64
4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	64
4.1 CONCLUSIONES	64
4.2 RECOMENDACIONES	64
BIBLIOGRAFÍA	66
ANEXOS	68

ÍNDICE DE GRÁFICOS

Figura 2. 1 Esquematación cadena de medida y control.....	5
Figura 2. 2 Variación de Reluctancia.....	9
Figura 2. 3 Transductor de Proximidad de corrientes de Foucault	9
Figura 2. 4 Efecto Hall	10
Figura 2. 5 Cuerpos sensibles a flexión	12
Figura 2. 6 Transductor capacitivo de Presión: a. plano b. Cilíndrico.....	13
Figura 2. 7 Transductor piezoeléctrico de presión	14
Figura 2. 8 Flujo Másico	15
Figura 2. 9 Placa de Orificio Normalizada.....	17
Figura 2. 10 Esquema de transductor turbina usado para flujo volumétrico	17
Figura 2. 11 Higrómetro Capacitivo	20
Figura 2. 12 Esquema sinóptico de un convertidor analógico - digital.....	21
Figura 2. 13 Codificación digital o función de transferencia.....	21
Figura 2. 14 Estructura de bloques de tarjeta de adquisición de datos analógicos.	22
Figura 2. 15 Sobremuestreo y promedio para aumentar la resolución mediante bits (w).....	24
Figura 3. 1 Banco de pruebas existente	26
Figura 3. 2 Banco de pruebas actual (vista 1)	28
Figura 3. 3 Banco de pruebas actual (vista 2)	29
Figura 3. 4 Diseño de placa de orificio	30
Figura 3. 5 Placa de orificio adosada en brida	33
Figura 3. 6 Diseño de tomas de presión para placa de orificio	34
Figura 3. 7 Tomas de presión.....	34
Figura 3. 8 Intercambiador de calor.....	35
Figura 3. 9 Esquematación de componentes	38
Figura 3. 10 Esquematación de componentes Par.....	38

Figura 3. 11 Esquematización de componentes T° de escape.....	39
Figura 3. 12 Esquematización de componentes atmosférico	39
Figura 3. 13 Esquematización de componentes (rpm)	39
Figura 3. 14 Esquematización de componentes presión diferencial	40
Figura 3. 15 Esquematización de componentes caudal.....	40
Figura 3. 16 Esquematización de componentes presión freno entrada	40
Figura 3. 17 Esquematización de componentes presión freno salida.....	41
Figura 3. 18 Esquematización de componentes intercambiador de calor	41
Figura 3. 19 Interfaz gráfica valores y variables.....	49
Figura 3. 20 Programación STM32.....	50
Figura 3. 21 Interfaz Digital.....	51
Figura 3. 22 Revoluciones vs Tiempo	53
Figura 3. 23 Caudal de combustible vs Tiempo.....	54
Figura 3. 24 Potencia motor vs Tiempo	54
Figura 3. 25 Par motor vs rpm	55
Figura 3. 26 Potencia motor vs rpm	56
Figura 3. 27 Eficiencia volumétrica vs rpm	56
Figura 3. 28 Presión media vs rpm.....	57
Figura 3. 29 Eficiencia motor vs rpm.....	57
Figura 3. 30 Caudal combustible vs Potencia motor	58
Figura 3. 31 Eficiencia motor vs Potencia motor.....	58
Figura 3. 32 Par motor y Potencia motor vs rpm	59
Figura 3. 33 Consumo vs Potencia.....	60
Figura 3. 34 Eficiencia volumétrica vs rpm	61
Figura 3. 35 Comparación mediciones autor vs fabricante.....	62
Figura 3. 36 Comparación de medición par vs velocidad con fabricante	62
Figura 3. 37 Presión atmosférica vs Tiempo.....	72

Figura 3. 38 Temperatura atmosférica vs Tiempo	72
Figura 3. 39 Humedad relativa vs Tiempo.....	73
Figura 3. 40 Densidad atmosférica vs Tiempo.....	73
Figura 3. 41 Presión diferencial vs Tiempo	74
Figura 3. 42 Caudal volumétrico de aire vs Tiempo.....	74
Figura 3. 43 Caudal másico de aire vs Tiempo.....	75
Figura 3. 44 Temperatura de escape vs Tiempo	75
Figura 3. 45 Fuerza palanca par vs Tiempo	76
Figura 3. 46 Masa de combustible vs Tiempo	76
Figura 3. 47 Caudal de agua freno vs Tiempo	77
Figura 3. 48 Presión entrada freno vs Tiempo	77
Figura 3. 49 Presión salida freno vs Tiempo.....	78
Figura 3. 50 Potencia freno vs Tiempo	78
Figura 3. 51 Eficiencia freno vs Tiempo.....	79
Figura 3. 52 Eficiencia Volumétrica vs Tiempo	79
Figura 3. 53 Presión media vs Tiempo.....	80
Figura 3. 54 Estequiometria vs Tiempo	80
Figura 3. 55 Calor primario vs Tiempo.....	81
Figura 3. 56 Eficiencia motor vs Tiempo.....	81

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 2. 1 Comparación de Transductores Térmicos.....	7
Tabla 2. 2. Características de Higrómetros. 1. Resistivos, 2.Capacitivos de Polímero, 3.Capacitivos de Al ₂ O ₃ , 4.Electrolíticos.	19
Tabla 2. 3. Resolución de un convertidor analógico-digital de n bits.....	22
Tabla 3. 1. Cálculo de caudal másico.....	31
Tabla 3. 2. Cálculo de variación de presión tubería de 2".	32
Tabla 3. 3. Iteración de valores calculados	37
Tabla 3. 4. Incertidumbre de parámetros medidos.....	41
Tabla 3. 5. Incertidumbre de parámetros calculados.....	48
Tabla 3. 6. Presupuesto	63

UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO
FACULTAD DE INGENIERÍA CIVIL Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.”

Autor: Ricardo Aurelio Tapia Barrera

Tutor: Ing. Javier García del Valle, PhD.

RESUMEN EJECUTIVO

El presente proyecto técnico se basa en la implementación de sensores para la adquisición de parámetros de funcionamiento en el banco de pruebas de motores de combustión interna existente en los laboratorios de Ingeniería Mecánica. Igualmente se desarrollará una interfaz hombre-máquina para el monitoreo en tiempo real de las variables leídas y calculadas, en función de los parámetros de funcionamiento del motor.

Implementados los sensores y los sistemas adyacentes a estos, se realizan las pruebas pertinentes de funcionamiento obteniendo las curvas de los datos generados por la interfaz. El proceso de medida consiste en variaciones paramétricas del par motor y la velocidad de giro. Debido al comportamiento transitorio existente para cada variación introducida, es necesario esperar un tiempo para que alcance el estado estacionario. Con el conjunto de estas medidas se obtienen las curvas de Par motor vs Velocidad, Potencia motor vs Velocidad, Consumo vs Potencia motor, Eficiencia volumétrica vs Velocidad. De esta forma los resultados tomados por la interfaz serán comparadas con las del fabricante.

TECHNICAL UNIVERSITY OF AMBATO
FACULTY OF CIVIL ENGINEERING AND MECHANICS
MECHANICAL ENGINEERING CAREERS

“INSTRUMENTATION OF AN INTERNAL COMBUSTION ENGINE TEST BENCH IN ORDER TO EASE THE PARAMETER ACQUISITION PROCESS IN MECHANICAL ENGINEERING PRE-GRADUATE LEVEL COURSES.”

Author: Ricardo Aurelio Tapia Barrera

Tutor: Ing. Javier García del Valle, PhD.

ABSTRACT (SUMMARY)

The present technical project is based on the implementation of sensors for the acquisition of operating parameters in the internal combustion engine test bench at the Laboratories of Mechanical Engineering. A human-machine interface will also be developed for the real-time monitoring of the variables read and calculated, depending on the engine operating parameters.

Once the acquisition system is implemented, a number of tests are performed in order to obtain the characteristic curves of the engine, such as Torque vs Speed, Brake power vs Speed, Consumption vs Brake power, Volumetric efficiency vs Speed. A procedure is developed in order to assure that the stationary state is reached, and therefore the measured data is free from transitory effects. The obtained curves positively compare with those provided by the manufacturer.

CAPÍTULO I

1. ANTECEDENTES

1.1 TEMA

ADQUISICIÓN DE PARÁMETROS PARA PRUEBAS EN MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA EN LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DE AMBATO PARA PRÁCTICAS DE LABORATORIO DE LOS ESTUDIANTES DE LA CARRERA DE INGENIERÍA MECÁNICA.

1.2 JUSTIFICACIÓN

Debido a la gran importancia que poseen los motores de combustión interna en el mundo, es de gran trascendencia la aplicación de actualizaciones tecnológicas como la implementación de bancos de pruebas para adquisición de parámetros de funcionamiento, para lo cual es necesario automatizar los procesos de medida para monitorear en tiempo real los parámetros de funcionamiento del motor, así como poder realizar un análisis exhaustivo de éstos posteriormente. [1]

Proyectos creados en bancos de pruebas en distintas Universidades nacionales, manifiestan que en una muestra de siete de ellas, solamente dos poseen bancos de pruebas automatizados con interfaz hombre-máquina. Las ventajas para fines prácticos y de aprendizaje son considerables al instante de realizar los cálculos en las prácticas de laboratorio, por lo que la implementación de un proyecto de control y automatización será de gran ayuda para el aprendizaje estudiantil

Una de las varias funciones que nos permiten los sensores para la automatización y control industrial hoy en día es tratar de eliminar los errores por toma de datos e información por medio manual, utilizando un software personalizado. Se implementarán sensores de caudal, presión, fuerza, revoluciones, etc, los cuales pueden ser adquiridos fácilmente en el mercado.

La inexistencia de un sistema para la adquisición en tiempo real de los parámetros de funcionamiento de un motor de combustión interna en el banco de pruebas de la Universidad Técnica de Ambato de la Carrera de Ingeniería Mecánica, hace necesaria la implementación de un sistema automático de medición y visualización

de datos. Gracias este desarrollo los estudiantes podrán pasar de la teoría a la práctica, facilitando la comprensión procedente al funcionamiento de la máquina.

1.3 OBJETIVOS

1.3.1 OBJETIVO GENERAL

- ❖ Adquirir parámetros de funcionamiento de un Motor de Combustión Interna mediante la implementación de sensores para las prácticas de Laboratorio.

1.3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- ❖ Determinar parámetros de funcionamiento del banco de pruebas de motores de combustión interna.
- ❖ Implementar sensores de caudal, revoluciones, temperatura y presión bajo condiciones de operación del sistema.
- ❖ Realizar pruebas de funcionamiento y adquisición de datos

CAPÍTULO II

2. FUNDAMENTACIÓN

2.1 INVESTIGACIONES PREVIAS

2.1.1 ARTÍCULOS CIENTÍFICOS

En el artículo de **“Pere Ponsa; Ramón Vilanova; Marta Díaz, «GEMMA Guide Approach for the Introduction of the Human Operator into the Automation Cycle,» Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra-España, Vol.18 N°4-2007, pág.:21-30”**

En este artículo se presentó un estudio concreto de la intervención de operarios en sistemas automatizados a los que se les aplicó la metodología de la guía llamada GEMMA (Estudio de Modos de Marchas de Paros). Siendo esta guía una excelente aproximación metodológica para la resolución de problemas complejos de automatización, a medida que su uso no posee una gran extensión, compone una guía rigurosa que permite poner a prueba la inclusión de los ejemplos académicos a especificaciones industriales, como la gestión hombre-máquina, como también la implementación de dispositivos de automatización. [2]

2.1.2 TRABAJOS DE GRADUACIÓN

En la tesis de **“Córdova Morales Edison Iván, «Estudio de un motor de combustión interna para determinar sus parámetros de funcionamiento y su factibilidad de aplicación en los laboratorios de la Facultad de Ingeniería Civil y Mecánica”**.

En este proyecto de graduación se construye un banco de pruebas de motores de combustión interna el cual posee un motor convencional y un freno hidráulico, el mismo que dará una oposición al giro del cigüeñal, estudiando los parámetros de funcionamiento del motor de una forma manual y con medidores manuales y calculando manualmente estos parámetros. Con este estudio se puede realizar una automatización para la adquisición de parámetros de funcionamiento a futuro. [3]

En la tesis de **“Bazante del Pozo Paúl Esteban; Yandún Lamiño Juan Carlos, «Modernización y determinación de los parámetros de funcionamiento en tiempo real de los bancos de pruebas ciclo Otto y Diésel.”**

Este proyecto de graduación se basa en la implementación de instrumentos y un sistema de adquisición de datos, lo cual dio como resultado la obtención de parámetros de funcionamiento de forma precisa y en tiempo real. Igualmente se diseñó un interfaz hombre-máquina para un manejo amigable e intuitivo del usuario, permitiendo registrar los datos por medio digital. [4]

En la tesis de **“Sánchez Gómez Yessenia Cristina; Sánchez Vega Sebastián Israel, «Automatización del banco de pruebas print TE-46 del laboratorio de motores de combustión interna del DECEM.”**

En esta tesis de graduación se implementan sensores en el Banco de Pruebas Plint TE-46 para realizar el estudio de los regímenes transitorios del motor de combustión interna, con esta implementación se facilita el desarrollo de las prácticas en menor tiempo por lo cual se concluye que es un avance tecnológico. [1]

2.2 FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

2.2.1 SISTEMA DE MEDIDA

Cuando se precisa adquirir información de cualquier proceso físico ya sea experimental como también ejecutar una monitorización o control de un proceso, es necesario implementar un sistema de medida que admita la cuantificación de varios parámetros y su procesamiento. [5]

Se presenta una esquematización o cadena de medida y control en la figura 2.1.

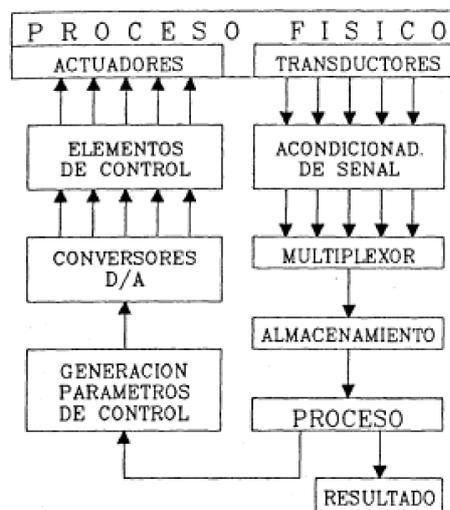


Figura 2. 1 Esquematización cadena de medida y control

Fuente: [5]

En el proceso físico la medición de los parámetros es realizado por medio de transductores los cuales transforman las magnitudes a medir en señales eléctricas de varios tipos como: tensión, intensidad, frecuencia, carga eléctrica etc. [5]

Sin embargo, las señales obtenidas por estos dispositivos no son totalmente utilizables para un sistema de medida. Por lo tanto es recomendable en estos casos utilizar algún tipo de acondicionador de dichas señales.

Los acondicionadores de señal efectúan las funciones de elaboración, amplificación y filtrado de señales eléctricas de ser necesario de las salida de los transductores.

A la salida del sistema de acondicionamiento, se obtiene una señal directamente aceptada por el sistema de medida.

Dado que la mayoría de las tarjetas de adquisición únicamente cuentan con un convertidor analógico digital (ADC), se hace necesario la instalación de un multiplexor a la entrada del convertidor ADC. De esta forma se consigue medir distintos canales con un único convertidor. De esta forma se consigue abaratar los costos del sistema de medida. Un convertidor ADC cuantifica las señales eléctricas pasando del dominio analógico al digital. [5]

A su vez podemos procesar estos datos cuando ya hayan sido digitalizados y almacenados en tiempo real o en línea.

En el diseño del sistema de medida se debe tomar en cuenta el rango o los parámetros de trabajo que van a cubrir los sistemas de medida para no sobredimensionar el equipo o diseñarla de una forma precaria por lo que es de suma importancia concretar el trabajo a realizar para la conexión; es decir, rango y frecuencia de muestreo. Todo ello conlleva a alcanzar buena precisión en la medida.

2.2.2 TRANSDUCTORES PARA MEDIDA DE TEMPERATURA

La temperatura no es medible de una forma directa, por lo cual debe ser medida con otra magnitud física la misma que debe proporcionar una magnitud eléctrica medible por un sistema automatizado.

La temperatura es una de las magnitudes más frecuentes utilizadas en la industria, siendo los siguientes métodos los más empleados para su medida: termómetros (gas, líquido, volumen constante), pinturas sensibles, elementos fusibles, termopares, termoresistencias, termistores, osciladores de cuarzo, pirómetros ópticos, etc. [5]

Algunos de los métodos mencionados anteriormente no son medibles por sistemas automáticos por lo tanto solo se mencionaran transductores comunes y utilizables a la aplicación.

TERMOPARES: El principio físico consiste en la unión de dos metales distintos, los cuales generan una tensión o fuerza electromotriz, la misma que está relacionada a la temperatura que se encuentra en la unión de estos dos metales

Poseen gran aplicación industrial por el bajo costo que presentan al momento de su adquisición, son muy sencillos de manejar como también el arduino englobe con

procesos de construcción aparentes, denotan tiempos de respuesta bajos en el orden de microsegundos.

TERMORESISTENCIAS: El principio físico consiste en un hilo metálico de pequeña sección y longitud cuya resistencia eléctrica depende de la temperatura.

Son requeridas si se necesita una precisión de medida elevada, siendo su temperatura máxima de operación limitada. Poseen mayor linealidad en la señal de salida ya que es una ventaja ante otros.

TERMISTORES: Son semiconductores que exhiben una resistencia eléctrica variable con la temperatura.

Tienen una sensibilidad muy elevada pero presentan una señal de salida que varía exponencialmente con la temperatura, posee un costo reducido en la adquisición. [5]

En la tabla 2.1 se presenta una comparación de cualidades relativas entre los transistores térmicos que poseen un control automático.

Tabla 2. 1 Comparación de Transductores Térmicos

	TERMOPARES	TERMORESISTENCIAS	TERMISTORES
INTERCAMBIABILIDAD	Media	Alta	Baja
SENSIBILIDAD	Baja	Media	Alta
LINEALIDAD	Media	Alta	Baja
TIEMPO DE RESPUESTA	Baja	Alta	Media
TEMP. MÁXIMA	Alta	Media	Baja
CAPACIDAD UTILIZAR BAJA TEMP.	Baja	Alta	Media

Fuente: Autor

Por la transferencia de calor entre el medio a medir se debe tomar en cuenta la aplicación del elemento de medida, ya que los dos deberán llevar a un equilibrio térmico antes de que la salida del transductor sea aceptada, por consecuencia de debe considerar el tiempo de equilibrio ya que al no hacerlo puede dar paso a variaciones en el mapeo de temperatura con respecto de la velocidad, esto se llama tiempo de respuesta

2.2.3 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE DESPLAZAMIENTO Y POSICIÓN

TRANSDUCTORES ANALÓGICOS PARA MEDIDAS DE DESPLAZAMIENTO: La longitud probablemente es una de las magnitudes físicas más medidas, tomando diversos nombres tales como: desplazamiento, proximidad, movimiento, posición, etc. [5]

Clases de medida de Longitud:

- Determinación de valores absolutos medidos en sistema internacional definido (dimensionamiento de una estructura).
- Determinación de cambios relativos de la longitud (deformaciones producidas en una estructura bajo un estado de carga).

TRANSDUCTORES DE PROXIMIDAD

Se caracterizan por la ausencia de una ligadura mecánica entre el transductor y el elemento móvil, poseen un pequeño rango del orden 1mm. Una de las características primordiales es la resolución metrológica, fiabilidad, histéresis y respuesta en frecuencia, trabajan con campos magnéticos, electromagnéticos o electrostáticos, los mismos que dependen directamente de las condiciones ambientales en las cuales se encuentre el medio de trabajo.

TRANSDUCTORES INDUCTIVOS DE PROXIMIDAD

Para este tipo de transductores se realiza la medida a través de un campo electromagnético generado por una bobina o por imanes permanentes, los mismos que hacen variar el campo de trabajo generando picos de medida, los mismos que por conexión circuito-ordenador son medidos.

Se puede encontrar dos tipos de transductores inductivos de proximidad que operan bajo este principio:

- **Transductores de Reluctancia Variable:** se coloca una segunda bobina de medida con la cual puede obtenerse una tensión eléctrica, dependiendo del móvil el cual debe ser de un material ferromagnético, en la figura 2.2 se presenta un esquema de variación de reluctancia

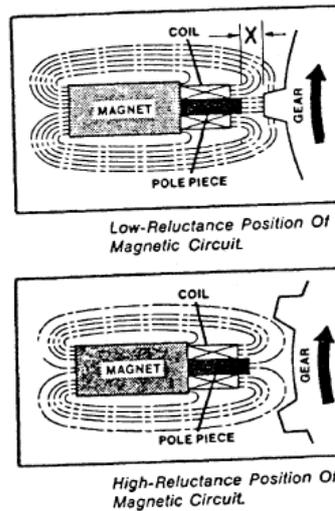


Figura 2. 2 Variación de Reluctancia
Fuente: [5]

- **Transductores a corrientes de Foucault:** se basa en la excitación de una bobina con una corriente alterna de alta frecuencia, la cual genera un campo electromagnético variable, en el cual si se coloca un cuerpo conductor, brotan en su superficie corrientes parásitas o de Foucault, cambiando el Coeficiente de autoinducción de la bobina porque según la ley de Lenz aquellas corrientes generan a su vez un campo electromagnético opuesto al creado en la bobina. [5]

En la figura 2.3 se presenta un esquema de un transductor de proximidad de corrientes de Foucault

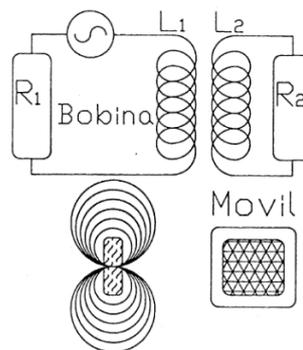


Figura 2. 3 Transductor de Proximidad de corrientes de Foucault
Fuente: [5]

TRANSDUCTORES DE EFECTO HALL

Si se induce un campo eléctrico y un campo magnético perpendicular sobre una barra de material semiconductor, se genera un campo eléctrico perpendicular a los otros dos cuya tensión es proporcional a la intensidad de corriente (I) que circula por el mismo y a la inducción magnética (B) el cual se lo denomina como campo Hall. [5]

$$V_h = K_h * \frac{I*B}{a} \quad (1)$$

Dónde:

- a= espesor de la placa de conductor
- K_h = constante de Hall (depende del material semiconductor)

Depende en sí del producto de la resistividad del material por la movilidad de las cargas eléctricas.

En la figura 2.4 se presenta la esquematización del transductor efecto Hall.

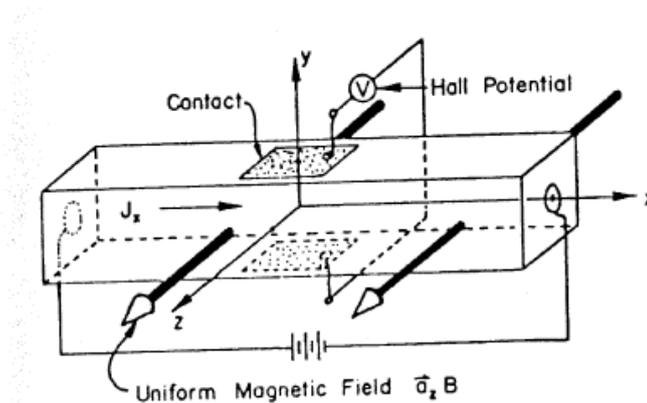


Figura 2. 4 Efecto Hall
Fuente: [5]

2.2.4 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE FUERZA Y PAR

Se basa en la propiedad de varios metales de variar su resistencia eléctrica con la deformación. [5]

Se necesita para ello un elemento primario o transducción mecánica previa generando al mismo una deformación o desplazamiento el cual se hace uso de un cuerpo elástico, es necesario la utilización de un transductor secundario que sería

de deformación o de desplazamiento queda realizada la transducción completa de la fuerza a una magnitud eléctrica.

TRANSDUCTORES DE FUERZA DE GALGAS EXTENSIOMÉTRICAS

Es un cuerpo de aleación metálica especial, por el cual se hace efectiva la fuerza a medir (F), el mismo que se encuentra en régimen elástico de deformación, estos son de tipo resistivo, en cuanto a ello se puede encontrar varias limitaciones las mismas que se deberán tomar en cuenta en la selección.

- **Histéresis:** Cuando se deja de aplica la fuerza, la deformación indicada no es nula sino diferente de cero.
- **Fluencia:** Se aplica una fuerza constante a un cuerpo, donde su deformación va aumentando en el tiempo casualmente cuando se encuentran en trabajo de temperaturas elevadas la cual con la relajación de tensiones entre galga-cuerpo se reduce la fluencia negativa.

Se los utiliza cuando se desea una mayor precisión o sensibilidad construyendo cuerpos sensibles a flexión. Existen varias formas y geometrías de este tipo de transductores, en la figura 2.5 se presentan cuerpos sensibles a flexión

Anillo:

- a) Circular
- b) Plano
- c) Columna entallada

Láminas:

- d) Rectangular
- e) Isoflexión

Semianillos:

- f) Simple
- g) Doble
- h) Simple

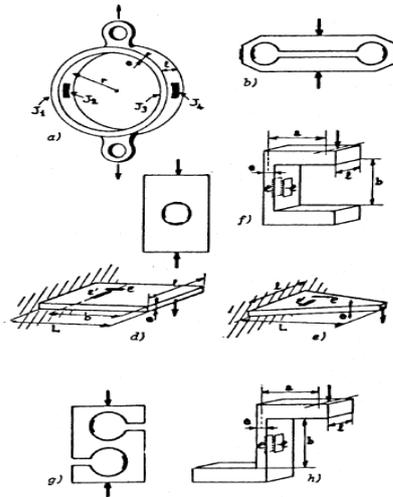


Figura 2. 5 Cuerpos sensibles a flexión
Fuente: [5]

2.2.5 TRANSDUCTORES DE MEDIDAS DE PRESIÓN

Cualquier tipo de fluido en reposo si se encuentra en contacto con una pared o recipiente ejerce una fuerza sobre este por unidad de área a la misma que se la denomina como “PRESIÓN”, las mismas denominas de la siguiente representación:

- **Presión Estática (Pe):** es la presión ejercida por un componente de una mezcla gaseosa, en régimen de flujo incompresible, pero cabe recalcar que depende directamente del tipo de fluido o flujo.

Clases de presión con respecto de su medida:

- **Presión Absoluta:** es el vacío completo de presión o sea la diferencia entre la presión en un punto de un fluido y el nivel cero de presión, por ejemplo la presión barométrica.
- **Presión Manométrica:** es la diferencia de presión, la existente en cualquier punto de un fluido y la presión atmosférica local.
- **Presión Diferencial (ΔP):** es la diferencia de presión entre dos presiones que se desconocen, teniendo en cuenta que ninguna de las dos es la presión atmosférica.

TRANSDUCTORES CAPACITIVOS

En ellos se utiliza unos condensadores de capacidad variable para medidas de deformación de diafragma o también desplazamientos, los mismos que se

denominan como elementos robustos y sin rozamiento, donde la capacidad es función de la posición de la membrana.

En la figura 2.6 se presenta la composición y forma de un transductor de presión, completamente plano y cilíndrico.

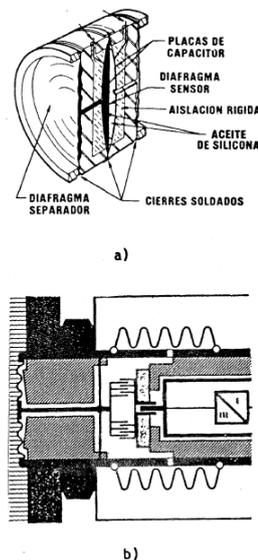


Figura 2. 6 Transductor capacitivo de Presión: a. plano b. Cilíndrico
Fuente: [5]

TRANSDUCTORES PIEZOELÉCTRICOS

El fenómeno llamado como piezoelectricidad se da cuando al ser sometidos los cristales a tensiones mecánicas, en su masa adquiere una polarización eléctrica y aparece una diferencia de potencial y cargas eléctricas en su superficie externa.

Proporcionan una señal eléctrica gracias a sus cristales piezoeléctricos a la fuerza sobre ellos que se emplea, es necesario la utilización de un sensor primario que transforme la presión en fuerza, para lo cual estos presentan un diafragma en su constitución.

Esto se da cuando se deforman ciertas estructuras cristalinas en algunas direcciones características de estos transductores, con la aparición de cargas eléctricas no compensadas en dos de sus caras.

Coexisten dos clases de efecto piezoeléctrico:

1. **Efecto Piezoeléctrico longitudinal:** se caracteriza por presentar cargas eléctricas en las caras donde se aplica la fuerza, y en magnitud que solo depende la de la dicha fuerza, y no de las dimensiones del cristal, la

sensibilidad depende de los discos sometidos a la misma fuerza por lo que se debe tener cuidado por el riesgo de holgura y pérdidas de linealidad que ello admite. [5]

2. **Efecto Piezoeléctrico transversal:** aparecen las cargas eléctricas en las caras perpendiculares a donde se aplica la fuerza y dependen tanto de la magnitud de la fuerza aplicada, como de las dimensiones del cristal, adecuando el cristal podremos jugar con la sensibilidad del transductor, para medir diferentes rangos de medida de presión. [5]

En la figura 2.7 se presenta con detalle un transductor piezoeléctrico de presión.

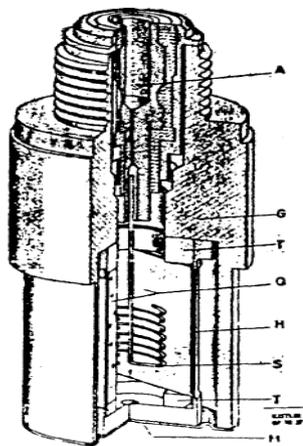


Figura 2. 7 Transductor piezoeléctrico de presión

Fuente: [5]

Dónde:

- A: conexión eléctrica
- G: carcasa
- M: diafragma
- T: compensación de temperatura
- Q: tres cristales de cuarzo
- H: tubo precargado
- S: bobina de metal noble para salida eléctrica

TRANSDUCTORES PIEZORESISTIVOS

Experimentan consecuentemente una variación de la resistencia dependiendo del material con el cual se encuentra trabajando en el entorno cuando ocurre una conmutación de presión en ellos, el mismo que puede ser el polvo de carbón. Se puede encontrar un material con estas propiedades de aleación que es el

denominado (MANGANIN: 84%Cu, 12%Mn y 4%Ni) es colocado en forma de hilos.

Poseen una sensibilidad según condiciones de trabajo de 0.0021 y 0.0028 omio/kbar.

Sobre todos los transductores de presión descritos en este apartado el rango de medición es el más elevado entre (10kbar y 400kbar).

2.2.6 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE GASTO

Se entiende como el gasto másico de un fluido o el flujo transitorio por una superficie de control, o bien como la masa que en la unidad de tiempo atraviesa una superficie de control.

En la figura 2.8 se presenta un esquema del flujo másico.

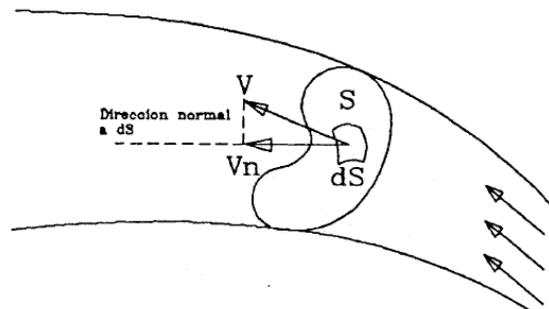


Figura 2. 8 Flujo Másico
Fuente: Autor

$$G = \int \rho * Vn * dS \quad (2)$$

- ρ =densidad local del fluido al atravesar dS
- Vn = componente de la velocidad relativa a S, según la normal dS y sentido
- dS = elemento diferencial de la superficie de control S

MEDIDORES DE DIAFRAGMA PARA MEDICIÓN DIFERENCIAL

Permiten medir la presión diferencial entre dos puntos los cuales deben ser conformados por dispositivos primarios que permitan la medición con el transductor de diafragma.

MEDICIÓN DEL CAUDAL DE FLUIDOS MEDIANTE PLACA DE ORIFICIO

En la Norma UNE-EN ISO 5167-2:2003 enumera varios métodos y configuraciones de dispositivos manufacturados que con la ayuda de dispositivos primarios como un transductor de presión diferencial nos permite conocer la diferencia de presión que existe entre dos puntos determinados.

El método de medición se fundamenta en la instalación de una placa de orificio dentro de una tubería, esta genera una diferencia de presión estática entre los lados de la placa de orificio aguas arriba y aguas abajo.

$$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} * \epsilon * \frac{\pi}{4} * d^2 * \sqrt{2\Delta P * \rho_1} \quad (3)$$

Dónde:

- q_m = caudal másico
- C = coeficiente de descarga
- β = relación de diámetros
- ϵ = factor de expansibilidad
- d = diámetro del orificio
- ΔP = diferencia de presiones
- ρ_1 = densidad del fluido a temperatura y presión q el volumen es establecido

Se puede también calcular el valor del caudal volumétrico si es necesario como un dato secundario:

$$q_v = \frac{q_m}{\rho_1} \quad (4)$$

Es de suma importancia conocer la densidad y la viscosidad del fluido en las condiciones de trabajo, para el caso del fluido compresible, es también necesario conocer el exponente isentrópico del fluido en condiciones de trabajo. [6]

En la figura 2.9 se expone una placa de orificio normalizada.

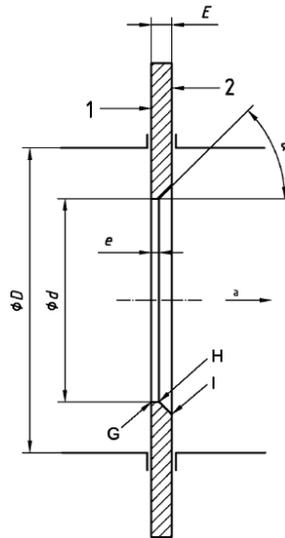


Figura 2. 9 Placa de Orificio Normalizada
Fuente: [6]

TRANSDUCTORES DE TURBINA

Fundamentada en una hélice de un diseño especial que realiza las veces de una turbina esta es montada en el interior de un tubo y sujeta por cojinetes sumergidos en el propio fluido, la misma que gira libremente al ser arrastrada por el fluido en argumento.

En la figura 2.10 se presenta un esquema de un transductor de turbina que es empleado para medir el flujo volumétrico.

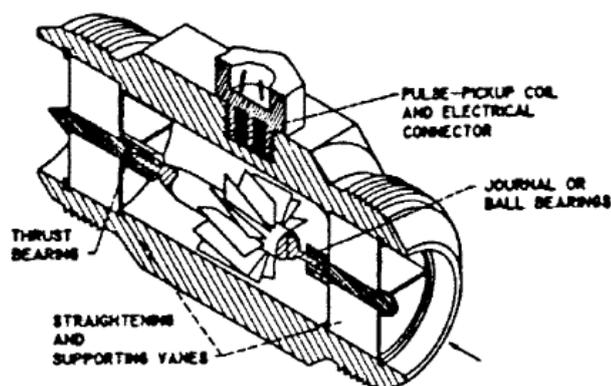


Figura 2. 10 Esquema de transductor turbina usado para flujo volumétrico
Fuente: [5]

Si no existe rozamiento en el eje, en condiciones estacionarias, el régimen de giro sería proporcional a una velocidad media del fluido y por tanto proporcional al flujo,

el régimen de giro de la turbina normalmente es medido haciendo uso de un transductor magnético que registra el paso de cada una de sus aspas, dando una señal típica de 0.1 a 1V rms.

Es necesario en algunos casos el empleo de otros transductores, como el de corrientes de Foucault. La salida del transductor es un tren de pulsos cuya frecuencia es proporcional al flujo volumétrico, con una linealidad dentro del \pm 0.5% usando líquido de baja viscosidad, la frecuencia de este tren de pulsos suele ser del orden de 200 a 4000 Hz. [5]

2.2.7 TRANSDUCTORES PARA MEDIDAS DE HUMEDAD

La humedad es la medida de la cuantía de vapor de agua que se encuentra en mezcla gaseosa o la cuantía de agua absorbida o incluida en un sólido o líquido.

Se considera un volumen de gas (V_t) con una masa total (M_t) a una presión (P) y a una temperatura (T), contenida en una masa de agua (M_h), la misma que produce una presión parcial de vapor de agua (P_h).

- **Presión de Vapor Saturante (P_{hs}):** es aquella que existe a condiciones de equilibrio, en presencia de agua en estado líquido, es la máxima presión de vapor de agua que es posible esperar a esa temperatura, siendo esta función conocida se puede emplear una aproximación del tipo polinómico.

$$P_{hs} = 7.1 + 1.24 * 10^{-1} * t + 3.7 * 10^{-2} * t^2 - 3.5 * 10^{-4} * t^3 + 9.7 * 10^{-6} * t^4 \quad (5)$$

- **Humedad Absoluta (H_a):** comprende la masa de agua por unidad de volumen de mezcla.

$$H_a = \frac{M_h}{V_t} \quad (6)$$

- **Humedad Relativa (H_r):** es el cociente entre la presión parcial del vapor de agua en la mezcla y la presión de vapor Saturante del agua a esa temperatura.

$$H_r = \frac{P_h}{P_{hs}} \quad (7)$$

- **Humedad Específica (H_e):** comprende la masa del agua por unidad de masa de mezcla.

$$H_e = \frac{M_h}{M_t} \quad (8)$$

- **Relación de Humedad (Rh):** comprende el coeficiente entre la masa de agua y la del resto de los componentes de la mezcla.

$$Rh = \frac{M_h}{M_t - M_h} \quad (9)$$

Tipos de Sensores: en la selección del sensor de humedad depende directamente de los parámetros o el parámetro que se desea medir en este caso simultáneamente: temperatura de rocío, porcentaje de agua, etc. Los mismos que se pueden clasificar de la siguiente manera:

- a) Higrómetros:
 - Mecánicos
 - De variación de impedancia: resistivos, capacitivos
 - Electrolíticos
- b) Psicrómetros
- c) De punto de rocío
 - De condensación
 - De absorción
- d) Sensores remotos

En la tabla 2.2 se presentan características de higrómetros.

Tabla 2. 2. Características de Higrómetros. 1. Resistivos, 2.Capacitivos de Polímero, 3.Capacitivos de Al₂O₃, 4.Electrolíticos.

	1	2	3	4
Rango de medida	5 – 95%	0 – 100%	Hume. bajas	10 – 10000 ppm
Tiempo Resp.	10 s	1 – 2 s	5 s	30 -300 s
Precis. %	± 2 – 5%	± 2 – 3%	-	-
Infl. Temp.	Alta	Baja	Nula	-
Temp. Trabajo	(-10) – 80°C	(-40) – 100°C	(-80) – 70°C	-

Fuente: Autor

La sensibilidad de estos transductores depende del material que están compuestos como también las condiciones de equilibrio como son las temperaturas a las que se van a encontrar trabajando, la instalación se deberá realizar al aire libre teniendo en cuenta la amplificación y el aislamiento del circuito, colocar una amplificación de señal para la obtención de los datos en tiempo real. En la figura 2.11 se presenta un higrómetro capacitivo.

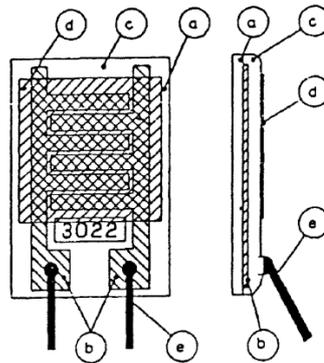


Figura 2. 11 Higrómetro Capacitivo
Fuente: [5]

2.2.8 ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

La señal de salida de un transductor o de un sistema de medida completo es analógica para muchos de los casos; es decir, la magnitud a medir varía de forma analógica a ella.

- Velocidad de diversificación de las señales que se quiere registrar de forma inquebrantable.
- El número de variables a medir simultáneamente.
- La necesidad de rapidez en la elaboración de resultados.
- Interfaz de obtención de información útil: ajuste de cero, linealidad, presentación de unidades ingenieriles, combinación de varias medidas para la obtención de datos de dignificado físico.

Para ello es de suma conveniencia la conversión de señales analógicas a digitales, mediante un convertidor analógico digital para que los datos sean leídos por un ordenador. [5]

En la figura 2.12 se presenta un esquema sinóptico de un convertidor analógico-digital.

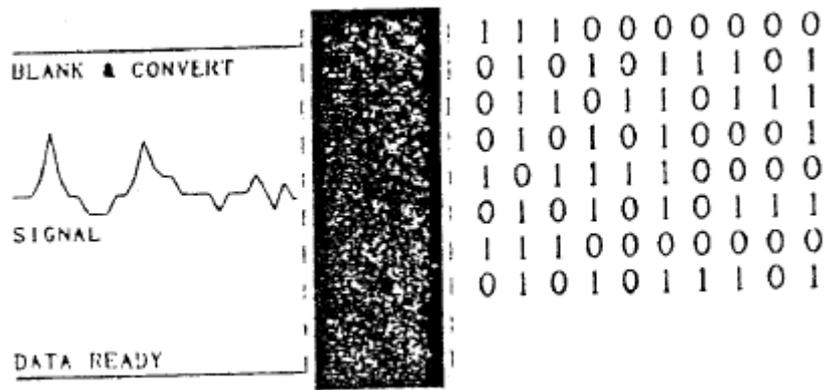


Figura 2. 12 Esquema sinóptico de un convertidor analógico - digital.
Fuente: [5]

CONVERTIDORES ANALÓGICO-DIGITALES

En la conversión analógico-digital se recibe una tensión de referencia (V_{ref}) es variada fraccionalmente y comparada con la tensión desconocida presente a la entrada (V_i), cuando las dos son iguales dentro de un cierto umbral de indeterminación o de cuantificación, se ha determinado la tensión de entrada. [5]

La lógica para el ordenador desea obtener un acumulado de coeficiente binarios (ceros y unos) los mismos que presentan la subdivisión progresiva de la señal de referencia hasta llevar a corresponder la tensión de entrada.

En la figura 2.13 se presenta el funcionamiento de la codificación digital o función de transferencia.

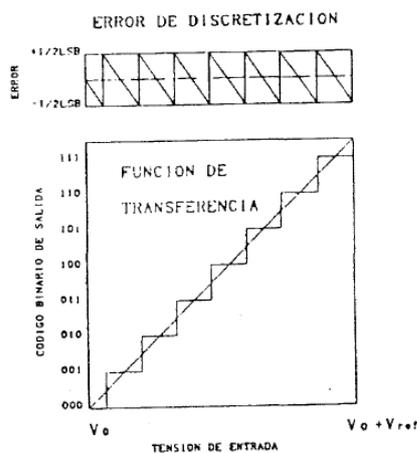


Figura 2. 13 Codificación digital o función de transferencia
Fuente: [5]

La tensión V_{ref} se divide en 2^n (n : número de bits) partes tomando cada parte un lugar determinado formando una escala de comparación para la señal de entrada.

En la tabla 2.3 se muestra la precisión de un convertidor ideal de n bits:

Tabla 2. 3. Resolución de un convertidor analógico-digital de n bits

Número de bits	Precisión
6	$\pm 0.5/64 = \pm 0.78\%$
7	$\pm 0.5/128 = \pm 0.39\%$
8	$\pm 0.5/256 = \pm 0.20\%$
10	$\pm 0.5/1024 = \pm 0.049\%$
12	$\pm 0.5/4096 = \pm 0.012\%$
14	$\pm 0.5/16384 = \pm 0.0031\%$
16	$\pm 0.5/65536 = \pm 0.00076\%$

Fuente: [5]

TARJETAS DE ENTRADAS ANALÓGICAS

Estas tarjetas analógicas son llamadas también como adquisición de datos multiplexados, en la figura 2.14 se muestra la estructuración de bloques de tarjeta.

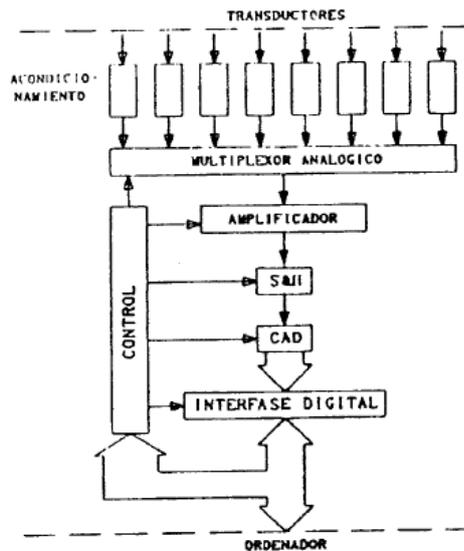


Figura 2. 14 Estructura de bloques de tarjeta de adquisición de datos analógicos.

Fuente: [5]

La señal eléctrica pasa a través de un módulo de acondicionamiento, cuya función es específica del transductor manejado.

SOFTWARE DE ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

Es indispensable el acompañamiento de tarjetas o equipos de adquisición de datos conectables a un ordenador con programas especializados para cada tarjeta para lograr poseer un equilibrio sistemático del proceso.

Estos programas permiten la utilización directa de los datos en hojas de cálculo o remanentes visuales, el mismo que debe ser ajustable y configurable para la interfaz hombre-máquina, se recomienda;

- Buscar el hardware y el software propicios para la optimización de la toma de datos y la adquisición de parámetros de trabajo.
- La capacidad de manejo para el usuario debe ser amigable y de fácil comprensión.
- La compatibilidad con varios software y hardware con la apertura de renovar procesos de toma de datos.
- Colocación de dispositivos que puedan ser renovados en caso de daño u ocurrencia a cambios.
- La utilización de un lenguaje acorde como por ejemplo un interactuado en lenguaje C

MEJORAMIENTO DE LA RESOLUCIÓN DEL CONVERTIDOR ANALÓGICO DIGITAL (ADC) MEDIANTE SOBREMUESTREO Y PROMEDIO

La necesidad de mejorar la resolución del ADC es disminuir el costo y ampliar la resolución de los datos para no utilizar una tarjeta de mayor costo o complejidad, se debe medir cambios pequeños de un parámetro que se desee medir como también la relación señal-ruido(SNR), para ello existen varias técnicas de medición:

Una de ellas es el sobremuestreo y promediación para aumentar la resolución (SNR) de analógico a digital.

En la figura 2.15 se presenta un esquema de sobremuestreo y promediación para aumentar la resolución mediante bits.

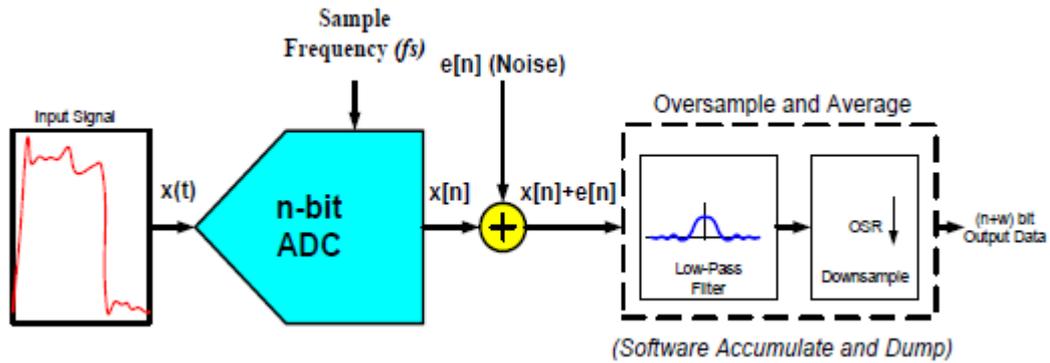


Figura 2. 15 Sobremuestreo y promedio para aumentar la resolución mediante bits (w)
Fuente: [7]

AUMENTO DE RESOLUCIÓN EN MEDICIONES (ADC)

Existen aplicaciones que miden rangos dinámicos, los cuales requieren resoluciones muy finas para poder medir cambios de parámetros de incidencia principal, un contador analógico digital puede medir en gran parte por ejemplo para la temperatura mide varios rangos pero aún es necesario medir variaciones en la temperatura que sean menores de un grado, esto se lo puede hacer sin necesidad de requerir de un costoso (ADC) de n bits, pero con la promediación y el sobremuestreo con algunos procesos de una (ADC) de n bits podemos medir un parámetro con $n + n$ bits de resolución.

$$f_n = 2 * f_m \quad (10)$$

Donde:

f_n : frecuencia de Nyquist

f_m : frecuencia más alta de interés en la señal de entrada

Si la frecuencia de muestreo (f_s) es capaz de ir por encima de (f_n) es sobremuestreo y aumentará la resolución de una medición sin problema alguno. [7]

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE SOBREMUESTREO EN EL AUMENTO DE RESOLUCIÓN

Se desea aumentar el número efectivo de bits (ENOB), se necesita sobremuestrear y muestrear mediante el (ADC) a una velocidad más alta que la tasa de muestreo

ordinaria del sistema (f_s), para adicionar la resolución la señal debe ser sobremuestreada por un factor de cuatro. [7]

$$f_{os} = 4^w * f_s \quad (11)$$

Donde:

f_{os} : frecuencia de sobremuestreo

w : número de bits adicionales de resolución deseados

f_s : frecuencia de muestreo original

Ejemplo para medir la temperatura en un grado y se desea aumentarla de 12 bits a 16 bits se realiza la operación:

$$f_{os} = 4^4 * 1\text{Hz} = 256 \text{ [Hz]}$$

Esto se conoce como diezmación porque esto da como resultado 16 bits de datos útiles.

CÁLCULO DE SOBREMUESTREO PARA AUMENTAR EL (SNR)

Se da esto por el error de cuantificación inherente se puede calcular como una función del número efectivo de bits de una conversión de datos. [7]

$$\text{SNR (dB)} = (6.02 * \text{ENOB}) + 1.76 \quad (12)$$

Donde:

ENOB: número efectivo de bits de la medida.

CAPÍTULO III

3. DISEÑO DEL PROYECTO

3.1 BANCO DE PRUEBAS DE MOTORES DE COMBUSTIÓN INTERNA

BANCO DE PRUEBAS EXISTENTE

Con el objeto de medir varios parámetros de funcionamiento en el banco de pruebas existente que se muestra en la figura 3.1 se consideran las siguientes condiciones:



Figura 3. 1 Banco de pruebas existente
Fuente: Autor

- Medición de temperatura ambiente ($^{\circ}\text{C}$), de forma manual con un termómetro ambiental.
- Medición de la presión atmosférica, de forma manual con un barómetro.
- Medición de velocidad (rpm), de forma manual utilizando un tacómetro y acoples de proceso.
- Consumo de combustible (Kg/s), de forma manual utilizando una probeta de medición y masando la cantidad de combustible, de este modo se consume combustible en el proceso hasta que se apague el motor en un cierto tiempo.
- Cálculo de la potencia (W), de forma manual utilizando un dinamómetro en la punta extrema del brazo del freno, con la fuerza ejercida en el dinamómetro se calcula la potencia, con un multímetro de pinzas de forma directa el mismo que a medida que se le aumenta carga al freno va

incrementando, donde el voltaje es conocido. para ello se puede observar en la figura 3.1 que la bomba de agua impulsa el fluido hacia el freno dando la oposición al giro del cigüeñal, utilizando la ecuación (12).

$$\text{Pot m} = V * I \quad (13)$$

Donde:

Pot m: potencia [W]

V: voltaje [v]

I: intensidad [A]

- Conocida la potencia y la velocidad, se obtiene de forma directa el par o torque.

$$\text{Par} = \frac{\text{Pot m}}{n} \quad (14)$$

Par: par o torque [Nm]

Pot m: potencia motor [W]

n: velocidad [rpm]

Todas estas mediciones y cálculos se realizan de forma manual y con agentes y medidores externos. Además, con estas condiciones el agua del reservorio succionada por la bomba conducida al freno se calienta en una magnitud excesiva porque dentro del recipiente no existe una transferencia de calor con el exterior o aire frío y la fricción que existe dentro del freno hace que se caliente, las prácticas de laboratorio duran entre una hora con cuarenta y cinco minutos lo cual es una pérdida excesiva de tiempo admitido.

BANCO DE PRUEBAS ACTUAL

Se requiere medir varios parámetros de funcionamiento en tiempo real y al instante con una interfaz hombre-máquina, con el objeto que sea amigable con el operador y pueda obtener estos parámetros de una forma automática y sencilla observando gráficas de las mediciones con la variación de parámetros, eliminando los tiempos excesivos de práctica y mediciones adicionales con agentes y componentes externos

que son procesos complicados y tediosos. En la figura 3.2 y 3.3 se presenta el banco de pruebas actual.

- Presión atmosférica (valor medido)
- Temperatura atmosférica (valor medido)
- Velocidad (valor medido)
- Consumo de combustible (valor medido)
- Masa de aire a la admisión (valor medido)
- Presión agua (valor medido)
- Caudal (valor medido)
- Calidad de la mezcla (valor calculado)
- Potencia motor (valor calculado)
- Par motor (valor calculado)
- Eficiencias (valor calculado)

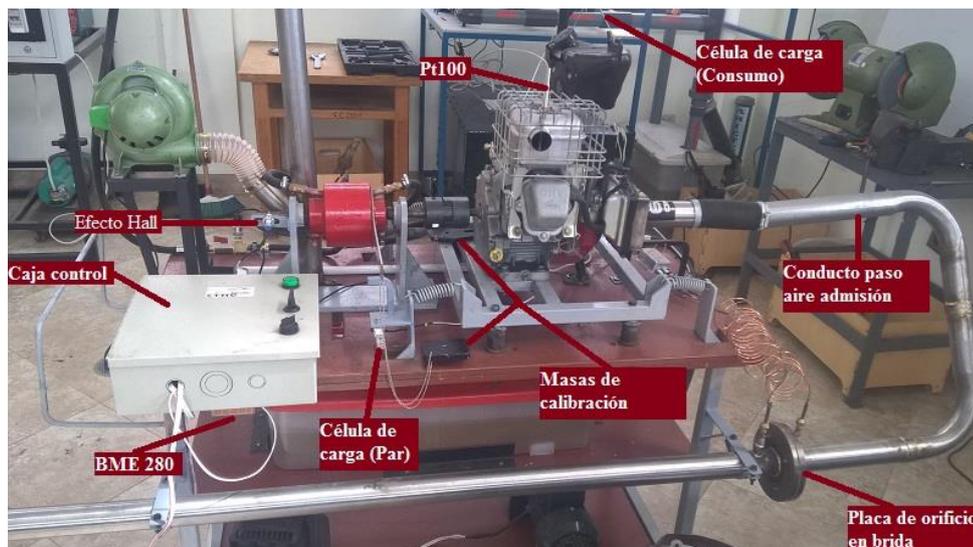


Figura 3. 2 Banco de pruebas actual (vista 1)

Fuente: Autor

- Pt100: mide la temperatura de escape [$^{\circ}\text{C}$].
- Efecto Hall: mide la velocidad del cigüeñal [rpm].
- Célula de carga (Consumo): mide el peso de combustible del reservorio.
- Célula de carga (Par): mide la fuerza generada por el freno hidráulico.
- BME 280: mide parámetros atmosféricos como la humedad relativa, presión y temperatura.
- Conducto aire paso admisión: permite el paso de aire al carburador.
- Placa orificio en brida: medición de presión diferencial entre dos puntos.

- Masas de calibración: permiten calibrar el sistema para las células de carga.
- Caja de control: contiene las conexiones de los sensores a la tarjeta ST, como también a la fuente de alimentación de energía.
- Transductor de presión diferencial RG-130: mide la presión diferencial de aire que pasa por el conducto al depurador.
- Caudalímetro agua: mide el caudal de agua que vota la bomba al freno hidráulico.
- Presión de agua: sensor que mide la presión del agua a la que entra y sale del freno hidráulico.
- Ventilador: adiciona aire del ambiente a la salida del conducto de agua del freno.
- Conducto ventilador: se mezcla el aire del ventilador frío con el agua que sale del freno hidráulico, funcionando como un intercambiador de calor.
- Deposito combustible: contiene el combustible de alimentación del motor de combustión interna.

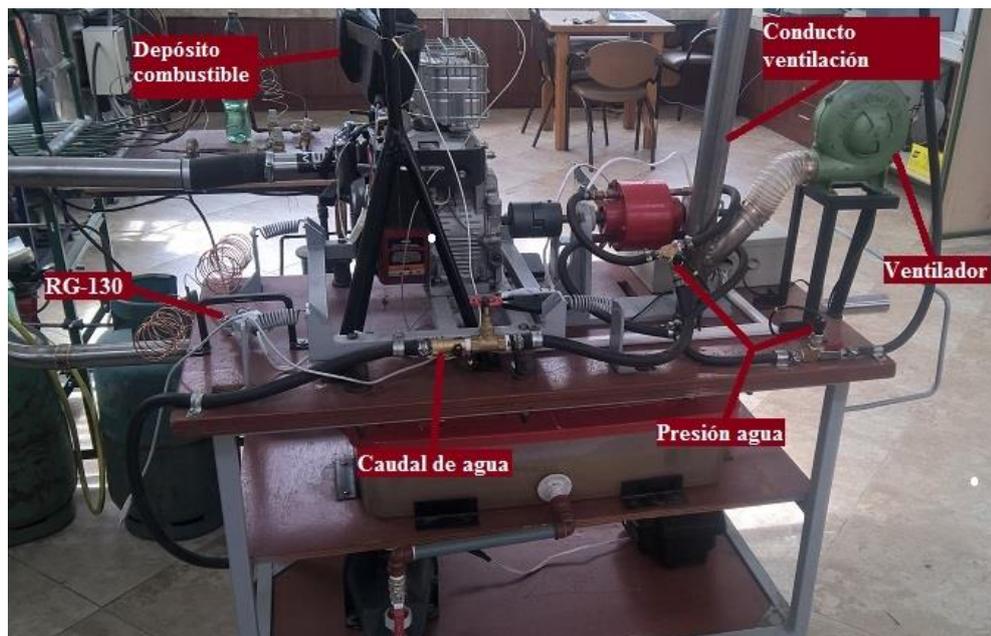


Figura 3. 3 Banco de pruebas actual (vista 2)

Fuente: Autor

3.2 DISEÑO ELÉCTRICO Y ELECTRÓNICO

Se presentan algunas esquematizaciones de la implementación de los sensores que nos permitirán la medición de los parámetros de funcionamiento. Por lo cual se

muestran las conexiones según el Anexo B. Y el diagrama electrónico se presenta en el Anexo K

DISEÑO DE PLACA DE ORIFICIO

Con el fin de determinar el caudal de aire que se encuentra pasando en la admisión del proceso del motor de combustión interna es necesario diseñar una placa de orificio que permita medir la presión diferencial que existe entre dos puntos los cuales se deben encontrar aguas arriba de la placa de orificio como también aguas abajo del dispositivo.

Se basa en la norma “UNE-EN-ISO 5167 para medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular”.

En la figura 3.4 se presentan condiciones de diseño de placa de orificio.

CONDICIONES DE DISEÑO DE PLACA DE ORIFICIO

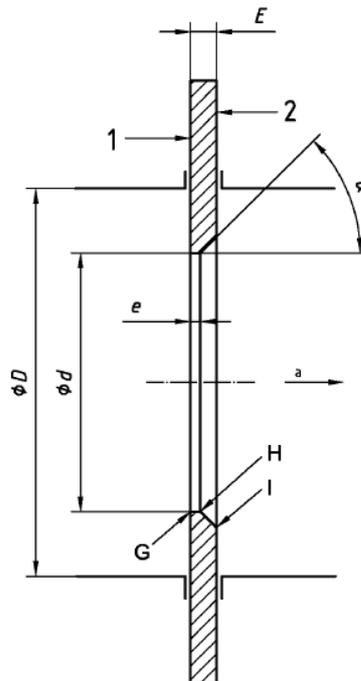


Figura 3. 4 Diseño de placa de orificio

Fuente: [6]

Donde:

- 1: cara A agua arriba
- 2: cara B aguas abajo

- D: diámetro interno del conducto
- d: orificio
- E: espesor de la placa
- e: espesor del orificio
- α : ángulo del bisel
- G,H,I: cantos de la placa

Cara A aguas arriba de la placa

Debe ser completamente plana, se debe tomar en cuenta que al momento de la instalación de la placa no se deforme la misma.

Cara B aguas abajo de la placa

Debe ser completamente plana como también paralela a la cara A aguas arriba. Las condiciones de acabado deben ser igual a las de la cara A.

Se calculan las condiciones de diseño según los parámetros indicados y constantes, presentados en la tabla 3.1.

Tabla 3. 1. Cálculo de caudal másico

CÁLCULO DEL CAUDAL MASICO				
$q_m = \frac{C}{\sqrt{1-\beta^4}} \varepsilon \frac{\pi}{4} d^2 \sqrt{2\Delta p \rho_1}$				
d=P/R/T	Valor	Unidad		
P	70000	Pa	N/m ²	
R	287	N*m/Kg*°K		
T	298	°K	25	°C
ρ	0,818	Kg/m ³		
qv=Vh*n	Valor	Unidad		
Vh	0,000206	m ³	206	cm ³
n	50	rps	3000	rpm
qv	0,0103	m ³ /s		
qm=p*qv	Valor	Unidad		
p	0,8185	Kg/m ³		
qv	0,0103	m ³ /s		
qm	0,00843	Kg/s	GC	

Fuente: Autor

En la tabla 3.2 se propone varias condiciones de funcionamiento para la selección del componente secundario (sensor de presión diferencial), como también el diámetro del orificio con respecto a varios parámetros mencionados posteriormente:

Tabla 3. 2. Cálculo de variación de presión tubería de 2”.

CÁLCULO DE LA VARIACIÓN DE PRESION TUBERIA DE 2"							
D	0,0483	ε=1	1				
qm	0,00843			C	v		4,29
					Re		11926,28
β1	0,25	d1	0,012075	0,6056	β1^4		0,0039
β2	0,348	d2	0,0167	0,6123	β2^4		0,0147
β3	0,4	d3	0,01932	0,6102	β3^4		0,0256
β4	0,5	d4	0,02415	0,6162	β4^4		0,0625
β5	0,6	d5	0,02898	0,6247	β5^4		0,1296
β6	0,7	d6	0,03381	0,6342	β6^4		0,2401
β7	0,75	d7	0,036225	0,6387	β7^4		0,3164
Δp1	6023,41						
Δp2	2375,94						
Δp3	885,58						
Δp4	342,23						
Δp5	149,09						
Δp6	68,17						
Δp7	45,88						

$$\Delta p = \frac{1}{2\rho_1} \left(\frac{4qm\sqrt{1-\beta^4}}{C*\epsilon*\pi*d^2} \right)^2$$

Fuente: Autor

Se despeja de la ecuación 3 la diferencia de presión, para lo cual se adjuntan varios parámetros que obtenemos del Anexo A como el valor de β: es la diferencia de diámetros d/D , los cuales se toman valores mostrados en el Anexo A y se despeja el diámetro d para realizar la respectiva iteración presentada en la Tabla 3.2.

De la misma forma tomamos los valores de C: coeficiente de descarga para un Re calculado e interpolamos el valor de C con los Reynolds conocidos.

Experimentalmente se asume un ε: factor de expansibilidad igual a 1 haciendo un aproximado con los valores obtenidos anteriormente.

En la iteración de la tabla nuestro ΔP idóneo es el ΔP2= 2375.94 Pa. Para lo cual es recomendable un sensor de presión diferencial de 3000 Pa.

Espesor E y e

El espesor del orificio e debe estar comprendido entre 0.005D y 0.02D.

El espesor de la placa E cuando $50 \text{ mm} \leq D \leq 64 \text{ mm}$, es aceptable un espesor E hasta 3.2 mm.

$$e = 0.02 * D \quad (15)$$

$$e = 0.02 * 48.3$$

$$e = 0.966 \text{ mm}$$

Asumimos un $E = 3.2 \text{ mm}$

Ángulo del bisel α

El ángulo del bisel puede estar comprendido entre $45^\circ \pm 15^\circ$

Asumimos un $\alpha = 45^\circ$

El diseño de la placa se presenta en la figura 3.5.

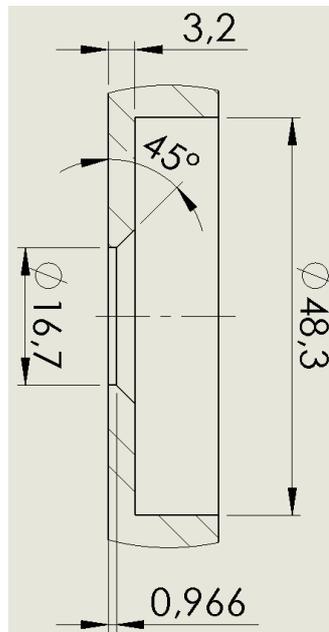


Figura 3. 5 Placa de orificio adosada en brida
Fuente: Autor

Tomas de presión

Para los agujeros se debe considerar una separación de tomas de presión para placas de orificio a D y D/2. Como se muestra en la figura 3.6.

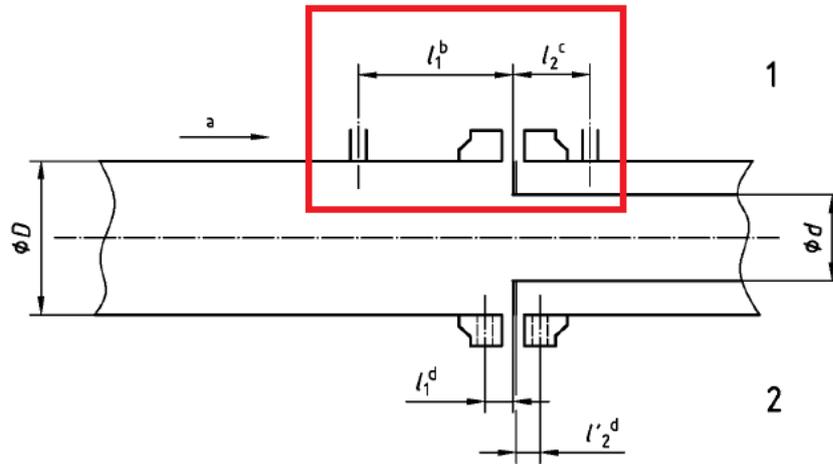


Figura 3. 6 Diseño de tomas de presión para placa de orificio
Fuente: [6]

En el recuadro de color rojo se tiene condiciones de diseño para lo cual los valores de tomas son los siguientes:

En la figura 3.7 se presenta las tomas de presión.

$$L1 = D \pm 0.1D \quad (16)$$

$$l1 = 48.3 - 0.1 * 48.3$$

$$l1 = 43.47 \text{ mm}$$

$$l2 = 0.5D \pm 0.02D \quad (17)$$

$$l2 = 0.5 * 48.3 + 0.02 * 48.3$$

$$l2 = 25.12 \text{ mm}$$

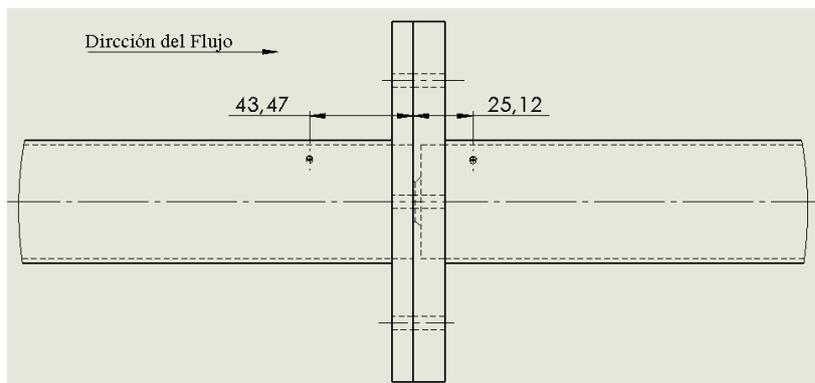


Figura 3. 7 Tomas de presión.
Fuente: Autor

IMPLEMENTACIÓN DE INTERCAMBIADOR DE CALOR ADICIONADO AL SISTEMA HIDRÁULICO

Con el objeto de evitar el calentamiento en el sistema del freno hidráulico se implementa un intercambiador de calor esquematizado en la figura 3.8.

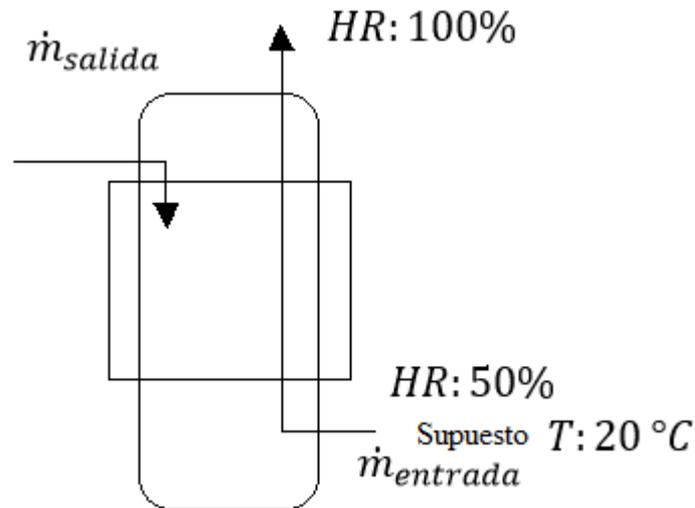


Figura 3. 8 Intercambiador de calor.

Fuente: Autor

Se quiere calcular la temperatura del agua para el caso de potencia disipada en el freno hidráulico.

$$\dot{Q} = \dot{m}_{sal} (Cp * T_{sal} + w_{sal} * h_{sal}) - \dot{m}_{ent} (Cp * T_{ent} + w_{ent} * h_{ent}) - \dot{m}_{agua} * h_{agua} \quad (18)$$

$$\rho = \frac{p}{R * T}$$

$$\rho = \frac{0.7 * 10^5}{287 * 293.15}$$

$$\rho = 0.832 \text{ Kg/m}^3$$

$$\dot{m}_{ent} = \rho * A * v \quad (19)$$

$$\dot{m}_{ent} = 0.832 * \frac{\pi * 0.048^2}{4} * 5$$

$$\dot{m}_{ent} = 7.53 * 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

Se requiere calcular la temperatura de salida del fluido para un \dot{Q} máximo, igual a 4.1 KW

$$\text{Supuesto: } T_{sal \text{ aire}} = T_{ent \text{ agua}} \text{ y } \dot{m}_{ent} * (w_{sal} - w_{ent}) = \dot{m}_{agua}$$

Los valores de p_{sat} , h y w se los toman de la tabla de propiedades termodinámicas del Anexo J

Donde:

$$p = p_{sat \text{ a } 20^{\circ}\text{C}} * 0.5 \quad (20)$$

$$p = 2.3388 * 10^3 * 0.5$$

$$p = 1169.4 \text{ Pa}$$

Entonces:

$$w_{ent} = 0.622 * \frac{p}{p_T - p} \quad (21)$$

$$w_{ent} = 0.622 * \frac{1169.4}{0.7 * 10^5 - 1169.4}$$

$$w_{ent} = 0.01056 \text{ KJ/Kg}$$

Suponiendo una $T_{sal} = 30^{\circ}\text{C}$

$$w_{sal} = 0.622 * \frac{p}{p_T - p}$$

Para:

p : p a 30°C tomado del Anexo J

$$w_{sal} = 0.622 * \frac{4.2460 * 10^3}{0.7 * 10^5 - 4.2460 * 10^3}$$

$$w_{sal} = 0.04016 \text{ KJ/Kg}$$

Donde:

$$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{ent} * (w_{sal} - w_{ent}) \quad (22)$$

$$\dot{m}_{agua} = 7.53 * 10^{-3} * (0.04016 - 0.01056)$$

$$\dot{m}_{agua} = 2.22 * 10^{-4} \text{ Kg/s}$$

Utilizando la ecuación 18 y el Anexo J se calcula:

$$\dot{Q} = 7.53^{-3}(1 * 30 + 0.4016 * 2555.52) - 7.53 * 10^{-3}(1 * 20 + 0.01056 * 2537.38) - 2.22 * 10^{-4} * 125.72$$

$$\dot{Q} = 0.618 \text{ KW}$$

Suponiendo una $T_{sal} = 60^{\circ}\text{C}$

$$w_{sal} = 0.622 * \frac{p}{p_T - p}$$

Para:

p: p a 60 °C tomado del Anexo J

$$w_{sal} = 0.622 * \frac{19.9440 * 10^3}{0.7 * 10^5 - 19.9440 * 10^3}$$

$$w_{sal} = 0.2478 \text{ KJ/Kg}$$

Donde:

$$\dot{m}_{agua} = \dot{m}_{ent} * (w_{sal} - w_{ent}) \quad (23)$$

$$\dot{m}_{agua} = 7.53 * 10^{-3} * (0.2478 - 0.01056)$$

$$\dot{m}_{agua} = 1.78 * 10^{-3} \text{ Kg/s}$$

Utilizando la ecuación 18 y el Anexo J se calcula:

$$\begin{aligned} \dot{Q} &= 7.53^{-3}(1 * 60 + 0.2478 * 2608.80) \\ &\quad - 7.53 * 10^{-3}(1 * 20 + 0.01056 * 2537.38) - 1.78 * 10^{-3} \\ &\quad * 251.17 \end{aligned}$$

$$\dot{Q} = 4.92 \text{ KW}$$

Realizamos una iteración con los valores calculados y tenemos que:

Tabla 3. 3. Iteración de valores calculados

ITERACIÓN DE TEMPERATURAS SEGÚN POTENCIA MOTOR	TEMPERATURA [°C]	
	30	60
	CANTIDAD DE CALOR [KW]	
	0,618	4,92
	POTENCIA MOTOR [KW]	
	2,5	4,1
	ITERACIÓN	
	TEMPERATURA [°C]	
	43,12	54

Fuente: Autor

De acuerdo a los valores mostrados en la tabla 3.3 se comprueba que la temperatura del agua en el caso más favorable es 43.12 °C y en el más desfavorable de 54 °C, siendo dichos valores aceptables para el funcionamiento del sistema hidráulico.

ANÁLISIS DE INCERTIDUMBRES

Se toma el porcentaje de error para lectura de los sensores tomando en cuenta la electrónica del mismo como la conexión a la tarjeta ST, esto nos brinda el fabricante en el catálogo de funcionamiento de cada uno de los sensores que se presenta en las figuras 3.9 a la 3.18

Gasto Másico		
Celda de carga 1Kg	Módulo HX711	Tarjeta de micro controlador ST

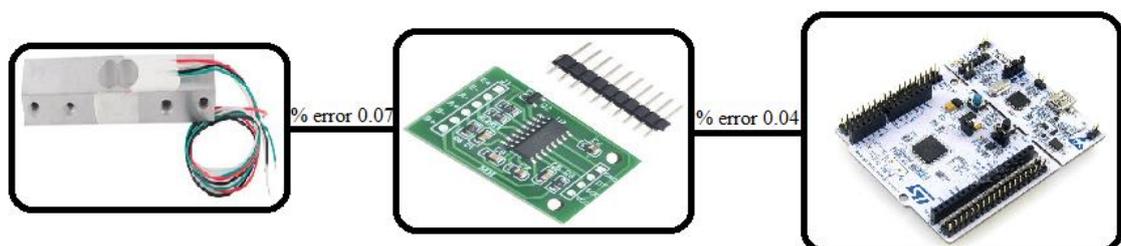


Figura 3. 9 Esquematización de componentes
Fuente: Autor

Par (Freno Hidráulico)		
Celda de carga 2kg	Módulo HX711	Tarjeta de micro controlador ST

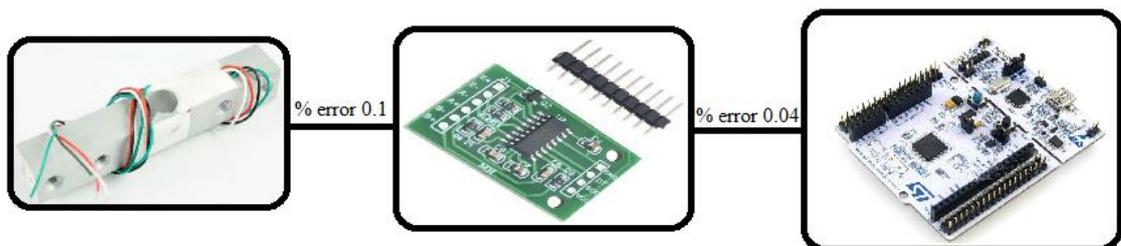


Figura 3. 10 Esquematización de componentes Par
Fuente: Autor

Temperatura de Escape		
Pt100 RTD -50 a +400°C	Transmisor Pt100 DC24V	Tarjeta de micro controlador ST

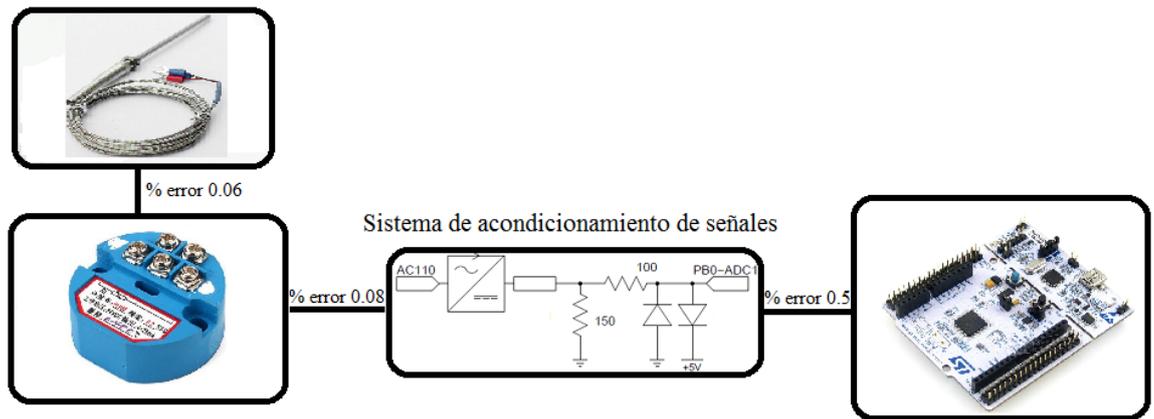


Figura 3. 11 Esquematación de componentes T° de escape
Fuente: Autor

Parámetros del Ambiente	
BME280-3.3 atmosférico	Tarjeta de micro controlador ST

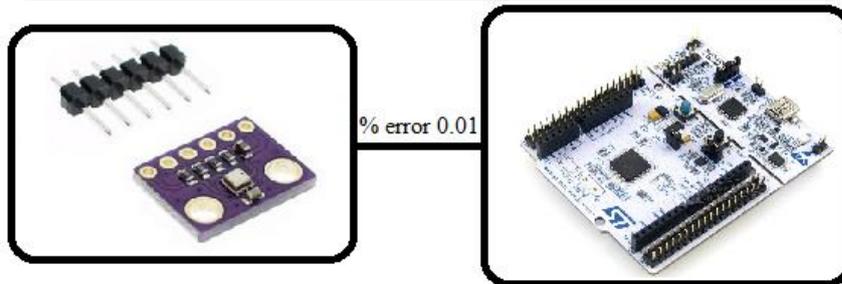


Figura 3. 12 Esquematación de componentes atmosférico
Fuente: Autor

Efecto Hall	
NJK-5002C proximidad	Tarjeta de micro controlador ST

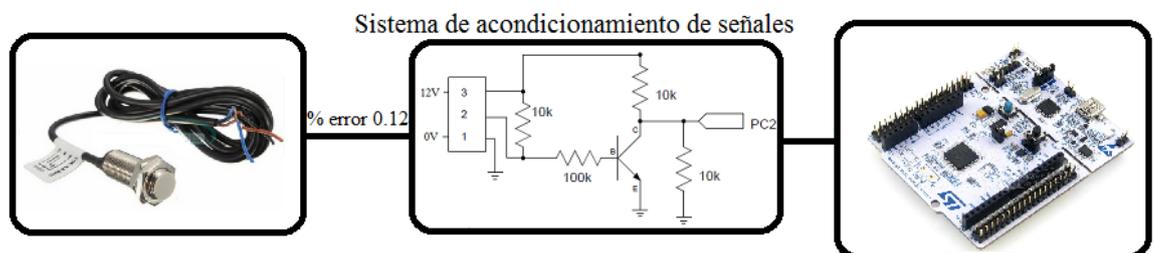


Figura 3. 13 Esquematación de componentes (rpm)
Fuente: Autor

Flujo de Aire (ΔP)	
RG-130 Presión Diferencial 0-3kPa	Tarjeta de micro controlador ST

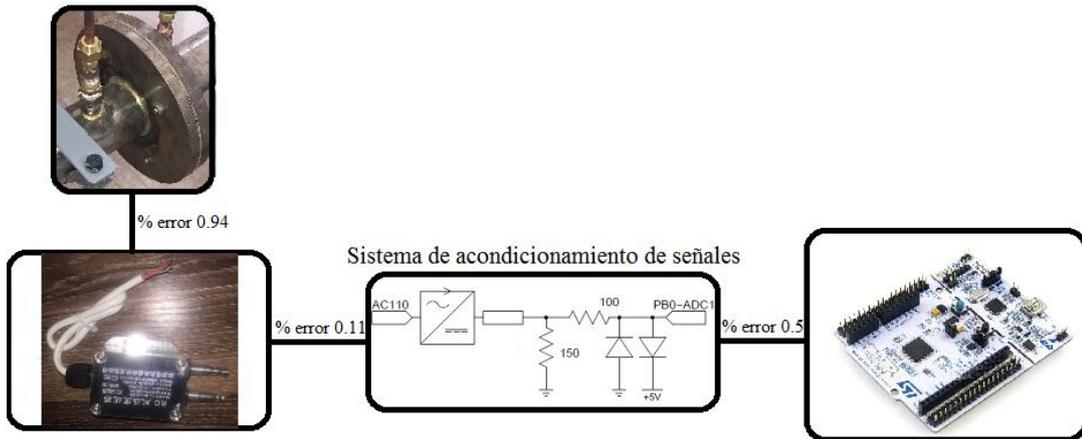


Figura 3. 14 Esquematzación de componentes presión diferencial
Fuente: Autor

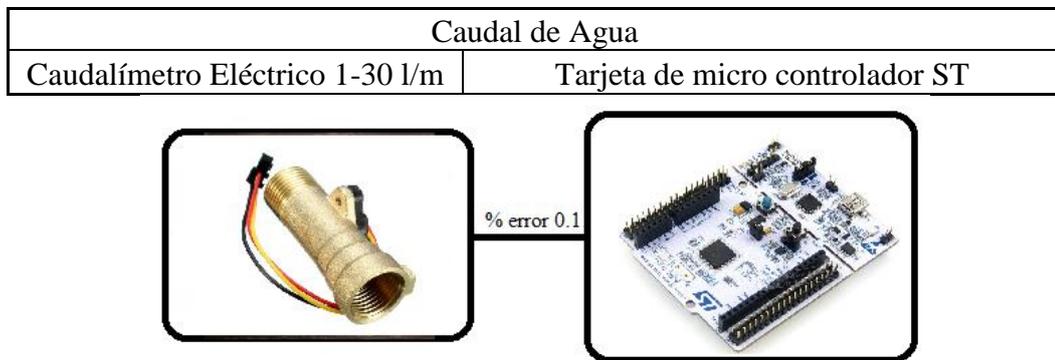


Figura 3. 15 Esquematzación de componentes caudal
Fuente: Autor

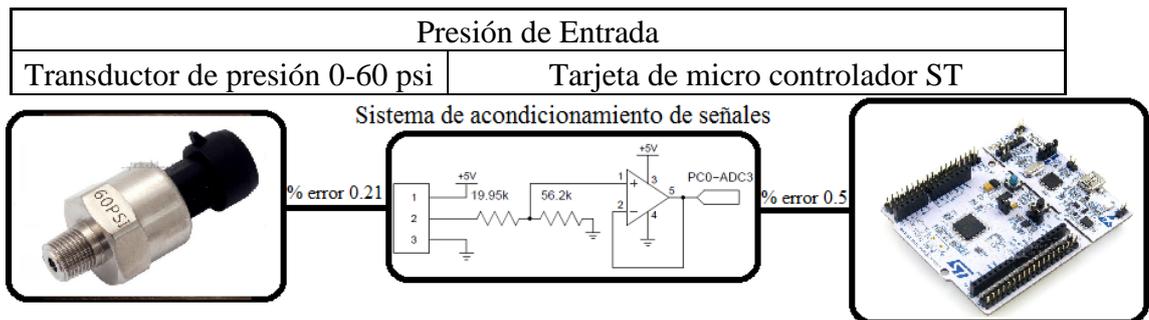


Figura 3. 16 Esquematzación de componentes presión freno entrada
Fuente: Autor



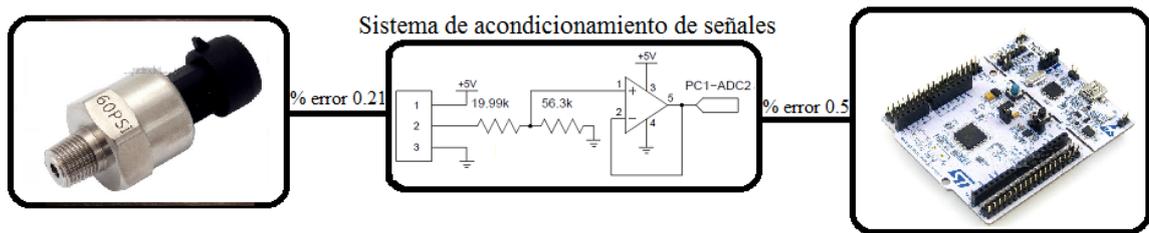


Figura 3. 17 Esquematación de componentes presión freno salida
Fuente: Autor

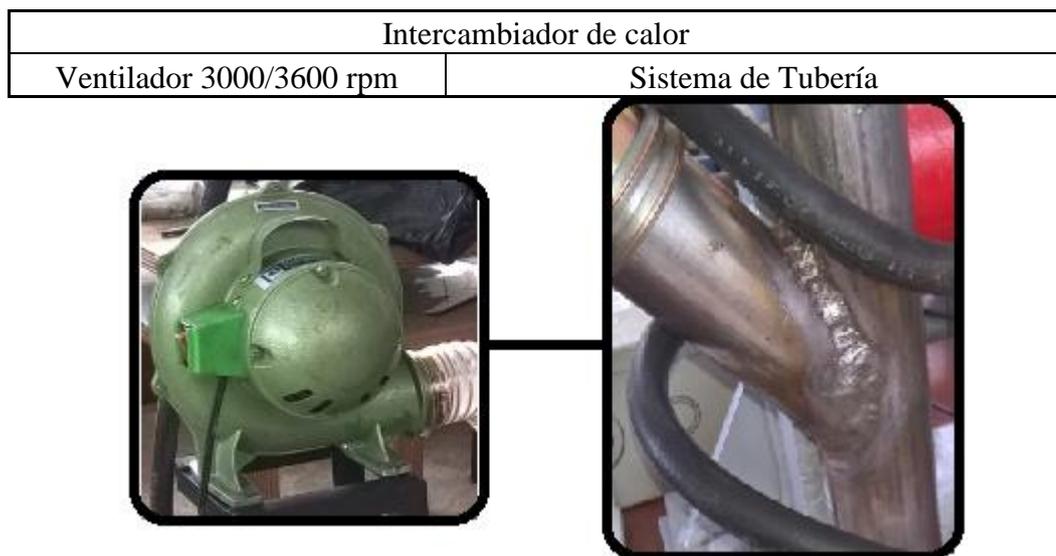


Figura 3. 18 Esquematación de componentes intercambiador de calor
Fuente: Autor

Incertidumbre de parámetros medidos

Se calcula el porcentaje de error unitario de cada uno de los sensores teniendo en cuenta el error dado por el fabricante, según se muestran los porcentajes en la tabla 3.4

Tabla 3. 4. Incertidumbre de parámetros medidos

INCERTIDUMBRE DE PARÁMETROS MEDIDOS				
MEDIDA	TIPO	RANGO	Er	Er*FS
Peso 1	Célula de carga 1kg	0 a 1150 [g]	± 0,11%	± 1,265 [g]
Peso 2	Célula de carga 2kg	0 a 2150 [g]	± 0,14%	± 3,01 [g]
Temperatura	Pt100 RTD	0 a +400 [°C]	± 0,64%	± 2,56 [°C]
Presión atmosférica	BME 280-3.3	T: 0 a + 65 [°C]	± 1,5%	± 1,0 [°C]
		HR: 20 a 80 [%HR]	± 5,0%	± 3 [%HR]
		Pat:300 a 1100 [hPa]	± 0,12%	± 1,0 [hPa]
RPM	HALL NJK-5002C	0 a 8500 [rpm]	± 0,35%	± 30 [rpm]

MEDIDA	TIPO	RANGO	Er	Er*FS
Presión diferencial	RG-130	0 a 3000 [Pa]	± 0,11%	± 3,3 [Pa]
Caudal de agua	Medidor de flujo eléctrico	1 a 30 [l/m]	± 0,10%	± 0,029 [l/m]
Presión1 freno	Transductor presión	0 a 413.685 [kPa]	± 0,21%	± 0.868 [kPa]
Presión2 freno	Transductor presión	0 a 413.685 [kPa]	± 0,21%	± 0,868 [kPa]

Fuente: Autor

PARÁMETROS DERIVADOS DE LAS MEDIDAS Y ESTIMACIÓN DE SU INCERTIDUMBRE

Con el objeto de calcular la incertidumbre de los parámetros de las medidas es necesario encontrar la derivación de la función parcial de cada uno de ellos deducida a continuación:

CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA DENSIDAD

$$\rho = \frac{P}{R * T} \quad (24)$$

Donde:

ρ : densidad del aire [Kg/m³]

P: presión atmosférica [N/m²]

R: constante del aire [Nm/Kg°K]

T: temperatura [°K]

Entonces:

$$\frac{d\rho}{\rho} = \sqrt{\left(\frac{dp}{p}\right)^2 + \left(\frac{dT}{T}\right)^2}$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = \sqrt{(0.0012)^2 + (0.015)^2}$$

$$\frac{d\rho}{\rho} = 0.015$$

CÁLCULO DE INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DEL CAUDAL

La incertidumbre en la medición del caudal másico del aire es fundamental, por lo que es un intervalo para el resultado de una medición que puede comprender el 95%

de la colocación de valores que se le pueden atribuir. Lo cual es de suma importancia mencionarlo porque de esta forma se aplican los requerimientos de la norma. [6]

$$\frac{d q_m}{q_m} = \sqrt{\left(\frac{dC}{C}\right)^2 + \left(\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}\right)^2 + \left(\frac{2\beta^4}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{dD}{D}\right)^2 + \left(\frac{2}{1-\beta^4}\right)^2 \left(\frac{dd}{d}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{d\Delta p}{p}\right)^2 + \frac{1}{4}\left(\frac{d\rho}{\rho_1}\right)^2} \quad (25)$$

Donde:

$\left(\frac{dC}{C}\right)$: Incertidumbre coeficiente de descarga = 0.5% para $0.2 \leq \beta \leq 0.6$

$\left(\frac{d\varepsilon}{\varepsilon}\right)$: Incertidumbre factor de expansibilidad = $3.5 \frac{\Delta p}{k P_1} \%$

$\left(\frac{dD}{D}\right)$: δD calibre de medida = 0.02 mm , $D = 48.3$ mm

$\left(\frac{dd}{d}\right)$: δd calibre de medida = 0.02 mm , $d = 16.7$ mm

Con todos los valores conocidos reemplazamos en la ecuación 25, para lo cual es de interés prioritario conservar los parámetros que aconseja la norma.

Donde:

$$\frac{d q_{m \text{ aire}}}{q_{m \text{ aire}}} = \sqrt{(0.005)^2 + (0.001)^2 + (0.0298)^2(4.14 * 10^{-4})^2 + (2.029)^2(1.19 * 10^{-3})^2 + \frac{1}{4}(0.0011)^2 + \frac{1}{4}(0.015)^2}$$

$$\frac{d q_{m \text{ aire}}}{q_{m \text{ aire}}} = \sqrt{8.838 * 10^{-5}}$$

$$\frac{d q_{m \text{ aire}}}{q_{m \text{ aire}}} = 0.0094$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DEL PAR

$$\text{Par} = F * d \quad (26)$$

Donde:

Par: par motor [Nm]

F: fuerza [N]

d: distancia [m]

Entonces:

$$\frac{dPar}{Par} = \sqrt{\left(\frac{dF}{F}\right)^2 + \left(\frac{dd}{d}\right)^2}$$
$$\frac{dPar}{Par} = \sqrt{(0.0014)^2 + (0.0034)^2}$$
$$\frac{dPar}{Par} = 0.0036$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA POTENCIA MOTOR

$$Pot\ m = Par * n \quad (27)$$

Donde:

Pot m: potencia motor [KW]

Par: par motor [Nm]

n: velocidad [rps]

$$\frac{dPot\ m}{Pot\ m} = \sqrt{\left(\frac{dPar}{Par}\right)^2 + \left(\frac{dn}{n}\right)^2}$$
$$\frac{dPot\ m}{Pot\ m} = \sqrt{(0.0036)^2 + (0.0035)^2}$$
$$\frac{dPot\ m}{Pot\ m} = 0.005$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA POTENCIA DEL FRENO

$$Pot\ f = q_{agua} * (P1 - P2) \quad (28)$$

Donde:

Pot f: potencia al freno [KW]

q_{agua} : caudal de agua [l/min]

P1-P2: variación de presión [Kpa]

$$\frac{d\text{Pot } f}{\text{Pot } f} = \sqrt{\left(\frac{dq_{\text{agua}}}{q_{\text{agua}}}\right)^2 + \left(\frac{dP1 - P2}{P1 - P2}\right)^2}$$

$$\frac{d\text{Pot } f}{\text{Pot } f} = \sqrt{(0.001)^2 + (0.0021)^2}$$

$$\frac{d\text{Pot } f}{\text{Pot } f} = 0.0023$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA DEL FRENO

$$n_f = \frac{\text{Pot } f}{\text{Pot } m} \quad (29)$$

Donde:

n_f : eficiencia freno [%]

$$\frac{dn_f}{n_f} = \sqrt{\left(\frac{d\text{Pot } f}{\text{Pot } f}\right)^2 + \left(\frac{d\text{Pot } m}{\text{Pot } m}\right)^2}$$

$$\frac{dn_f}{n_f} = \sqrt{(0.0023)^2 + (0.005)^2}$$

$$\frac{dn_f}{n_f} = 0.0055$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA VOLUMÉTRICA

$$n_{\text{vol}} = \frac{q_{\text{vol real}}}{q_{\text{idel}}} \quad (30)$$

$$n_{\text{vol}} = \frac{q_{\text{m aire}}/\rho}{V_h * \text{rps}/2/60}$$

Donde:

n_{vol} : eficiencia volumétrica [%]

q_m aire: caudal másico de aire [Kg/s]

ρ : densidad aire [Kg/m³]

Vh: cilindrada [m³]

n: velocidad [rps]

$$\frac{dn_{vol}}{n_{vol}} = \sqrt{\left(\frac{dq_m \text{ aire}}{q_m \text{ aire}}\right)^2 + \left(\frac{d\rho}{\rho}\right)^2 + \left(\frac{dn}{n}\right)^2}$$

$$\frac{dn_{vol}}{n_{vol}} = \sqrt{(0.0094)^2 + (0.015)^2 + (0.0035)^2}$$

$$\frac{dn_{vol}}{n_{vol}} = 0.018$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA ESTEQUIOMETRÍA

$$\text{Esteq} = \frac{\dot{m}_{\text{aire}}/14.7}{\dot{m}_{\text{comb}}} \quad (31)$$

Donde:

Esteq: estequiometria [%]

\dot{m}_{aire} : masa de aire [Kg]

\dot{m}_{comb} : masa de combustible [Kg]

$$\frac{d\text{Esteq}}{\text{Esteq}} = \sqrt{\left(\frac{d\dot{m}_{\text{aire}}}{\dot{m}_{\text{aire}}}\right)^2 + \left(\frac{d\dot{m}_{\text{comb}}}{\dot{m}_{\text{comb}}}\right)^2}$$

$$\frac{d\text{Esteq}}{\text{Esteq}} = \sqrt{(0.0094)^2 + (0.0011)^2}$$

$$\frac{d\text{Esteq}}{\text{Esteq}} = 0.0094$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DEL CALOR PRIMARIO

$$Q_{\text{prim}} = m_{\text{comb}} * P_{\text{CI}} \quad (32)$$

Donde:

Q_{prim} : calor primario [KW]

m_{comb} : masa de combustible [Kg]

P_{CI} : Poder calorífico inferior = 55000, calor en kJ al quemar 1kg de combustible

$$\frac{dQ_{prim}}{Q_{prim}} = \sqrt{\left(\frac{dm_{comb}}{m_{comb}}\right)^2}$$

$$\frac{dQ_{prim}}{Q_{prim}} = \sqrt{(0.0011)^2}$$

$$\frac{dQ_{prim}}{Q_{prim}} = 0.0011$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE EN LA MEDICIÓN DE LA EFICIENCIA MOTOR

$$n_{motor} = \frac{Pot\ m}{Q_{prim}} \quad (33)$$

Donde:

n_{motor} : eficiencia motor [%]

Pot m: potencia motor [KW]

Q_{prim} : calor primario [KW]

$$\frac{dn_{motor}}{n_{motor}} = \sqrt{\left(\frac{dPot\ m}{Pot\ m}\right)^2 + \left(\frac{dQ_{prim}}{Q_{prim}}\right)^2}$$

$$\frac{dn_{motor}}{n_{motor}} = \sqrt{(0.005)^2 + (0.0011)^2}$$

$$\frac{dn_{motor}}{n_{motor}} = 0.0051$$

CÁLCULO DE LA INCERTIDUMBRE DEL CAUDAL MÁSIICO DE COMBUSTIBLE

$$q_{combustible} = \frac{m_{combustible,t} - m_{combustible,t0}}{t - t0} \quad (34)$$

Donde:

$q_{combustible}$: caudal de combustible [Kg/s]

$m_{\text{combustible}}$: masa combustible [Kg]

t: tiempo [s]

Entonces:

$$\frac{dq_{\text{combustible}}}{q_{\text{combustible}}} = \sqrt{\left(\frac{dm_{\text{combustible}}}{m_{\text{combustible}}}\right)^2}$$

$$\frac{dq_{\text{combustible}}}{q_{\text{combustible}}} = \sqrt{(0.0011)^2}$$

$$\frac{dq_{\text{combustible}}}{q_{\text{combustible}}} = 0.0011$$

En la tabla 3.5 se muestran los valores de las incertidumbres de los parámetros calculados.

INCERTIDUMBRE DE PARÁMETROS CALCULADOS

Tabla 3. 5. Incertidumbre de parámetros calculados

INCERTIDUMBRE DE PARÁMETROS CALCULADOS			
MEDIDA	RANGO	Er	Er* FS
Densidad	0,309 a 1,403 [Kg/m ³]	± 0,015	± 0,016 [Kg/m ³]
Caudal másico aire	0 a 0.0123 [Kg/s]	± 0,0094	± 0.00012 [Kg/s]
Par	0 a 6,116 [Nm]	± 0,0036	± 0,022 [Nm]
Potencia motor	0 a 5,444 [KW]	± 0,005	± 0,027 [KW]
Potencia freno	0 a 0.2068 [KW]	± 0,0023	± 0.000048 [KW]
Eficiencia freno	0 a 200 [%]	± 0,0055	± 1.1 [%]
Eficiencia volumétrica	0 a 200 [%]	± 0,018	± 3.6 [%]
Estequiometria	0 a 200 [%]	± 0,0094	± 1,88 [%]
Calor primario	0 a 181,885 [KW]	± 0,0011	± 0,2 [KW]
Eficiencia motor	0 a 200[%]	± 0.0051	± 1.02 [%]
Caudal másico comb.	0 a 1150 [g]	±0.0011	± 1.265 [g]

Fuente: Autor

3.3 IMPLEMENTACIÓN INFORMÁTICA

Con el objeto de discutir los procesos que conllevan la interfaz en condiciones de funcionamiento se presentan a continuación diagramas de programación, los mismos que hacen posible la interfaz generada para los parámetros expuestos.

En la figura 3.19 y 3.20 se puede observar la implementación de programación. Las funciones: (función¹, función², función³) se encuentran definidas en el catálogo del

sensor en el Anexo E. en la figura 3.19 se muestra la configuración periférica del sistema, mientras que en la figura 3.20 se muestra las lecturas USART de condición El ADC promedia los datos cada 160000 muestras, aproximadamente 0.5s de tiempo de adquisición. La resolución del ADC es de 12bits. Según la ecuación 11 el aumento de resolución debido al sobremuestreo y promedio es de 20.6bit.

El microcontrolador manda los datos a través de puerto serie con una frecuencia de 0.5 Hz.

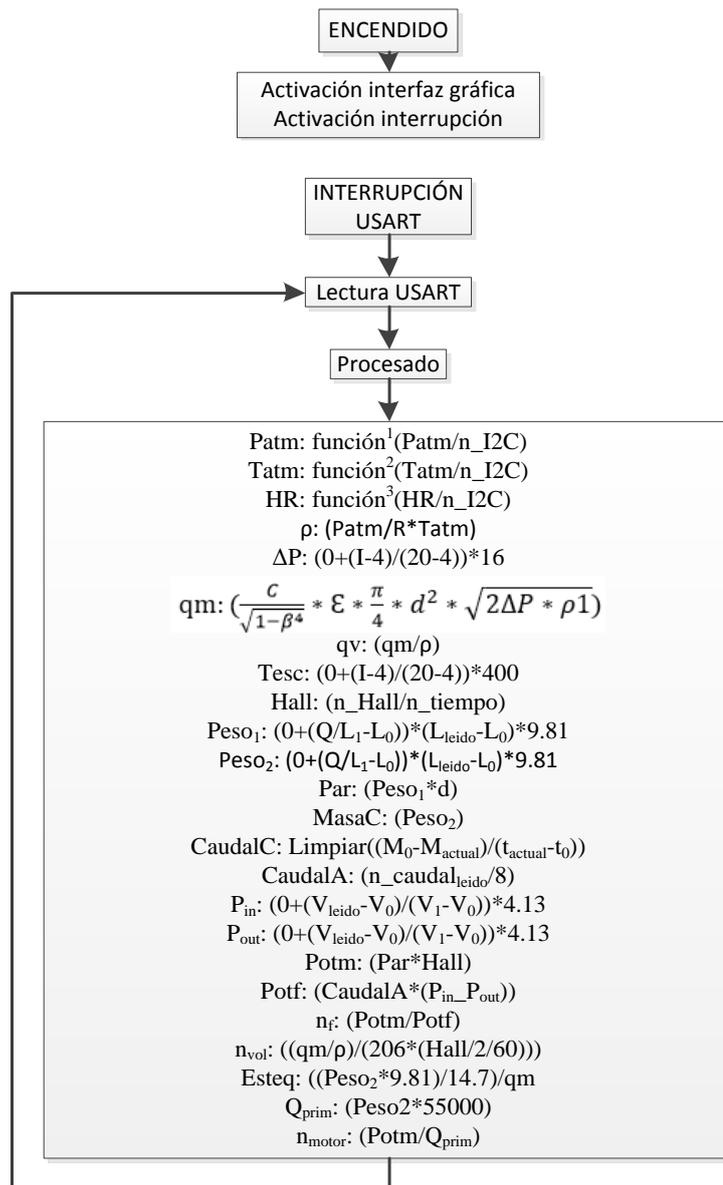


Figura 3. 19 Interfaz gráfica valores y variables.
Fuente: Autor

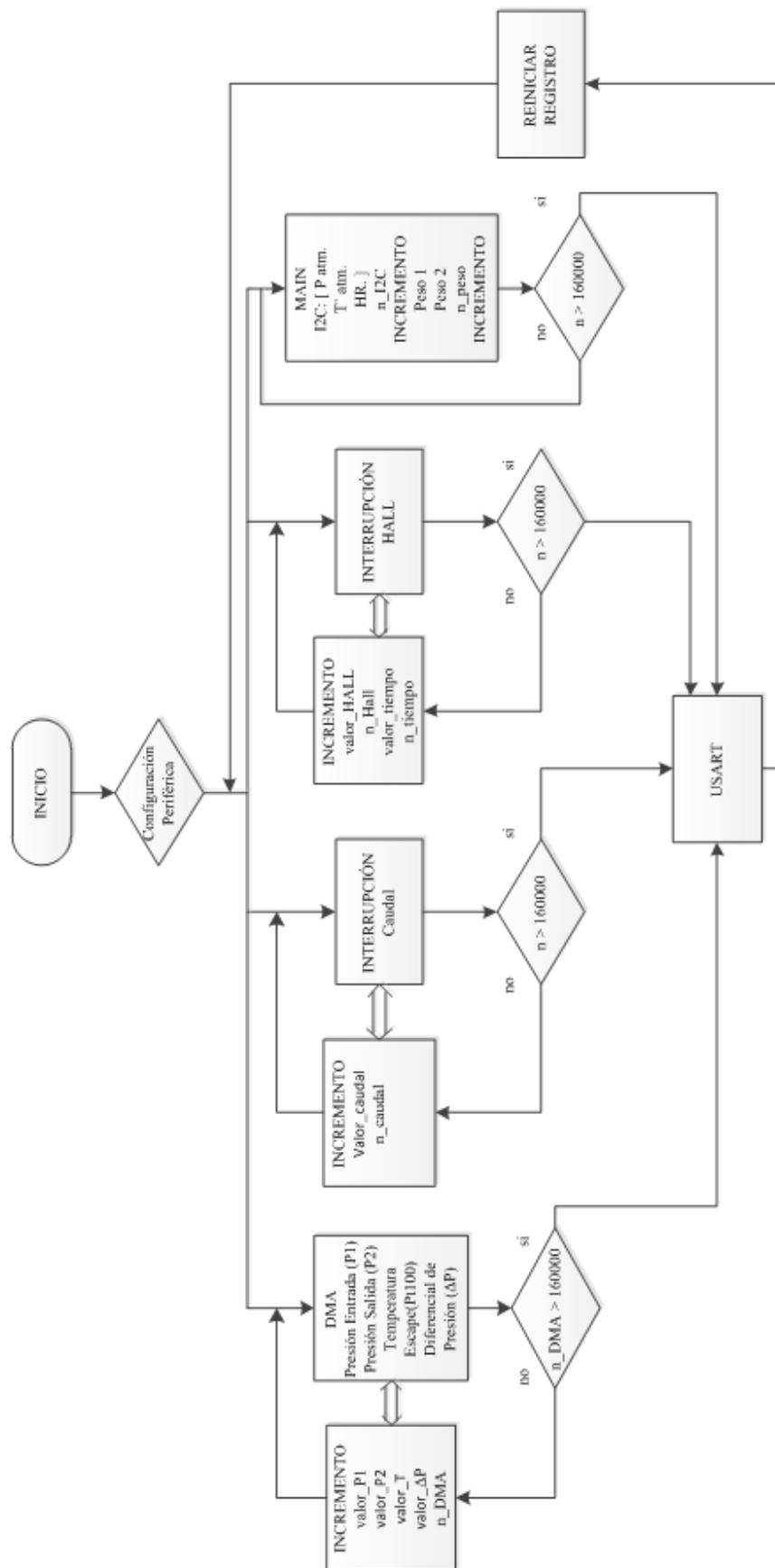


Figura 3. 20 Programación STM32
Fuente: Autor

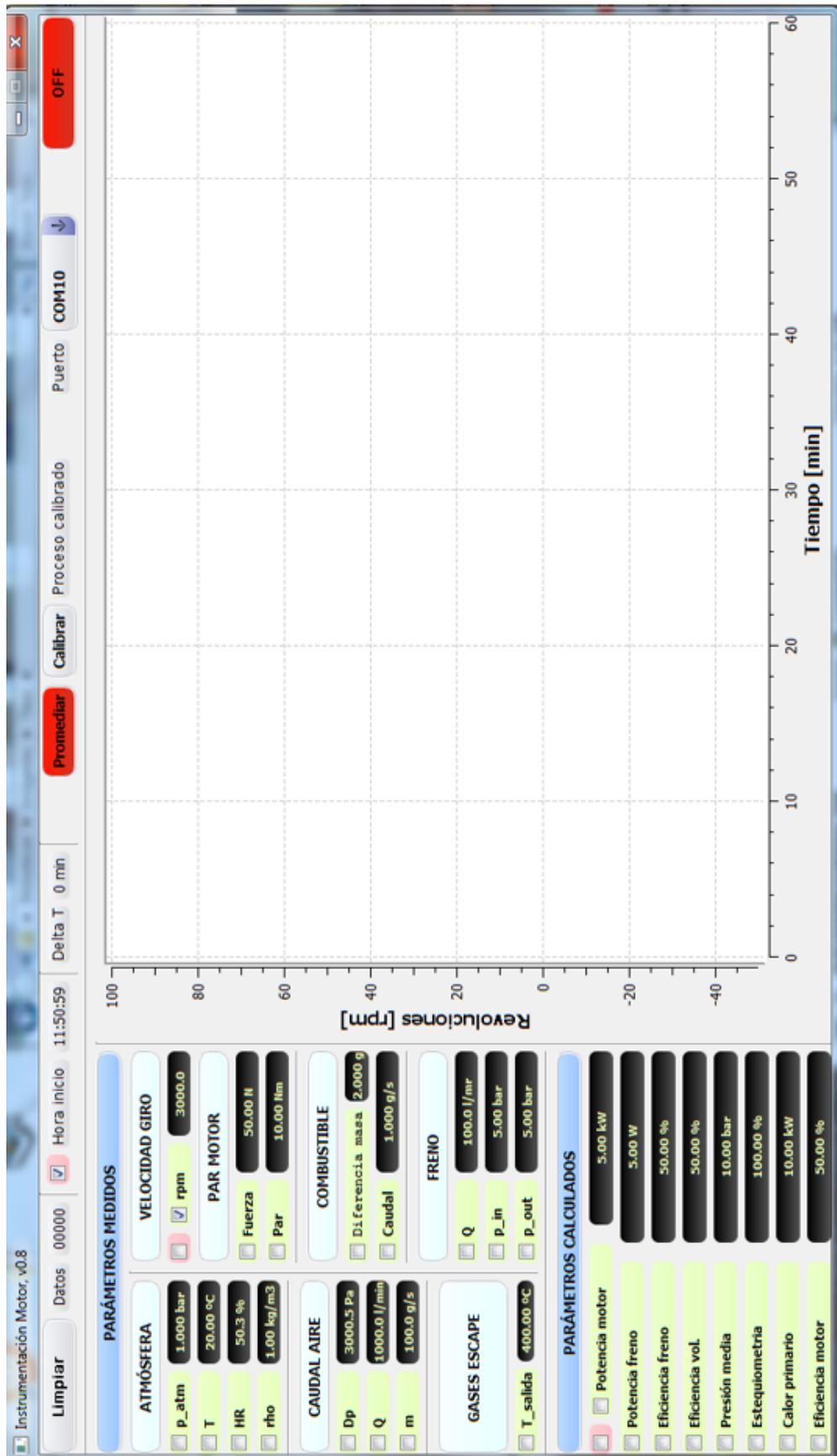


Figura 3. 21 Interfaz Digital

Fuente: Autor

En la interfaz digital que se muestra en la figura 3.21 se presenta la esquematización de los parámetros de funcionamiento del banco de pruebas actual.

En la parte superior se muestran los parámetros medidos y en la parte inferior se muestran los parámetros calculados, en la parte derecha de la figura se van construyendo las curvas en función de cualquier parámetro del esquema que se requiera visualizar. La interfaz gráfica se programó mediante la librería QT versión 5.4.

3.4 MEDIDAS EXPERIMENTALES

Con objeto de analizar los datos obtenidos en el banco de pruebas se realizan mediciones para cada caso de trabajo según la siguiente descripción:

- *Paso de caudal de agua hacia el freno hidráulico sin oposición a la salida de este.*
- *Paso de caudal de agua hacia el freno hidráulico con oposición a la salida de este.*
- *Rango de velocidades de: 1700, 1900, 2100, 2300, 2500, 2700, 3100 (rpm), para cada una de las condiciones anteriores.*

Para cada uno de los casos se toma una muestra de datos aproximadamente por cinco minutos, fijando el par motor y variando la velocidad (rpm), de acuerdo al rango mostrado con anterioridad.

La modificación de la velocidad introduce un transitorio en el sistema. Para establecer un criterio para tomar el estacionario se analiza un caso típico.

ANÁLISIS DEL TRANSITORIO DE MEDICIONES CASO 3

En el análisis del transitorio de mediciones se muestran varios parámetros medidos con respecto al tiempo.

Para este caso se ha tomado un muestreo a una velocidad de 1900 rpm.

Se analizan los datos medidos por el sistema durante un tiempo aproximado de cinco minutos. En este caso la oposición opuesta al freno es mínimo, ya que las válvulas se encuentran completamente abiertas.

En la figura 3.22 se muestra la velocidad con respecto al tiempo.

Se puede visualizar que existe una desviación en los puntos de medida comprendida en un rango de ± 30 rpm, de acuerdo al estudio de incertidumbres realizado para el sensor de efecto Hall que se muestra en la tabla 3.4. Para lo cual se hace una promediación entre los puntos altos y bajos para refinar las curvas generadas en la interfaz.

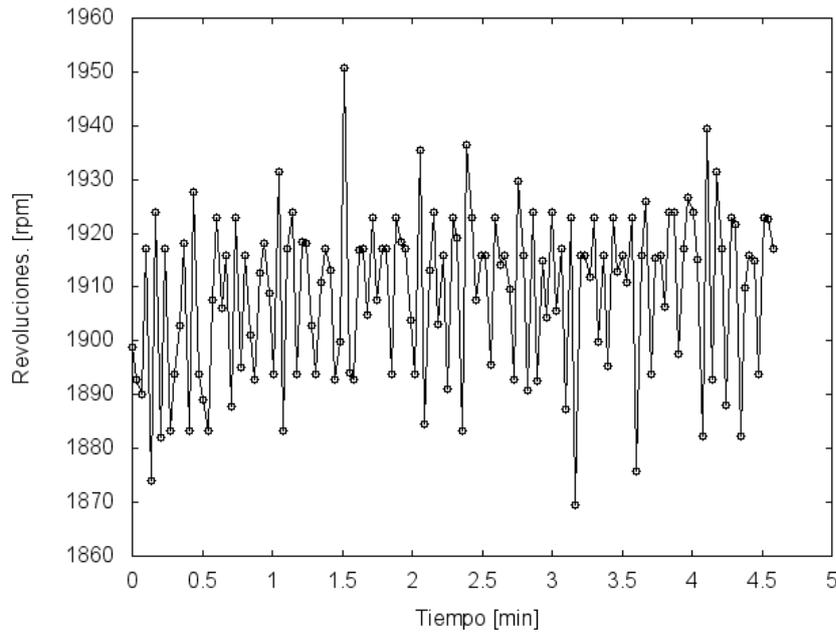


Figura 3. 22 Revoluciones vs Tiempo
Fuente: Autor

De acuerdo con la figura 3.23 se muestra el consumo de combustible, dicha medida se realiza restando la masa actual de combustible menos la masa en un tiempo de referencia dividido entre la diferencia de dichos tiempos, de acuerdo se muestra en la ecuación 34.

Se puede observar que a partir del primer minuto el caudal de combustible permanece constante, lo que indica que se ha llegado al estado estacionario.

Por lo que a condiciones establecidas de velocidad de 1900 rpm respectivamente tenemos un consumo de 0.08 Kg/s.

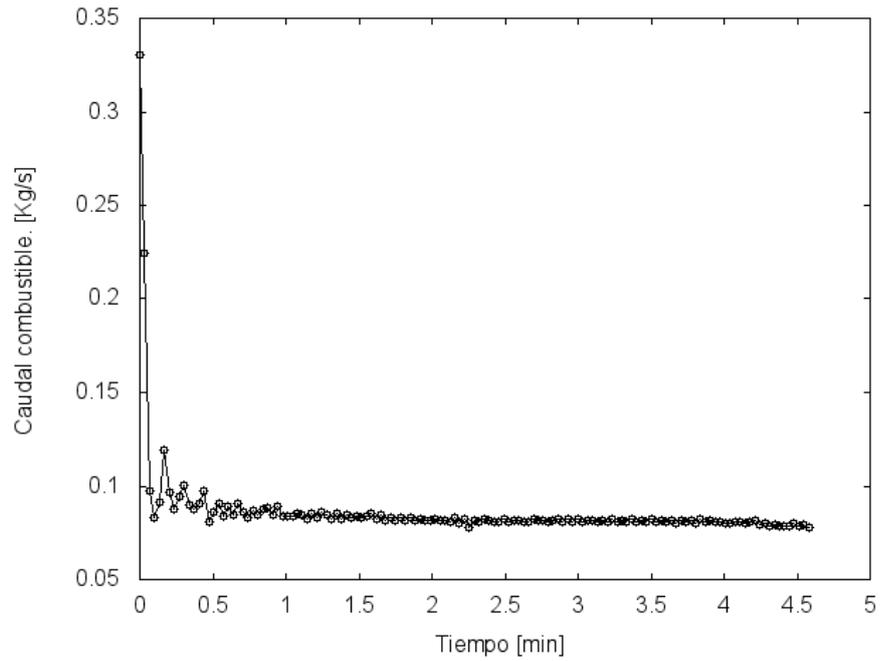


Figura 3. 23 Caudal de combustible vs Tiempo
Fuente: Autor

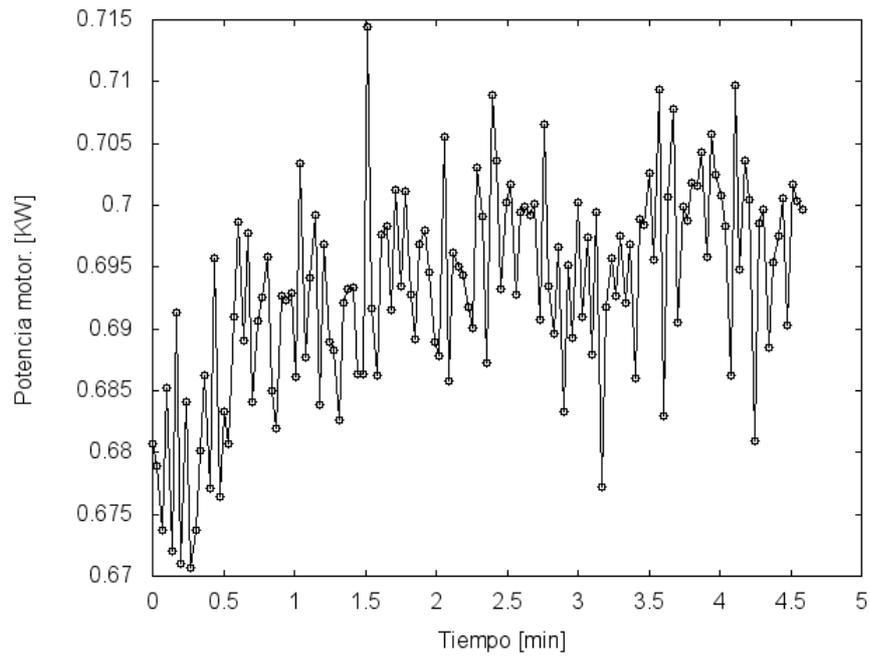


Figura 3. 24 Potencia motor vs Tiempo
Fuente: Autor

Para la potencia motor, figura 3.24, se genera un desfase muy pequeño la cual se encuentra entre 0.685 y 0.705 [KW] en condiciones de velocidad de 1990 rpm.

De acuerdo a las figuras 3.22 a 3.24 se concluye que a partir del primer minuto de medida los parámetros permanecen constantes y acotados dentro del error establecido en el apartado anterior. Por lo que se ha establecido para tomar el estado estacionario el promedio

de las últimas veinte medidas que se corresponden con un espacio temporal de 40 segundos, ya que la tasa de refresco de datos es de 0.5 Hz según se detalló en el apartado anterior.

ANÁLISIS DE GRÁFICAS GENERADAS POR LA INTERFAZ

La interfaz internamente calcula varios parámetros medidos, dando varias graficas con el objeto de analizar cada una de ellas. Se promedian las muestras de mayor a menor dando una curva más pronunciada.

A medida que se va efectuando una práctica es de suma importancia variar los parámetros cada cierto periodo de tiempo para lo cual se varia las revoluciones del motor para observar la dependencia que se genera con otros parámetros.

En la figura 3.25 se presenta una curva generada por el par motor con respecto a las revoluciones del motor.

Se observa que a medida se va incrementando las revoluciones del sistema el par motor va aumentando de forma directa y proporcional a las rpm, la desproporción pequeña que se observa en la curva se debe al transitorio del sistema a medida que se acelera se inyecta combustible al carburador y hasta que se genere un equilibrio ocurre una inconsistencia ínfima en los valores curva.

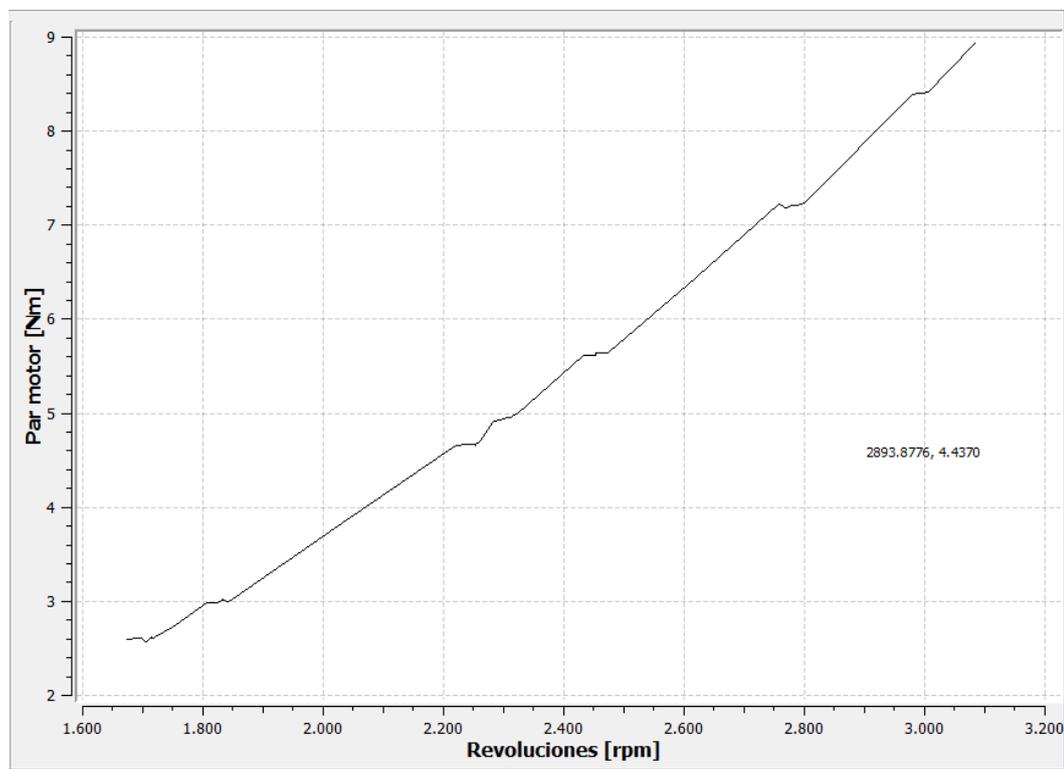


Figura 3. 25 Par motor vs rpm

Fuente: Autor

En la figura 3.26 se muestra la potencia motor con respecto a las revoluciones

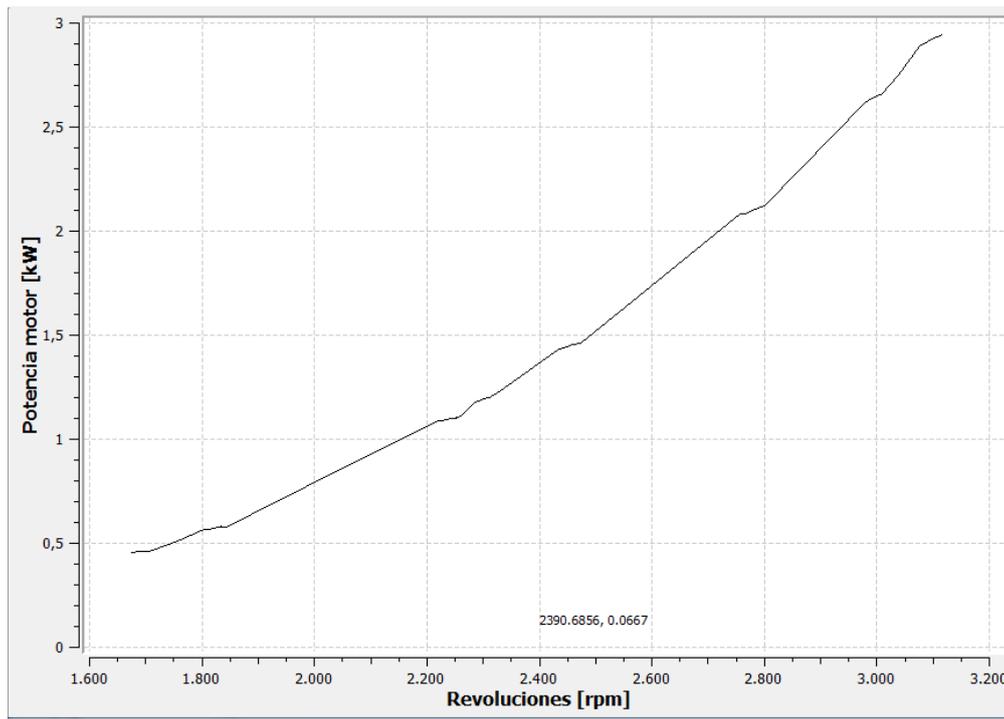


Figura 3. 26 Potencia motor vs rpm
Fuente: Autor

En la figura 3.27 se presenta la eficiencia volumétrica con respecto a las revoluciones, la eficiencia volumétrica supera al 100% porque existe un traslape de válvulas en la admisión, esto quiere decir que admite más aire que combustible.

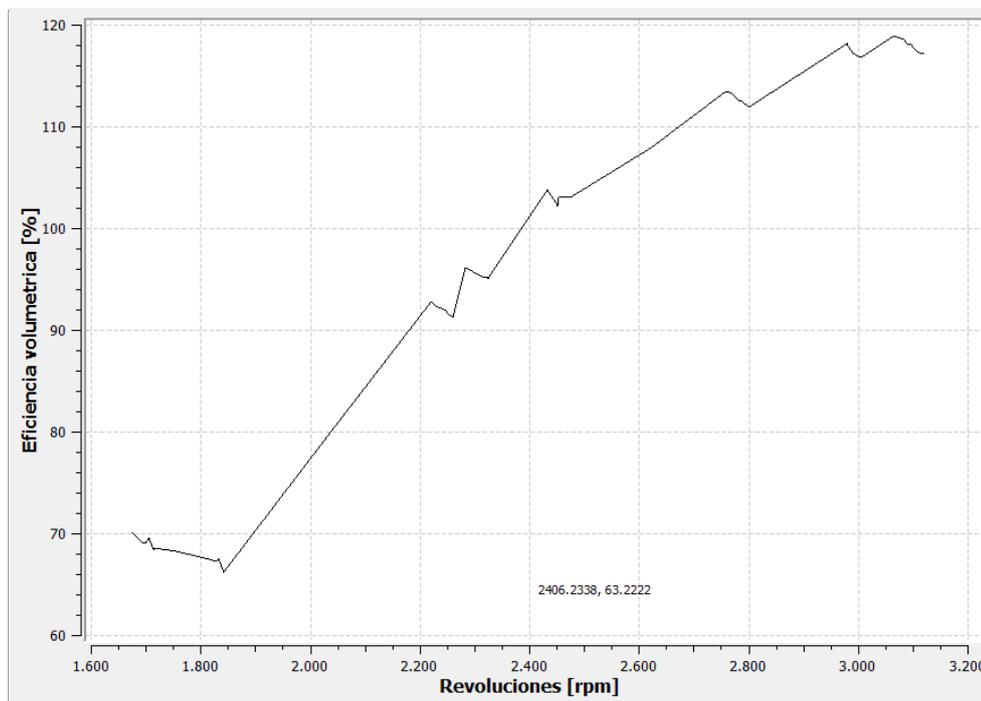


Figura 3. 27 Eficiencia volumétrica vs rpm
Fuente: Autor

En la figura 3.28 se muestra la presión media con respecto a las revoluciones.

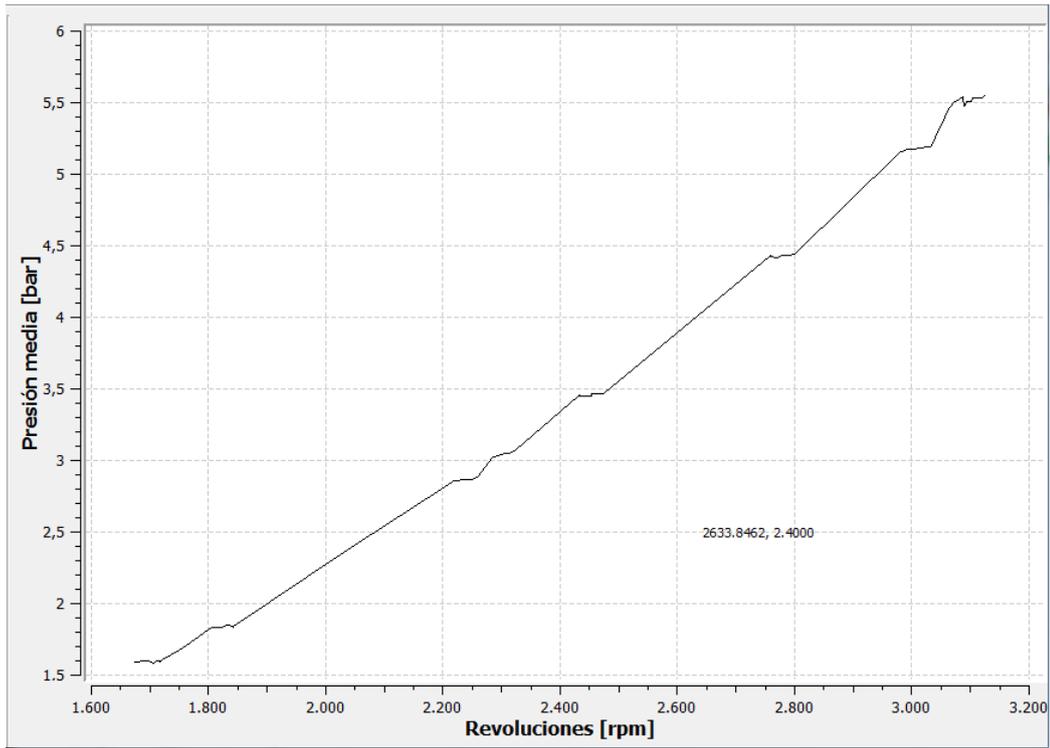


Figura 3. 28 Presión media vs rpm
Fuente: Autor

En la figura 3.29 se muestra la eficiencia motor con respecto a las revoluciones,

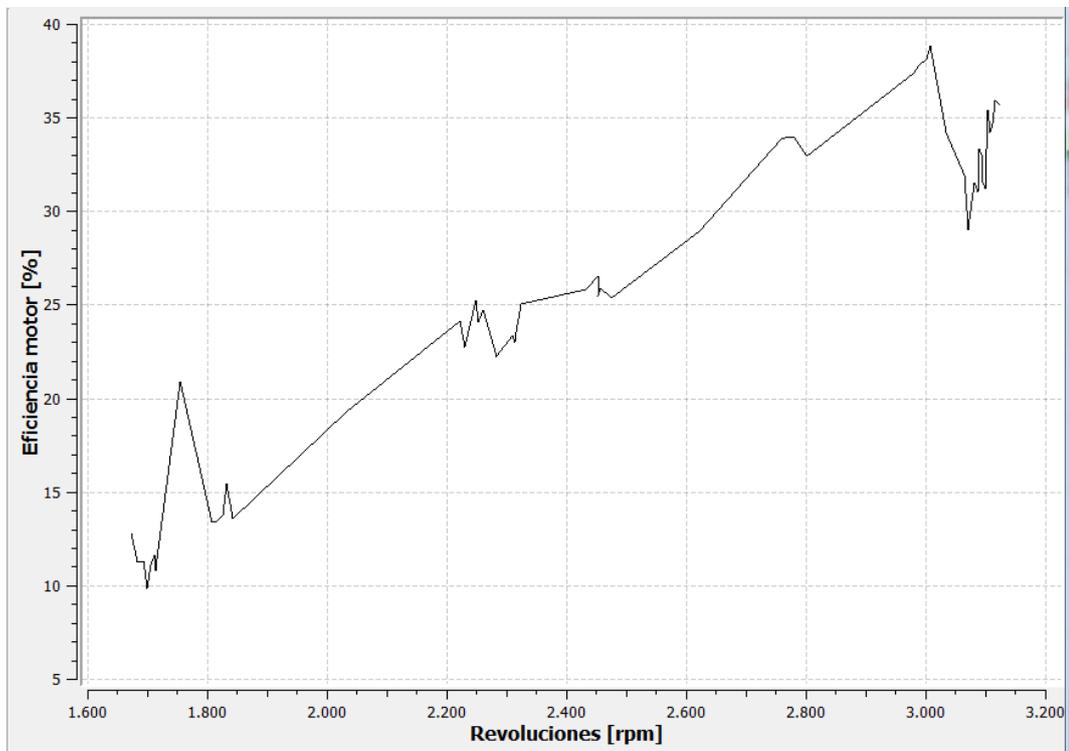


Figura 3. 29 Eficiencia motor vs rpm
Fuente: Autor

Se observan picos altos y bajos esto se debe al transitorio que al aumentar las rpm se debe esperar un tiempo prudencial para que se genere equilibrio en la medición, por más que se aumente las rpm la eficiencia llega a un punto donde en vez de aumentar decrece.

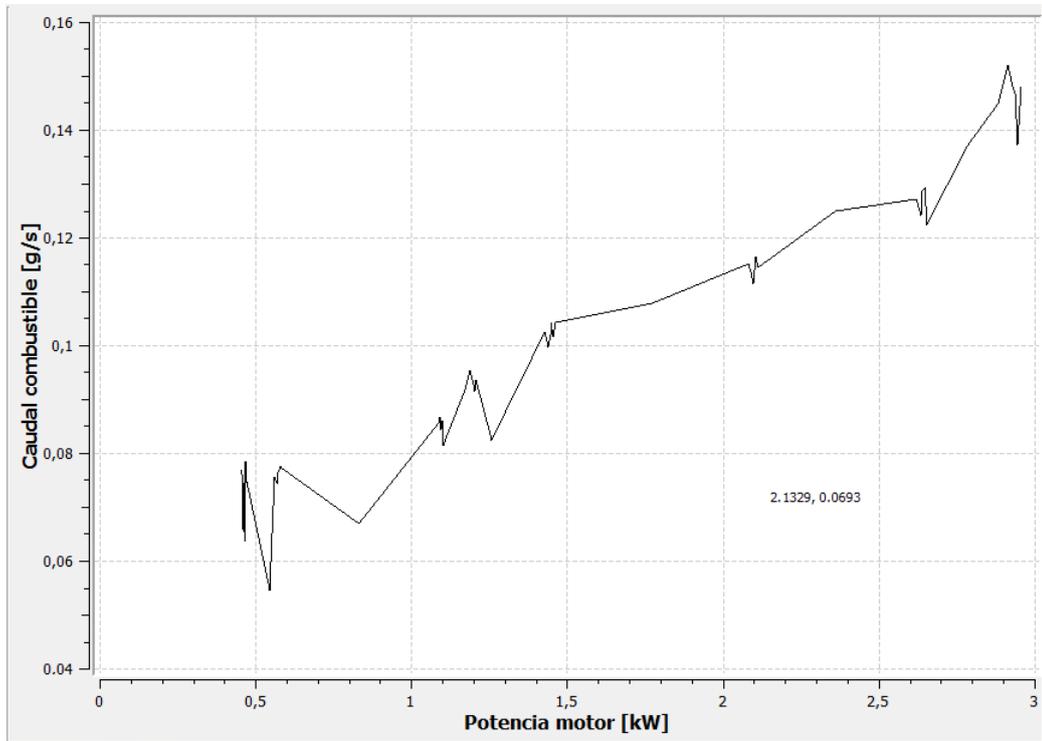


Figura 3. 30 Caudal combustible vs Potencia motor
Fuente: Autor

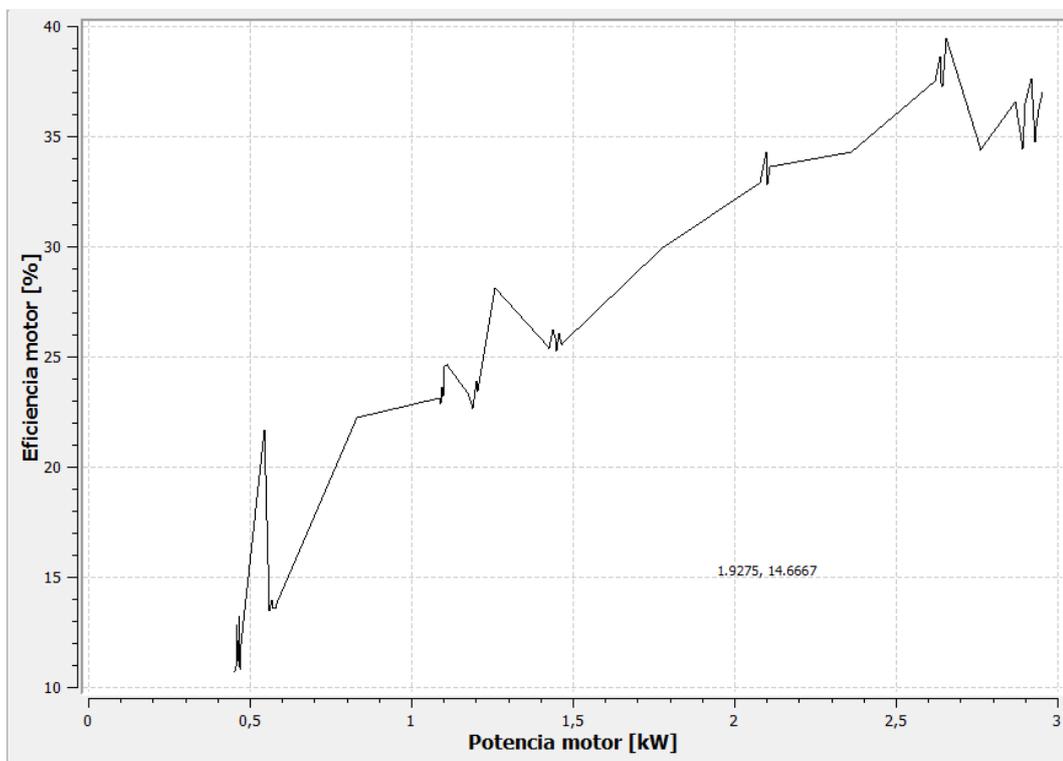


Figura 3. 31 Eficiencia motor vs Potencia motor
Fuente: Autor

En la figura 3.30 se muestra el caudal de combustible con respecto a la potencia motor, en ella se muestra como el consumo de combustible va en aumento mientras se aumenta la potencia motor, los picos altos y bajos se dan por el transitorio del paso de caudal de combustible, cuando se aumenta las revoluciones hasta que exista un equilibrio en el proceso el gasto tendrá un desequilibrio hasta encontrar su estacionario.

En la figura 3.31 se presenta una curva característica de la eficiencia motor con respecto a la potencia motor, al igual que el caso anterior los picos se dan por el transitorio del sistema, por más potencia que se le admita al motor la eficiencia no sube al contrario comienza a disminuir, dando su potencia máxima antes de ello.

ANÁLISIS DE MEDICIONES PONDERADAS

Con objeto de analizar las mediciones de los datos ponderados se toman las últimas veinte mediciones mostradas en el Anexo H, a partir de las cuales se generan las gráficas 3.32 a 3.35. Esto se lo realiza utilizando la base de datos de la interfaz sacando el promedio de cada caso y graficando con gnuplot 5.0 patchlevel 5.

Se han analizado cuatro curvas correspondientes a Par motor y Potencia motor vs Velocidad, Consumo y Eficiencia vs Potencia motor y Eficiencia volumétrica vs Velocidad.

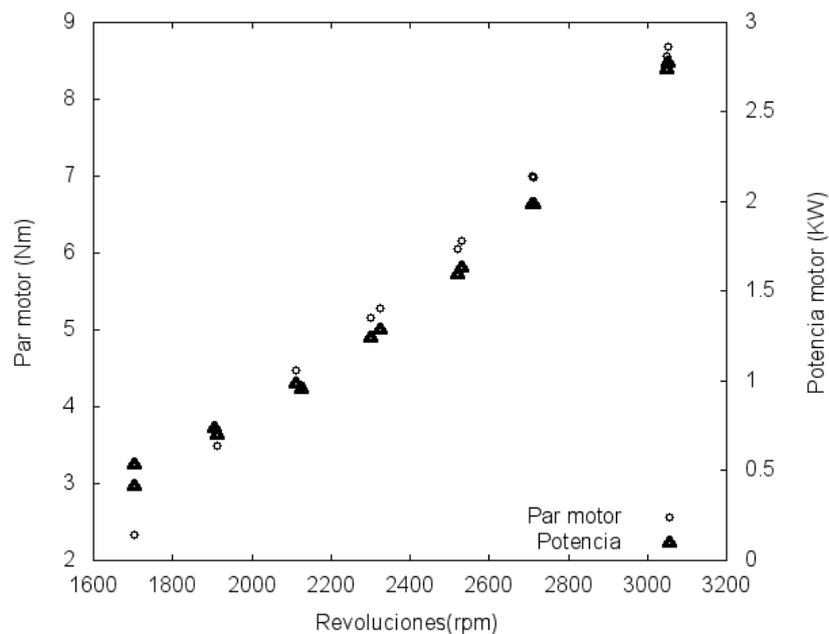


Figura 3. 32 Par motor y Potencia motor vs rpm

Fuente: Autor

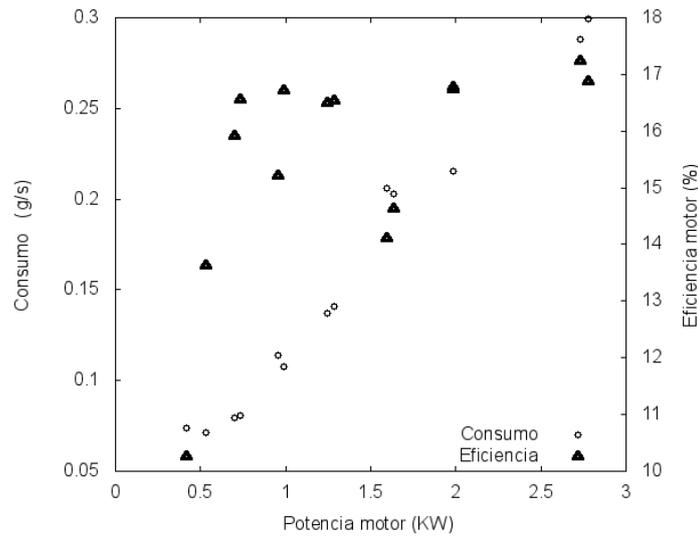


Figura 3. 33 Consumo vs Potencia
Fuente: Autor

Se puede concluir lo siguiente:

- De la figura 3.32 se deduce que el par y la potencia motor son proporcionales a la velocidad de giro, no notándose diferencia entre los casos a par mínimo y par máximo. Lo que indica que el freno hidráulico funciona como una carga lineal independientemente de su configuración.
- El consumo de combustible es proporcional a la potencia motor, de acuerdo a la figura 3.33. Dicha proporción se corresponde con una eficiencia motor constante a lo largo de todo el rango de trabajo, excepto para bajas potencias.
- La eficiencia obtenida con un valor promedio de 16% se encuentra bajo la eficiencia teórica de un ciclo Otto típicamente del 30%.
- En la figura 3.34 se muestra la eficiencia volumétrica con respecto a la velocidad. Curiosamente la eficiencia volumétrica a altas velocidades es superior a 100%. Este fenómeno puede ocurrir con un traslape de válvula o cruce de válvula elevado, debido a la inercia del aire en el colector de admisión que provoca un barrido completo del aire en el pistón en el corto intervalo de tiempo existente en el cruce de válvulas. El exceso de aire del ambiente hace un barrido completo de gases de escape.

Se puede demostrar esto de la siguiente forma:

$$qm_{aire} = \rho * A * V \quad (34)$$

Donde:

$q_{m_{aire}}$: caudal másico de aire (punto más alto) [Kg/s]

ρ : densidad del aire [Kg/m³]

A: área de la sección circular de ingreso del carburador [m²]

V: velocidad del aire [m/s]

$$V = \frac{q_{m_{aire}}}{\rho * A}$$

$$V = \frac{0.00539 * 4}{0.875 * \pi * 0.012^2}$$

$$V = 54.466 \text{ m/s}$$

La inercia del aire a la velocidad de 54 m/s podría explicar la eficiencia volumétrica por encima de 100%. El objeto del desarrollo de un modelo matemático o simulación CFD para un estudio más detallado de este fenómeno se encuentra fuera del alcance del presente estudio

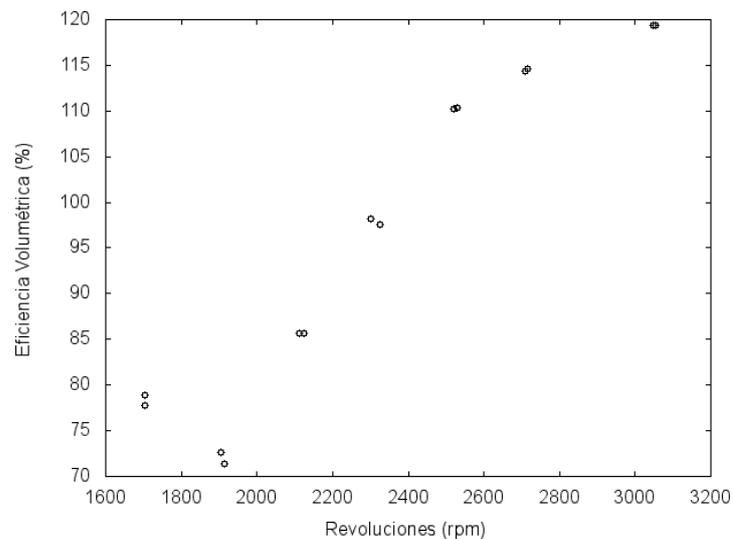


Figura 3. 34 Eficiencia volumétrica vs rpm
Fuente: Autor

COMPARACIÓN CON CURVAS DE FABRICANTE

Junto con los datos medidos y analizados anteriormente se ha incluido la superposición de las curvas par motor y potencia motor proporcionada por el fabricante con las obtenidas en el presente estudio.

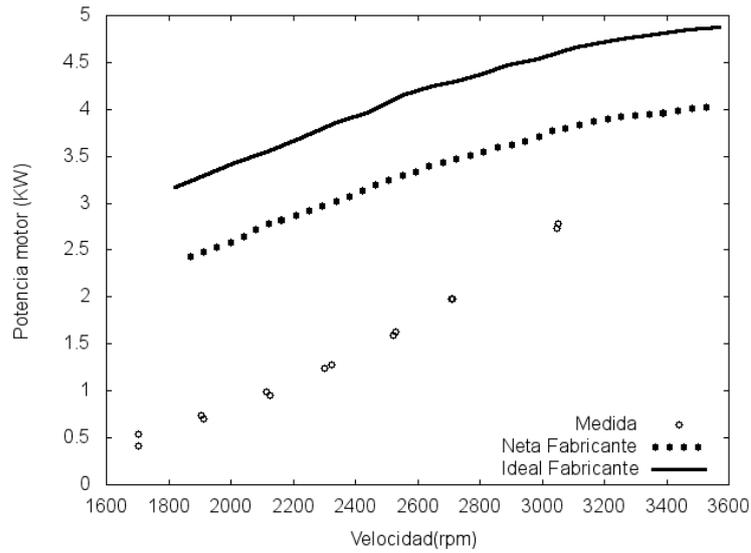


Figura 3. 35 Comparación mediciones autor vs fabricante
Fuente: Autor

En condiciones de análisis de datos del banco de pruebas se puede observar en la figura 3.35 y 3.36 que las curvas dadas por el fabricante son la neta e ideal. Se puede comprobar que las curvas dadas por el fabricante siempre están por encima de las obtenidas experimentalmente debido a que la resistencia ofrecida por el freno no es capaz de llevar al motor a sus condiciones límites de operación. Lo cual confirma lo observado en la figura 3.32, en que el par variaba con la velocidad independientemente con el freno hidráulico.

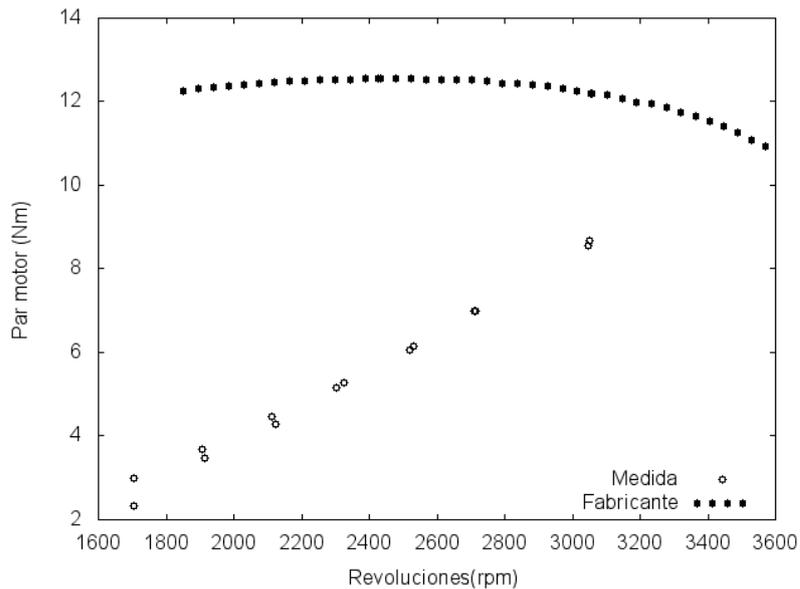


Figura 3. 36 Comparación de medición par vs velocidad con fabricante
Fuente: Autor

3.5 PRESUPUESTO

Tabla 3. 6. Presupuesto

PRESUPUESTO					
N°- Elementos	Tipo	Rango	Cantidad	Precio Unitario	Total (usd)
1	Célula de carga	1 [Kg]	2	7,5	15
2	Célula de carga	2 [Kg]	1	9	9
3	Pt100 RTD	(-50) a 400 [°C]	1	10	10
4	Transmisor Pt100	0 a 400 [°C]	1	8	8
5	BME 280 3,3	T: 0 a 65 [°C] HR: 20 a 80 [%] p atm:300 a 1100 [hPa]	2	5	10
6	HALL NJK-5002C	0 a 8500 [rpm]	2	3,5	7
7	RG-130	0 a 3000 [Pa]	1	100	100
8	Medidor de flujo eléctrico (caudal)	1 a 30 [l/min]	1	18,5	18,5
9	Transductor de presión	0 a 413,685 [kPa]	2	18	36
10	Tanque combustible	0 a 1,5 [l]	1	20	20
11	Brida presión	6 * 0,512 [“]	1	22,5	22,5
12	Brida presión	6* 0,354 [“]	1	18,1	18,1
13	Tubo circular 1,8 líneas	2 * 196,5 [“]Inox	1	50,12	50,12
14	Platina 2,2 líneas	10*10 [“] Inox	1	11,15	11,15
15	Tarjeta ST	3,3 a 12 [v]	1	30	30
16	Imán neodimio	5*5*5 [mm]	5	0,88	4,4
17	Módulo HX711	2,6 a 5,5 [v]	3	1	3
18	Ángulo	1/8” A36 e 2 mm	1	3,5	3,5
19	Pernos	M6 * 2 [“]	4	0,5	2
20	Tubo circular 1,8 líneas	1* 12 A36 [“]	1	3,15	3,15
21	Combustible	Extra [gal]	3	1,48	4,44
22	Tubo reticular de alta dureza	100 [kPa]	1	20	20
23	Caja de control	25*30 [cm]	1	25	25
24	Led Control	12 [v]	1	3,25	3,25
25	Acoples de bronce	-	8	2,40	19,20
				Total	453,31

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

4.1 CONCLUSIONES

- La determinación de los parámetros de funcionamiento del motor de combustión interna se los realizó de forma analógica mediante sensores específicos para cada medición individual, implementando convertidores analógicos digitales recestando una señal análoga y convirtiéndola en digital pasando así a una interfaz gráfica.
- Las condiciones de operación de los sensores implementados en el banco de pruebas son estables ya que poseen filtros, los mismos que ayudan en su correcto funcionamiento al poseer el banco una vibración excesiva es un peligro, pero estos filtros permiten que no pasen frecuencias mayores de 10 Hz en la toma de datos por lo que sí existe esto las elimina, como el módulo HX711 que es para las células de carga.
- La interfaz admite varios parámetros esenciales como la potencia del motor, par motor, consumo de combustible y sus eficiencias, por lo que al medir valores requeridos para esto como las rpm, la fuerza que ejerce el freno, la cantidad de aire que pasa a la admisión con respecto al combustible, presión de entrada y de salida al freno, condiciones de ambiente, con lo que esta calcula y grafica automáticamente las curvas requeridas por el operador de la interfaz, generando un aprendizaje didáctico en las prácticas de laboratorio.

4.2 RECOMENDACIONES

- Implementar un freno que entregue el torque necesario para dar la oposición al giro de cigüeñal, teniendo en cuenta la potencia del motor, para mejorar el estudio del banco en las prácticas de laboratorio.
- Debido a que la célula de carga que se encuentra formando parte del sistema de reserva combustible; es de 1 kg, es necesario no sobrecargarlo de peso para que la sensibilidad del sensor no posea holguras y cambie las mediciones en el tiempo, como nivel máximo 1kg de combustible.

- En el mantenimiento del banco se debe verificar que todos los sistemas se encuentren en condiciones de operación óptimas, verificar que no se encuentren restos de polvo o limallas en las conexiones de la caja de control ya que ello podría conllevar a un corte circuito o daño fatídico de la tarjeta ST o algún sensor,

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Sánchez Gómez Yessenia Cristina, Sánchez Vega Sebastián Israel, «Automatización del banco de pruebas plint TE-46 de laboratorio de motores de combustion interna del DECEM,» Carrera de Ingeniería en Electrónica, Latacunga, 2015.
- [2] P. Ponsa, R. Vilanova y M. Díaz, «Guide Approach for the Introduction of the Human Operator into the Automation Cycle,» *GEMMA*, vol. 18, nº 4, pp. 21-30, 2007.
- [3] E. I. Cordova Morales, «Estudio de un motor de combustión para determinar sus parámetros de funcionamiento y su factibilidad de aplicación en los laboratorios de Ingeniería Civil y Mecánica,» Universidad Técnica de Ambato, Ambato, 2013.
- [4] P. E. Bazante del Pozo y J. C. Yandún Lamiño, «Modernizacion y determinación de los parámetros de funcionamiento en tiempo real de los bancos de pruebas ciclo Otto y Diesel,» Universidad de las Fuerzas Armadas, Quito, 2015.
- [5] A. Lecuona Neuman, A. Calvo Carnero y P. Rodríguez Aumente, «Tecnicas y sistemas de medida para ensayos, desarrollo y control de calidad, haciendo uso de ordenadores,» de *Curso para ser impartido en el departamento de Formación de FASA Renault, Valladolid*, Madrid, 1990.
- [6] Asociación Española de Normalización y Certificación, «UNE- EN ISO 5167- 2,» de *Medición del caudal de fluidos mediante dispositivos de presión diferencial intercalados en conductos en carga de sección transversal circular*, Madrid, AENOR, 2003, pp. 7-49.
- [7] S. LABS, «Improving ADC Resolution by Oversampling and Averaging,» Silicon Laboratories Inc, Austin, 2013.

- [8] R. G. Bosch, «Combined humidity and pressure sensor». Germany Patente BST-BME280-DS001-10, May 2015.
- [9] «AliExpress,» 25 Diciembre 2016. [En línea]. Available: <https://www.aliexpress.com/>. [Último acceso: 25 Diciembre 2016].
- [10] C. & I. ARIAN, «Arian,» 20 Mayo 2015. [En línea]. Available: www.arian.cl. [Último acceso: 25 Diciembre 2017].
- [11] Hastinik, «Catalogo Bridas Hastinik,» 22 01 2016. [En línea]. Available: www.hastinik.com. [Último acceso: 22 Diciembre 2017].
- [12] Zurita Zaldumbide María Gabriela, «Creación de un Software didáctico para el reconocimiento de las prácticas de motores diésel y gasolina en el laboratorio de termodinámica de Ingeniería Mecánica,» Escuela Politécnica Nacional, Quito, 2007.
- [13] Ariaz-Paz, Manual de Automóviles, S.L. Madrid: Dossat 2000, 2006.
- [14] Y. A. Cengel y M. A. Boles, Termodinámica, México: Mc. Graw-Hill, 2002.

ANEXOS

ANEXO A

ISO 5167-2:2003

- 38 -

Tabla A.3
Placa de orificio con tomas de bridas. Coeficiente de descarga, C , para $D = 50$ mm

Relac. diám. β	Coeficiente de descarga, C para Re_{D_1} igual a											
	5×10^3	1×10^4	2×10^4	3×10^4	5×10^4	7×10^4	1×10^5	3×10^5	1×10^6	1×10^7	1×10^8	∞
0,25	0,610 2	0,606 9	0,604 8	0,604 0	0,603 2	0,602 9	0,602 5	0,601 9	0,601 6	0,601 4	0,601 3	0,601 2
0,26	0,610 6	0,607 1	0,605 0	0,604 1	0,603 3	0,602 9	0,602 6	0,602 0	0,601 6	0,601 4	0,601 3	0,601 2
0,28	0,611 4	0,607 6	0,605 3	0,604 4	0,603 5	0,603 1	0,602 8	0,602 1	0,601 7	0,601 4	0,601 3	0,601 2
0,30	0,612 3	0,608 2	0,605 7	0,604 7	0,603 8	0,603 4	0,603 0	0,602 2	0,601 8	0,601 5	0,601 4	0,601 3
0,32	0,613 2	0,608 9	0,606 2	0,605 2	0,604 2	0,603 7	0,603 2	0,602 4	0,601 9	0,601 6	0,601 4	0,601 3
0,34	0,614 3	0,609 7	0,606 8	0,605 6	0,604 5	0,604 0	0,603 5	0,602 6	0,602 1	0,601 7	0,601 6	0,601 4
0,36	0,615 5	0,610 5	0,607 4	0,606 2	0,605 0	0,604 4	0,603 9	0,602 9	0,602 3	0,601 9	0,601 7	0,601 6
0,38	0,616 9	0,611 5	0,608 1	0,606 8	0,605 5	0,604 9	0,604 3	0,603 2	0,602 6	0,602 1	0,601 9	0,601 7
0,40	0,618 4	0,612 5	0,608 9	0,607 5	0,606 1	0,605 4	0,604 8	0,603 6	0,602 9	0,602 3	0,602 1	0,601 9
0,42	0,620 0	0,613 7	0,609 8	0,608 2	0,606 8	0,606 0	0,605 4	0,604 1	0,603 3	0,602 6	0,602 3	0,602 1
0,44	0,621 9	0,615 0	0,610 8	0,609 1	0,607 5	0,606 7	0,606 0	0,604 5	0,603 7	0,602 9	0,602 6	0,602 3
0,46	0,623 9	0,616 4	0,611 9	0,610 0	0,608 3	0,607 4	0,606 7	0,605 1	0,604 1	0,603 3	0,602 9	0,602 6
0,48	0,626 0	0,618 0	0,613 0	0,611 0	0,609 2	0,608 2	0,607 4	0,605 7	0,604 6	0,603 6	0,603 2	0,602 8
0,50	0,628 4	0,619 6	0,614 3	0,612 1	0,610 1	0,609 1	0,608 2	0,606 3	0,605 1	0,604 0	0,603 6	0,603 1
0,51	0,629 7	0,620 5	0,614 9	0,612 7	0,610 6	0,609 5	0,608 6	0,606 6	0,605 4	0,604 2	0,603 7	0,603 3
0,52	0,631 0	0,621 4	0,615 6	0,613 3	0,611 1	0,610 0	0,609 0	0,606 9	0,605 6	0,604 4	0,603 9	0,603 4
0,53	0,632 4	0,622 4	0,616 3	0,613 9	0,611 6	0,610 5	0,609 4	0,607 3	0,605 9	0,604 6	0,604 1	0,603 5
0,54	0,633 8	0,623 4	0,617 1	0,614 5	0,612 2	0,610 9	0,609 9	0,607 6	0,606 2	0,604 8	0,604 2	0,603 7
0,55	0,635 2	0,624 4	0,617 8	0,615 2	0,612 7	0,611 4	0,610 3	0,608 0	0,606 5	0,605 0	0,604 4	0,603 8
0,56	0,636 7	0,625 4	0,618 6	0,615 9	0,613 3	0,611 9	0,610 8	0,608 3	0,606 7	0,605 2	0,604 5	0,603 9
0,57	0,638 3	0,626 5	0,619 4	0,616 5	0,613 8	0,612 4	0,611 2	0,608 7	0,607 0	0,605 4	0,604 7	0,604 0
0,58	0,639 9	0,627 6	0,620 2	0,617 2	0,614 4	0,613 0	0,611 7	0,609 0	0,607 3	0,605 6	0,604 8	0,604 1
0,59	0,641 6	0,628 7	0,621 0	0,617 9	0,615 0	0,613 5	0,612 2	0,609 3	0,607 5	0,605 8	0,605 0	0,604 2
0,60	0,643 3	0,629 9	0,621 8	0,618 6	0,615 5	0,614 0	0,612 6	0,609 7	0,607 8	0,605 9	0,605 1	0,604 3
0,61	0,645 0	0,631 0	0,622 7	0,619 3	0,616 1	0,614 5	0,613 1	0,610 0	0,608 0	0,606 0	0,605 1	0,604 3
0,62	0,646 8	0,632 2	0,623 5	0,620 0	0,616 7	0,615 0	0,613 5	0,610 3	0,608 2	0,606 2	0,605 2	0,604 3
0,63	0,648 6	0,633 4	0,624 3	0,620 7	0,617 3	0,615 5	0,613 9	0,610 6	0,608 4	0,606 2	0,605 3	0,604 3
0,64	0,650 5	0,634 7	0,625 2	0,621 4	0,617 8	0,616 0	0,614 4	0,610 9	0,608 6	0,606 3	0,605 3	0,604 3
0,65	0,652 4	0,635 9	0,626 0	0,622 1	0,618 4	0,616 4	0,614 8	0,611 1	0,608 8	0,606 4	0,605 3	0,604 2
0,66	0,654 4	0,637 1	0,626 9	0,622 8	0,618 9	0,616 9	0,615 2	0,611 4	0,608 9	0,606 4	0,605 2	0,604 1
0,67	0,656 4	0,638 4	0,627 7	0,623 4	0,619 4	0,617 3	0,615 5	0,611 6	0,609 0	0,606 3	0,605 1	0,603 9
0,68	0,658 4	0,639 6	0,628 5	0,624 1	0,619 9	0,617 7	0,615 8	0,611 7	0,609 0	0,606 2	0,605 0	0,603 7
0,69	0,660 4	0,640 9	0,629 3	0,624 7	0,620 4	0,618 1	0,616 1	0,611 9	0,609 0	0,606 1	0,604 8	0,603 5
0,70	0,662 5	0,642 1	0,630 1	0,625 3	0,620 8	0,618 5	0,616 4	0,612 0	0,609 0	0,606 0	0,604 5	0,603 2
0,71	0,664 6	0,643 4	0,630 9	0,625 9	0,621 2	0,618 8	0,616 6	0,612 0	0,608 9	0,605 7	0,604 3	0,602 8
0,72	0,666 7	0,644 6	0,631 6	0,626 5	0,621 6	0,619 0	0,616 8	0,612 0	0,608 8	0,605 5	0,603 9	0,602 4
0,73	0,668 9	0,645 9	0,632 3	0,627 0	0,621 9	0,619 3	0,617 0	0,612 0	0,608 6	0,605 1	0,603 5	0,601 9
0,74	0,671 0	0,647 1	0,633 0	0,627 5	0,622 2	0,619 5	0,617 1	0,611 9	0,608 4	0,604 7	0,603 0	0,601 4
0,75	0,673 2	0,648 3	0,633 7	0,627 9	0,622 4	0,619 6	0,617 1	0,611 7	0,608 1	0,604 3	0,602 5	0,600 8

Coeficiente de descarga según parámetros asumidos. [6]

ANEXO B

Tabla de conexión de colores de los sensores y numeración física

CONEXIONES ELÉCTRICAS SEÑALES Y COLORES DE CABLES			
N°-	MANDO	CONEXIÓN	SERIE
CÉLULA DE CARGA COMBUSTIBLE			
1	ROJO	NARANJA	7
	NEGRO	BLANCO-NARANJA	
	VERDE	AZUL	
	BLANCO	BLANCO-AZUL	
TRANSDUCTOR DE TURBINA			
2	ROJO	NARANJA	2
	NEGRO	BLANCO-NARANJA	
	AMARILLO	BLANCO-AZUL	
TRANSDUCTOR PIEZORESISTIVO (ENTRADA)			
3	ROJO	NARANJA	4
	NEGRO	BLANCO-AZUL	
	VERDE	AZUL	
TRANSDUCTOR PIEZORESISTIVO (SALIDA)			
4	ROJO	NARANJA	5
	NEGRO	BLANCO-AZUL	
	AMARILLO	AZUL	
TRANSDUCTOR EFECTO HALL			
5	NEGRO	BLANCO-AZUL	6
	AZUL	AZUL	
	MARRON	NARANJA	
CÉLULA DE CARGA TORQUE (FRENO HIDRÁULICO)			
6	ROJO	NARANJA	1
	NEGRO	BLANCO-NARANJA	
	VERDE	AZUL	
	BLANCO	BLANCO-AZUL	
TRANSDUCTOR DE PRESIÓN DIFERENCIAL			
7	ROJO	NARANJA	0
	VERDE	AZUL	
TRANSDUCTOR DE CONDICIONES ATMOSFÉRICAS			
8	AZUL	AZUL	-
	NARANJA	NARANJA	+
	BLANCO-AZUL	BLANCO-AZUL	SCL
	BLANCO-NARANJA	BLANCO-NARANJA	SDA

TERMORESISTENCIA (PT100)			
9	ROJO	ROJO	
	AZUL	AZUL	
	AZUL	AZUL	

Fuente: Autor

ANEXO C

Especificaciones del motor Briggs & Stratton de 6.5 HP

PREMIUM 

INTEK™ PRO OHV 5.5 – 10 HP



MODEL 123332*
INTEK™ PRO OHV 6.5 HP

BORE x STROKE

68.3 x 55.8 mm/2.7 x 2.2 in

DISPLACEMENT

206 cc/12.6 cu in

FUEL TANK CAPACITY

3.8 liter/4 qt

OIL CAPACITY

0.6 liter/20 oz

DRY WEIGHT

15.3 kg/33.8 lbs

DIMENSIONS (LxWxH)

383.1 x 267.5 x 394.1 mm

15.1 x 10.5 x 15.5 in

**Also available as 5.5 HP (128332).*

Fuente: Catálogo Briggs & Stratton 6.5 HP

ANEXO D

Gráficas de mediciones comprendidas en el CASO 3 estas figuras son relacionadas con los parámetros de medición y funcionamiento con respecto al tiempo.

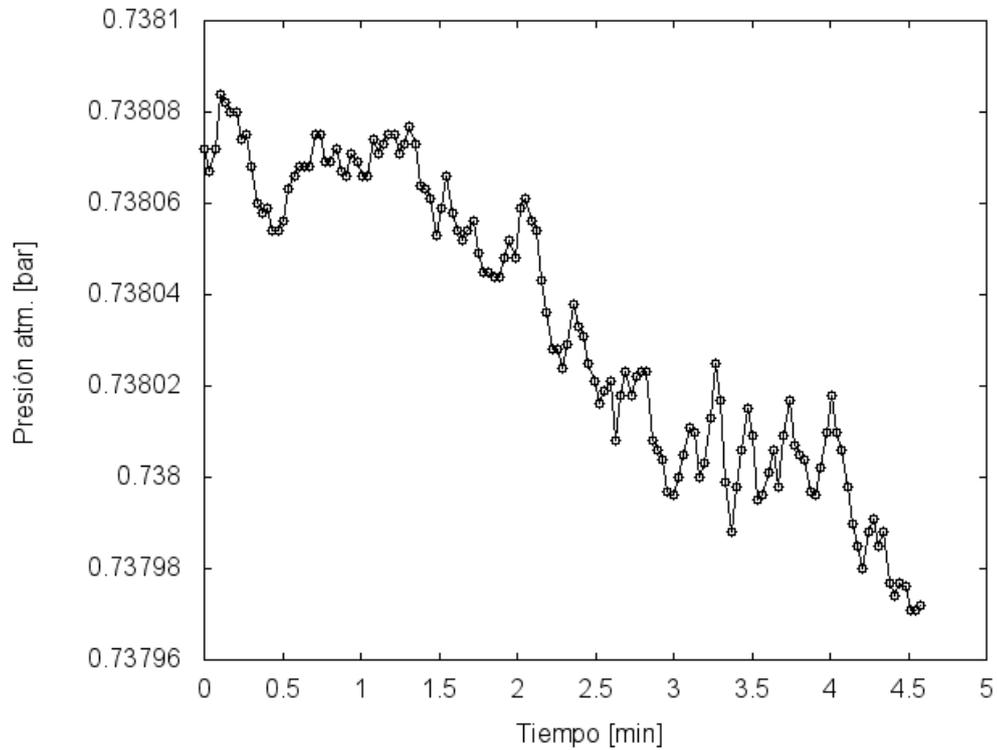


Figura 3. 37 Presión atmosférica vs Tiempo
Fuente: Autor

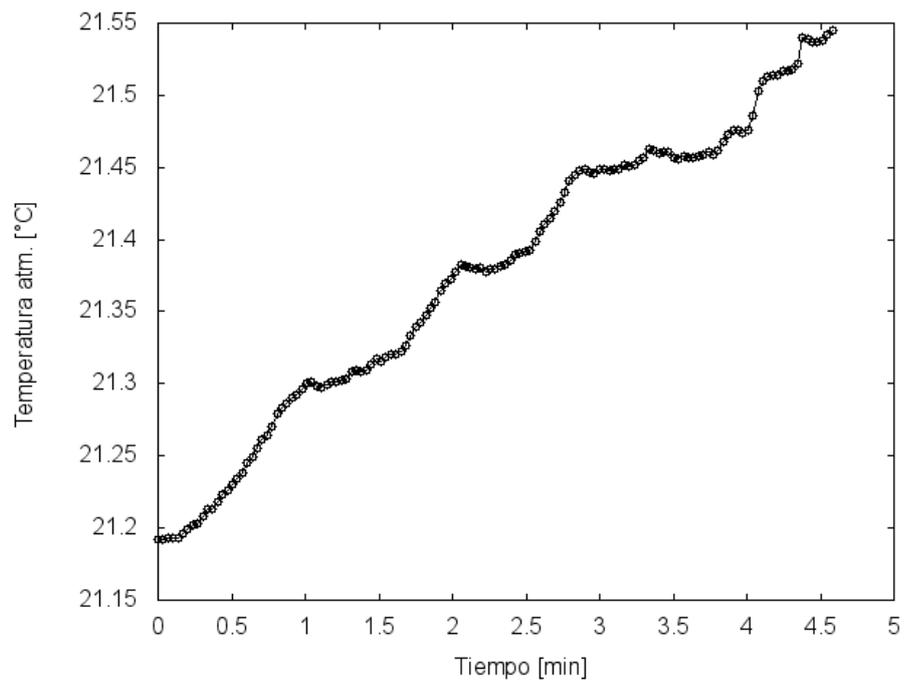


Figura 3. 38 Temperatura atmosférica vs Tiempo
Fuente: Autor

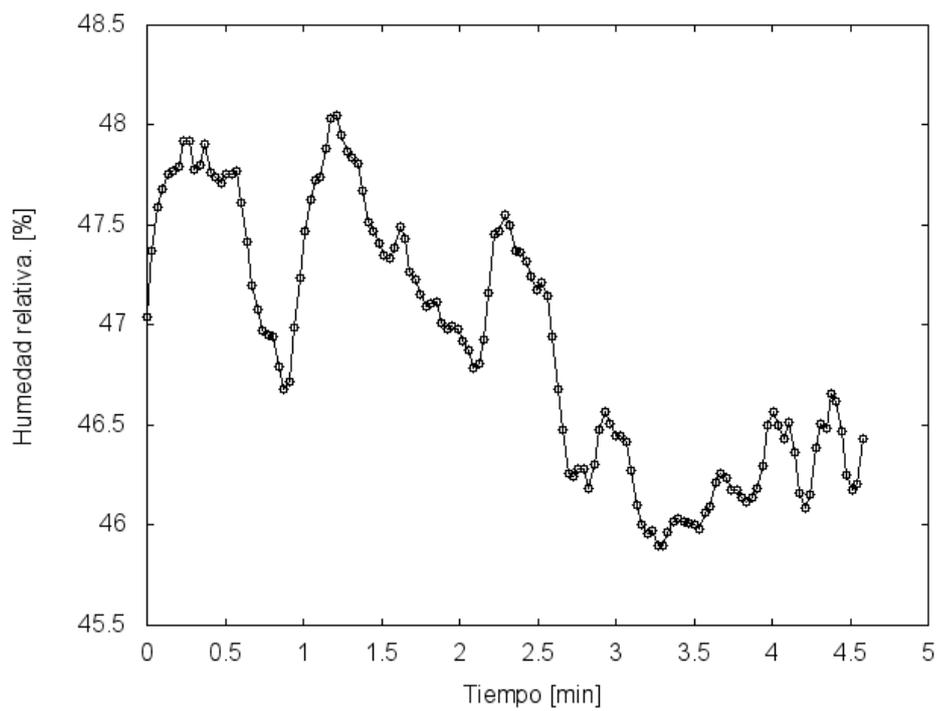


Figura 3. 39 Humedad relativa vs Tiempo
Fuente: Autor

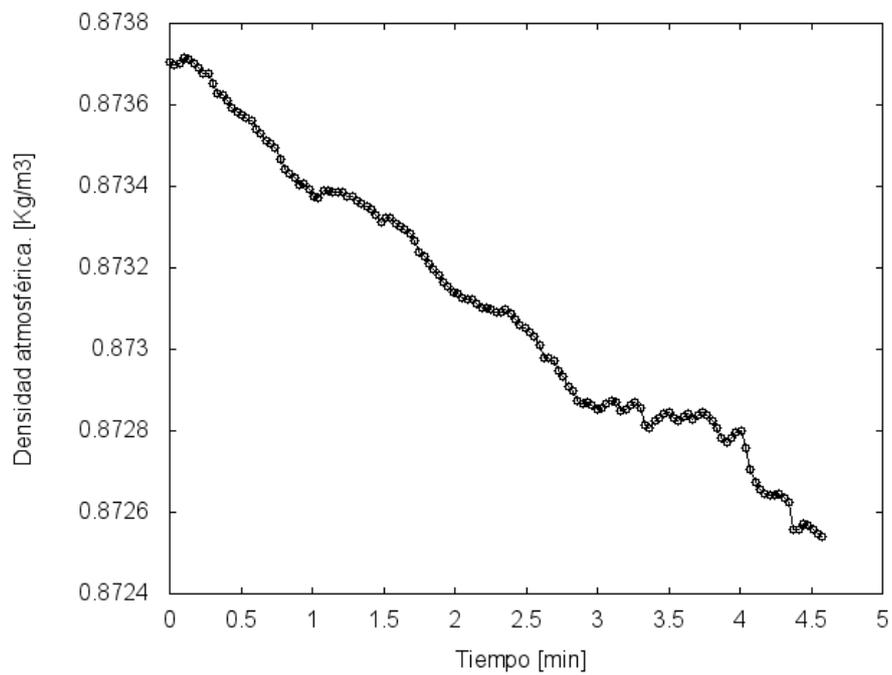


Figura 3. 40 Densidad atmosférica vs Tiempo
Fuente: Autor

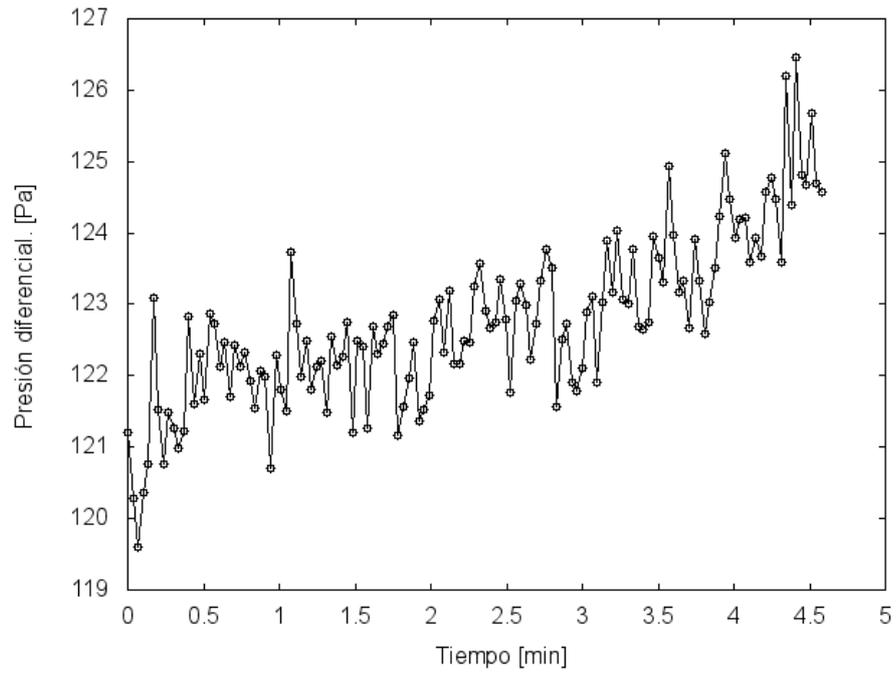


Figura 3. 41 Presión diferencial vs Tiempo
Fuente: Autor

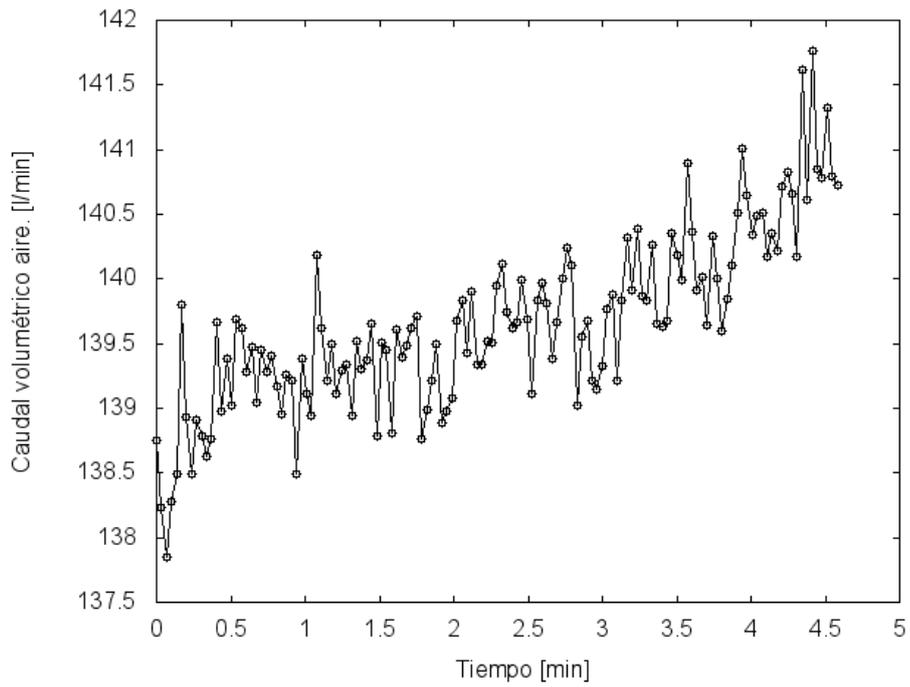


Figura 3. 42 Caudal volumétrico de aire vs Tiempo
Fuente: Autor

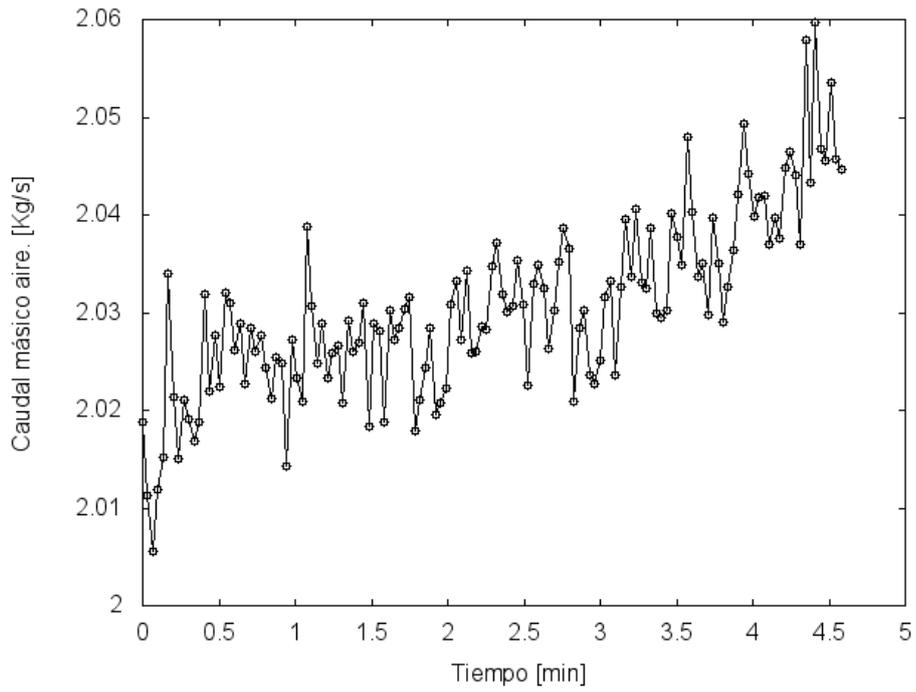


Figura 3. 43 Caudal másico de aire vs Tiempo
Fuente: Autor

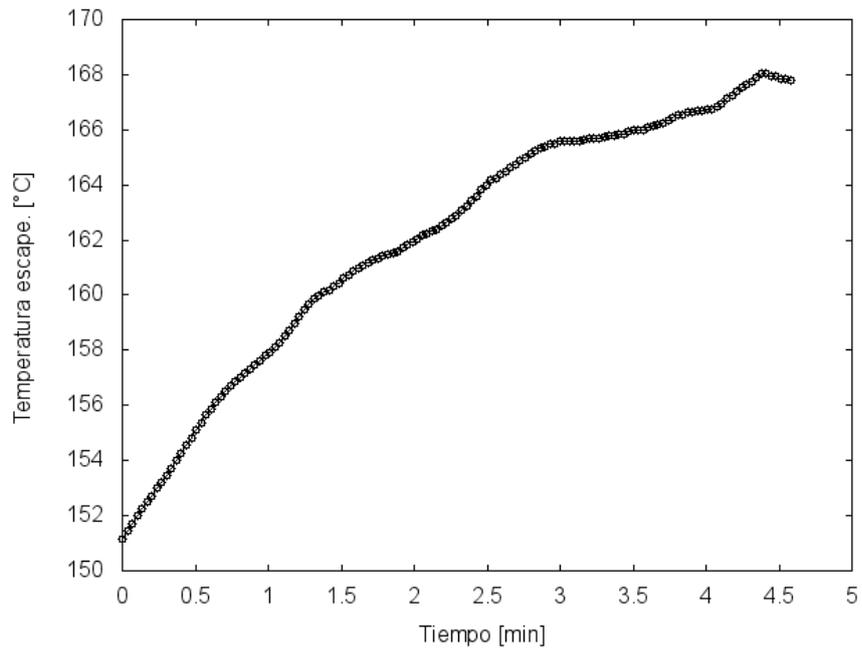


Figura 3. 44 Temperatura de escape vs Tiempo
Fuente: Autor

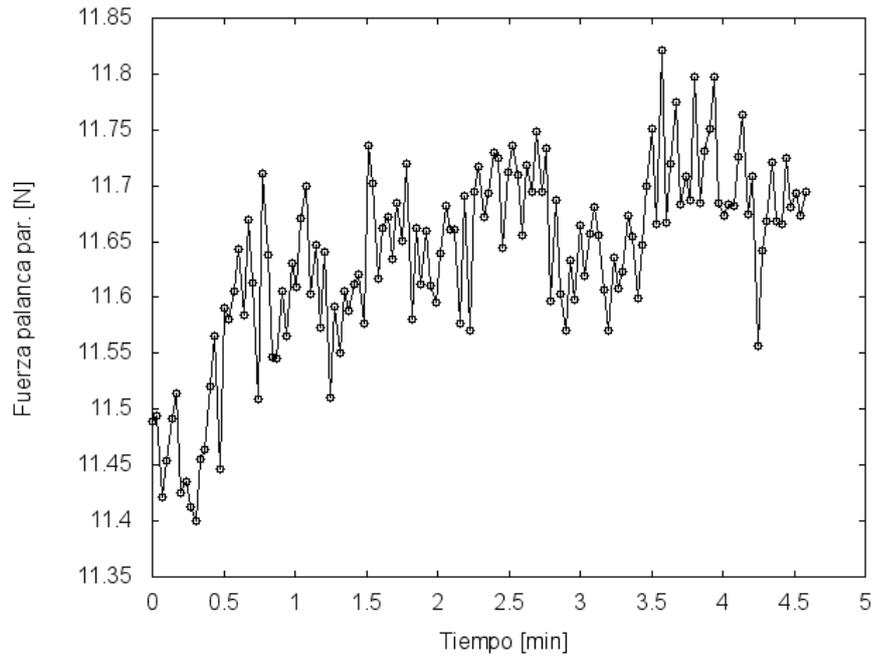


Figura 3. 45 Fuerza palanca par vs Tiempo
Fuente: Autor

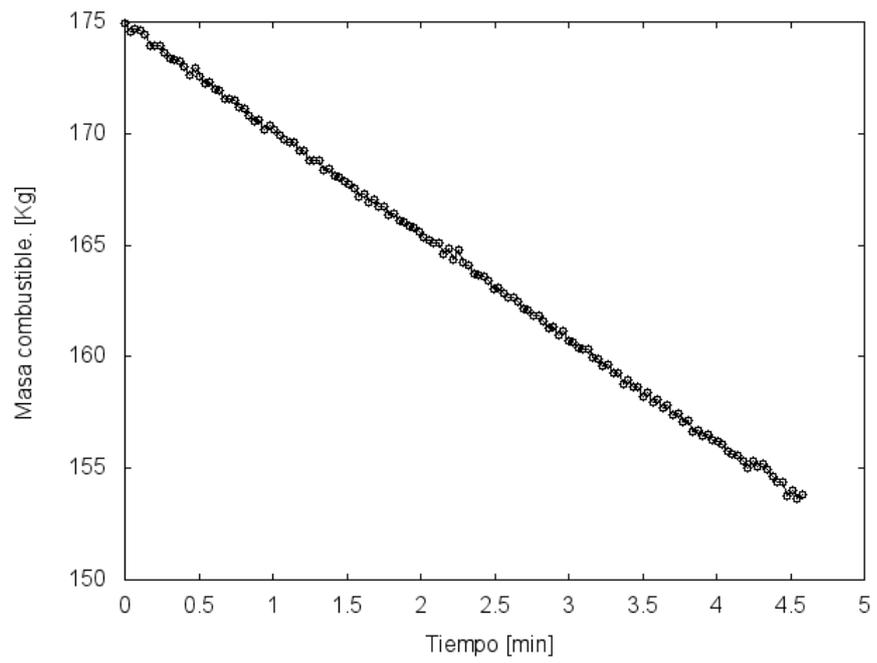


Figura 3. 46 Masa de combustible vs Tiempo
Fuente: Autor

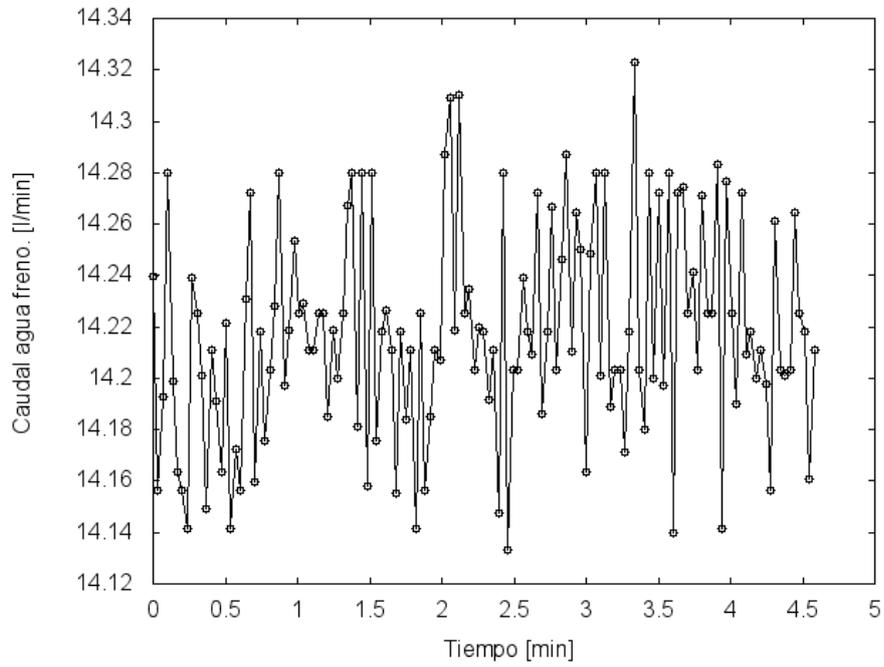


Figura 3. 47 Caudal de agua freno vs Tiempo
Fuente: Autor

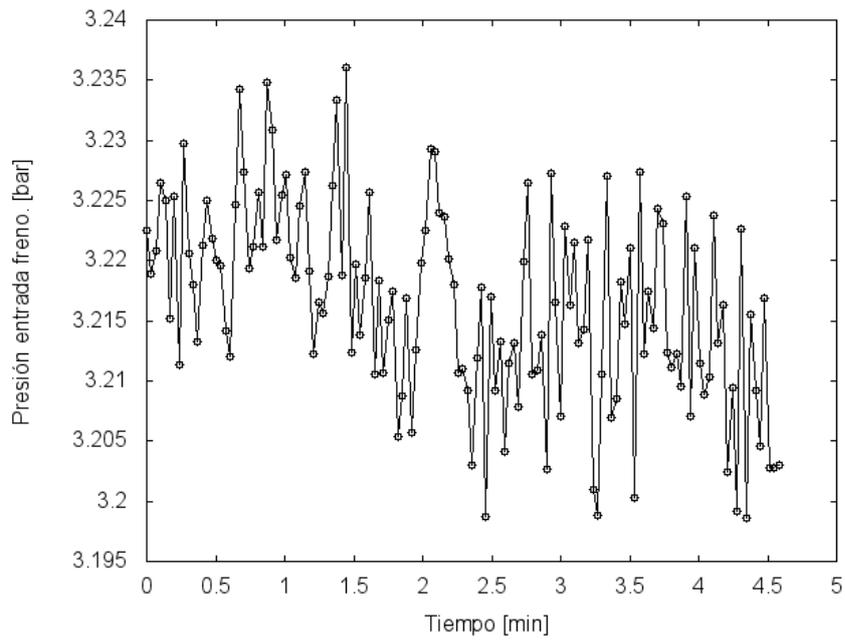


Figura 3. 48 Presión entrada freno vs Tiempo
Fuente: Autor

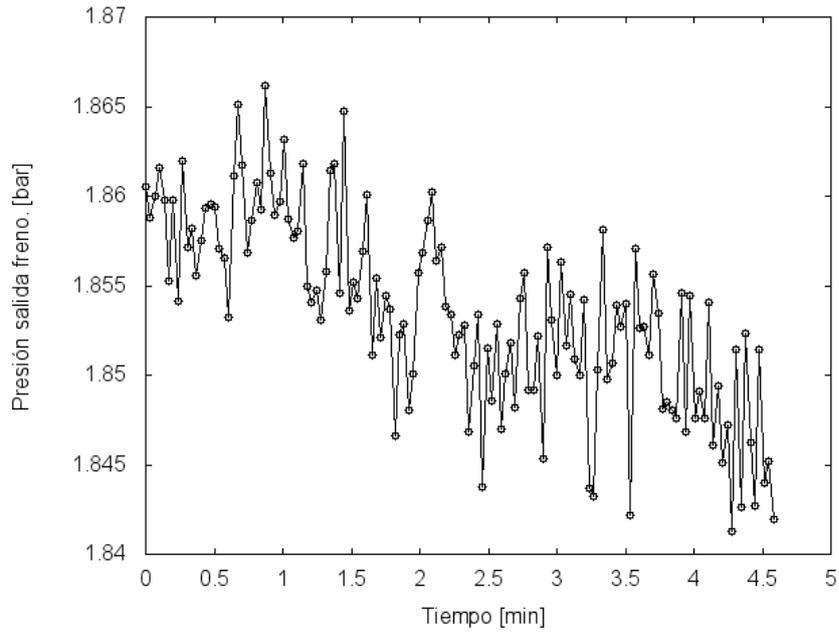


Figura 3. 49 Presión salida freno vs Tiempo
Fuente: Autor

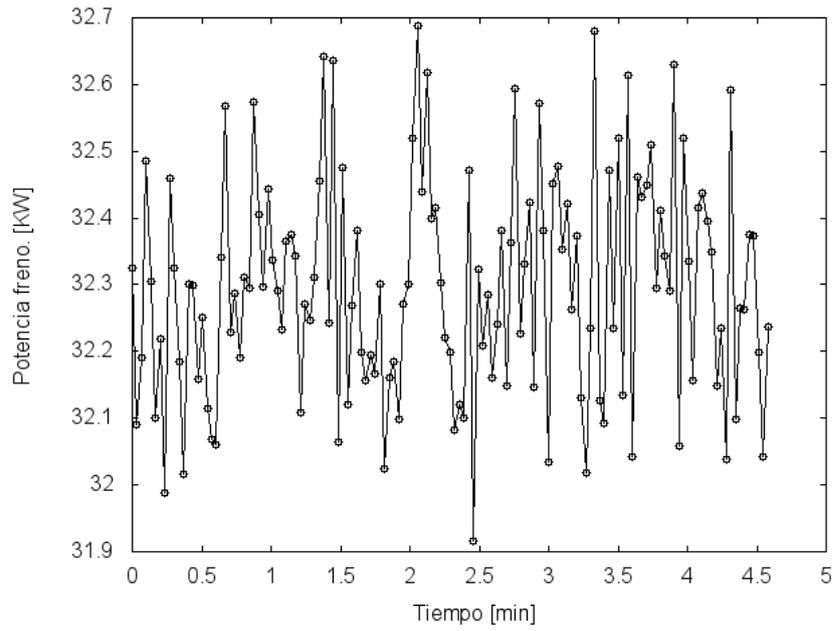


Figura 3. 50 Potencia freno vs Tiempo
Fuente: Autor

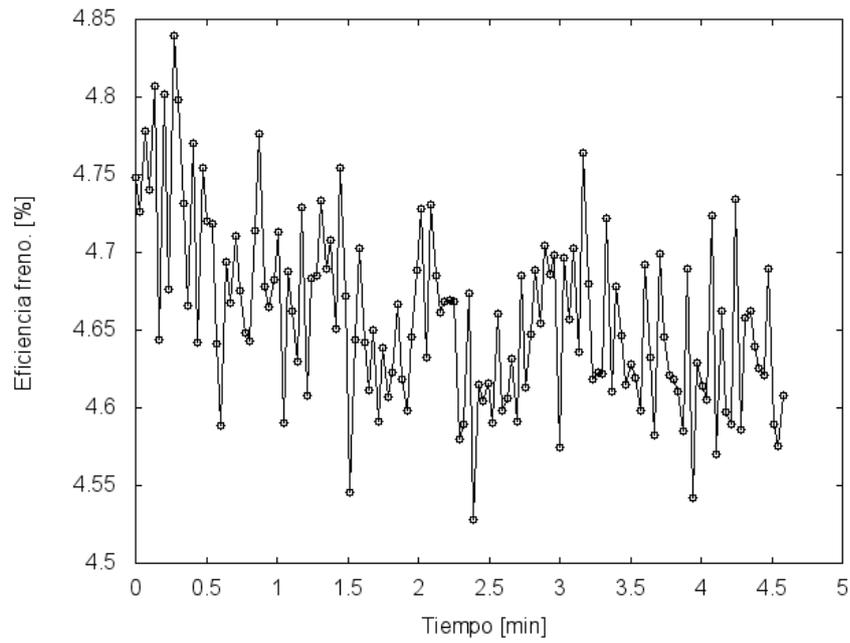


Figura 3. 51 Eficiencia freno vs Tiempo
Fuente: Autor

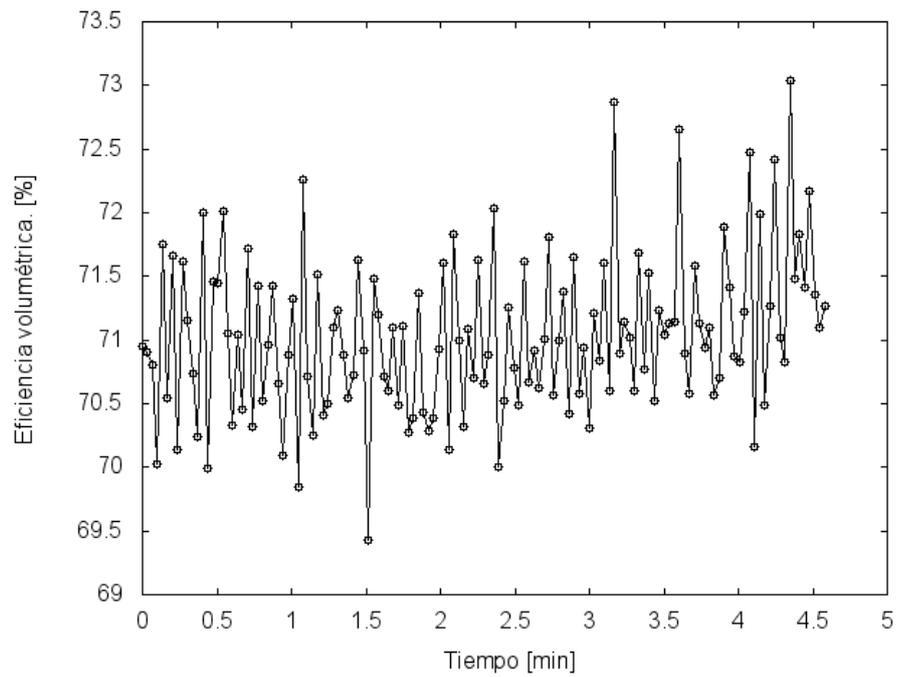


Figura 3. 52 Eficiencia Volumétrica vs Tiempo
Fuente: Autor

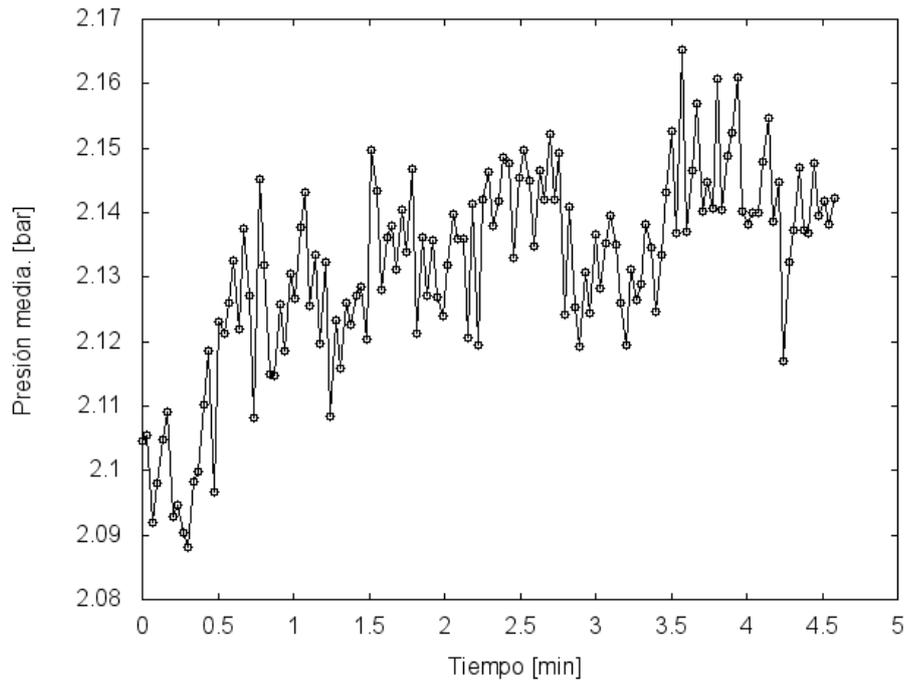


Figura 3. 53 Presión media vs Tiempo
Fuente: Autor

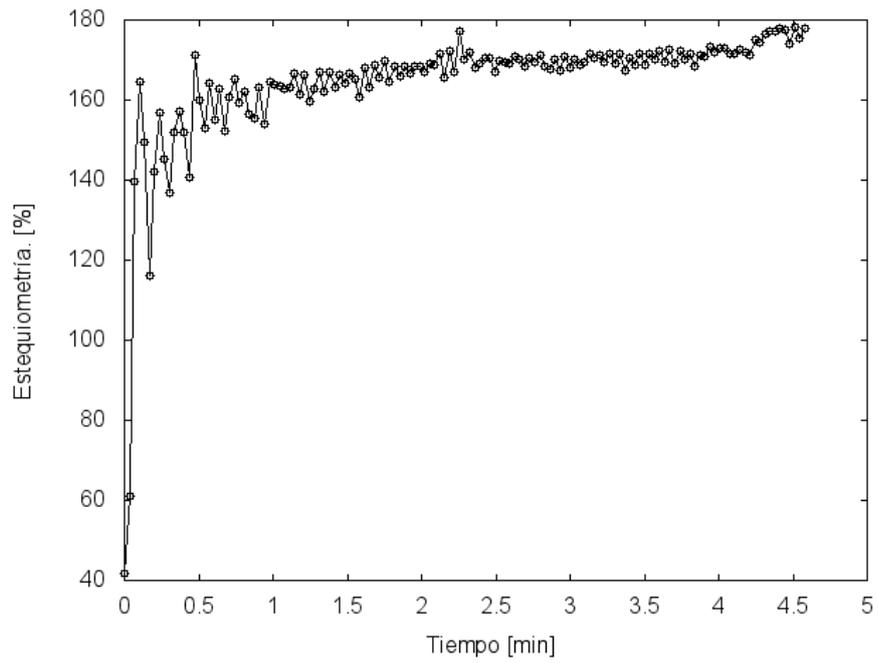


Figura 3. 54 Estequiometría vs Tiempo
Fuente: Autor

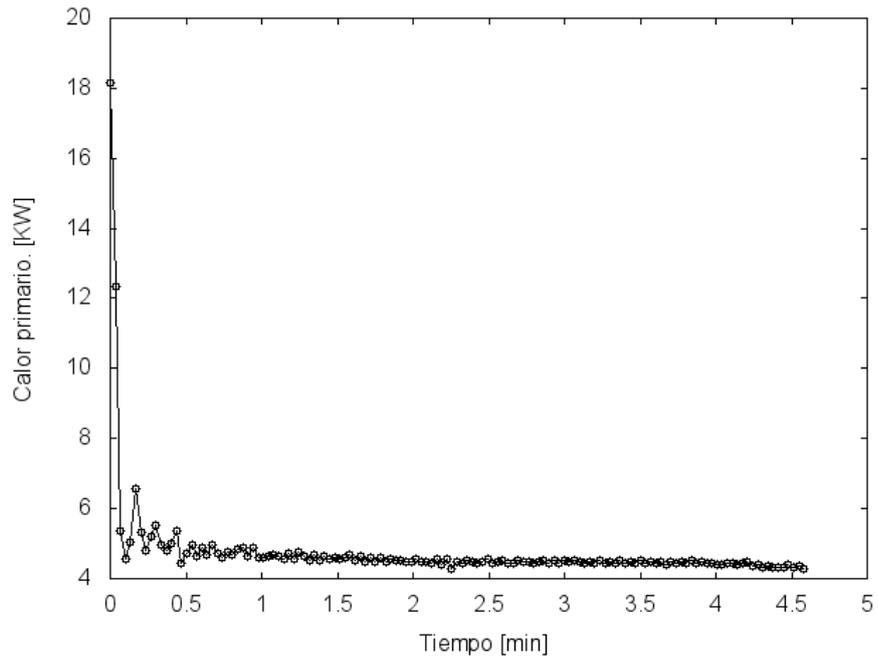


Figura 3. 55 Calor primario vs Tiempo
Fuente: Autor

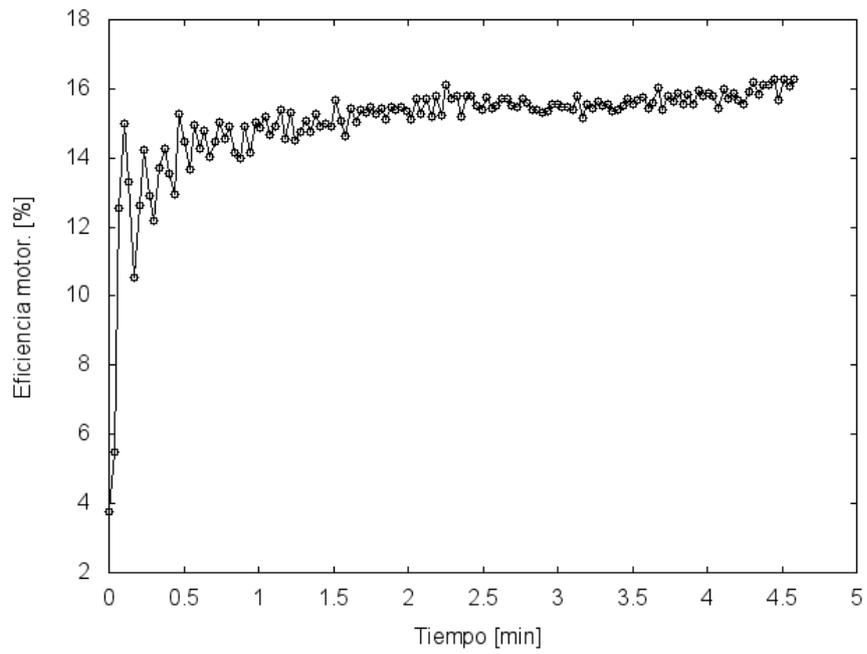


Figura 3. 56 Eficiencia motor vs Tiempo
Fuente: Autor

ANEXO E

Catálogo BME-280 de funcionamiento y composición: funciones básicas programación



BME280: Final data sheet

Document revision	1.1
Document release date	May 07 th , 2015
Document number	BST-BME280-DS001-10
Technical reference code(s)	0 273 141 185

Notes

Data in this document are subject to change without notice. Product photos and pictures are for illustration purposes only and may differ from the real product's appearance.

1. Specification

If not stated otherwise,

- All values are valid over the full voltage range
- All minimum/maximum values are given for the full accuracy temperature range
- Minimum/maximum values of drifts, offsets and temperature coefficients are $\pm 3\sigma$ values over lifetime
- Typical values of currents and state machine timings are determined at 25 °C
- Minimum/maximum values of currents are determined using corner lots over complete temperature range
- Minimum/maximum values of state machine timings are determined using corner lots over 0...+65 °C temperature range

The specification tables are split into humidity, pressure, and temperature part of BME280.

1.1 General electrical specification

Table 1: Electrical parameter specification

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Supply Voltage Internal Domains	V_{DD}	ripple max. 50 mVpp	1.71	1.8	3.6	V
Supply Voltage I/O Domain	V_{DDIO}		1.2	1.8	3.6	V
Sleep current	I_{DDSL}			0.1	0.3	μA
Standby current (inactive period of normal mode)	I_{DDSB}			0.2	0.5	μA
Current during humidity measurement	I_{DDH}	Max value at 85 °C		340		μA
Current during pressure measurement	I_{DDP}	Max value at -40 °C		714		μA
Current during temperature measurement	I_{DDT}	Max value at 85 °C		350		μA
Start-up time	t_{startup}	Time to first communication after both $V_{DD} > 1.58\text{ V}$ and $V_{DDIO} > 0.65\text{ V}$			2	ms
Power supply rejection ratio (DC)	PSRR	full V_{DD} range			± 0.01 ± 5	%RH/V Pa/V
Standby time accuracy	$\Delta t_{\text{standby}}$			± 5	± 25	%

1.2 Humidity parameter specification²

Table 2: Humidity parameter specification

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating range ³	R _H	For temperatures < 0 °C and > 60 °C see Figure 1	-40	25	85	°C
			0		100	%RH
Supply current	I _{DD,H}	1 Hz forced mode, humidity and temperature		1.8	2.8	µA
Absolute accuracy tolerance	A _H	20...80 %RH, 25 °C, including hysteresis		±3		%RH
Hysteresis ⁴	H _H	10→90→10 %RH, 25 °C		±1		%RH
Nonlinearity ⁵	NL _H	10→90 %RH, 25 °C		1		%RH
Response time to complete 63% of step ⁶	τ _{63%}	90→0 or 0→90 %RH, 25 °C		1		s
Resolution	R _H			0.008		%RH
Noise in humidity (RMS)	N _H	Highest oversampling, see chapter 3.6		0.02		%RH
Long term stability	ΔH _{stab}	10...90 %RH, 25 °C		0.5		%RH/ year

² Target values

³ When exceeding the operating range (e.g. for soldering), humidity sensing performance is temporarily degraded and reconditioning is recommended as described in section 7.8. Operating range only for non-condensing environment.

⁴ For hysteresis measurement the sequence 10→30→50→70→90→70→50→30→10 %RH is used. The hysteresis is defined as the difference between measurements of the humidity up / down branch and the averaged curve of both branches

⁵ Non-linear contributions to the sensor data are corrected during the calculation of the relative humidity by the compensation formulas described in section 4.2.3.

⁶ The air-flow in direction to the vent-hole of the device has to be dimensioned in a way that a sufficient air exchange inside to outside will be possible. To observe effects on the response time-scale of the device an air-flow velocity of approx. 1 m/s is needed.

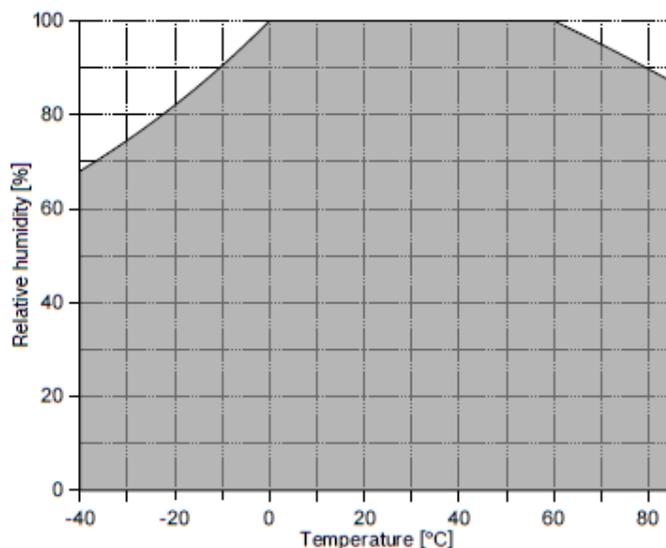


Figure 1: humidity sensor operating range

1.6 Pressure sensor specification

Table 3: Pressure parameter specification

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating temperature range	T_A	operational	-40	25	+85	°C
		full accuracy	0		+65	
Operating pressure range	P	full accuracy	300		1100	hPa
Supply current	$I_{DD,LP}$	1 Hz forced mode, pressure and temperature, lowest power		2.8	4.2	μA
Temperature coefficient of offset ⁷	TCO_p	25...65 °C, 900 hPa		±1.5		Pa/K
				±12.6		cm/K
Absolute accuracy pressure	$A_{P,full}$	300 ... 1100 hPa 0 ... 65 °C		±1.0		hPa
Relative accuracy pressure $V_{DD} = 3.3V$	A_{rel}	700 ... 900hPa 25 ... 40 °C		±0.12		hPa

⁷ When changing temperature by e.g. 10 °C at constant pressure / altitude, the measured pressure / altitude will change by $(10 \times TCO_p)$.

Resolution of pressure output data	R_P	Highest oversampling		0.18		Pa
Noise in pressure	$N_{P,fullBW}$	Full bandwidth, highest oversampling See chapter 3.6		1.3		Pa
				11		cm
	$N_{P,filtered}$	Reduced bandwidth, highest oversampling See chapter 3.6		0.2		Pa
				1.7		cm
Solder drift		Minimum solder height 50 μ m	-0.5		+2.0	hPa
Long term stability ⁸	ΔP_{stab}	per year		± 1.0		hPa
Possible sampling rate	f_{sample_P}	Lowest oversampling, see chapter 9.2	157	182		Hz

1.7 Temperature sensor specification

Table 4: Pressure parameter specification

Parameter	Symbol	Condition	Min	Typ	Max	Unit
Operating range	T	Operational	-40	25	85	°C
		Full accuracy	0		65	°C
Supply current	$I_{DD,T}$	1 Hz forced mode, temperature measurement only		1.0		μ A
Absolute accuracy temperature ⁹	$A_{T,25}$	25 °C		± 0.5		°C
	$A_{T,full}$	0...65 °C		± 1.0		°C
Output resolution	R_T	API output resolution		0.01		°C
RMS noise	N_T	Lowest oversampling		0.005		°C

2. Absolute maximum ratings

The absolute maximum ratings are determined over complete temperature range using corner lots. The values are provided in Table 5.

⁸ Long term stability is specified in the full accuracy operating pressure range 0 ... 65 °C

⁹ Temperature measured by the internal temperature sensor. This temperature value depends on the PCB temperature, sensor element self-heating and ambient temperature and is typically above ambient temperature.

Table 11: Noise and current for humidity

Humidity / temperature oversampling setting	Typical RMS noise in humidity [%RH] at 25 °C	Typ. current [μA] at 1 Hz forced mode, 25 °C, humidity and temperature measurement, incl. I_{DDSM}
×1 / ×1	0.07	1.8
×2 / ×1	0.05	2.5
×4 / ×1	0.04	3.8
×8 / ×1	0.03	6.5
×16 / ×1	0.02	11.7

Table 12: Noise and current for pressure

Pressure / temperature oversampling setting	Typical RMS noise in pressure [Pa] at 25 °C					Typ. current [μA] at 1 Hz forced mode, 25 °C, pressure and temperature measurement, incl. I_{DDSM}
	IIR filter coefficient					
	off	2	4	8	16	
×1 / ×1	3.3	1.9	1.2	0.9	0.4	2.8
×2 / ×1	2.6	1.5	1.0	0.6	0.4	4.2
×4 / ×1	2.1	1.2	0.8	0.5	0.3	7.1
×8 / ×1	1.6	1.0	0.6	0.4	0.2	12.8
×16 / ×2	1.3	0.8	0.5	0.4	0.2	24.9

Table 13: Temperature dependence of pressure noise

RMS noise at different temperatures	
Temperature	Typical change in noise compared to 25 °C
-10 °C	+25 %
25 °C	±0 %
75 °C	-5 %

8. Appendix A: Alternative compensation formulas

8.1 Compensation formulas in double precision floating point

Please note that it is strongly advised to use the API available from Bosch Sensortec to perform readout and compensation. If this is not wanted, the code below can be applied at the user's risk. Both pressure and temperature values are expected to be received in 20 bit format, positive, stored in a 32 bit signed integer. Humidity is expected to be received in 16 bit format, positive, stored in a 32 bit signed integer.

The variable `t_fine` (signed 32 bit) carries a fine resolution temperature value over to the pressure compensation formula and could be implemented as a global variable.

The data type "BME280_S32_t" should define a 32 bit signed integer variable type and could usually be defined as "long signed int". The revision of the code is rev. 1.1 (pressure and temperature) and rev. 1.0 (humidity).

Compensating the measurement value with double precision gives the best possible accuracy but is only recommended for PC applications.

```
// Returns temperature in DegC, double precision. Output value of "51.23" equals 51.23 DegC.
// t_fine carries fine temperature as global value
BME280_S32_t t_fine;
double BME280_compensate_T_double(BME280_S32_t adc_T)
{
    double var1, var2, T;
    var1 = (((double)adc_T)/16384.0 - ((double)dig_T1)/1024.0) * ((double)dig_T2);
    var2 = (((double)adc_T)/131072.0 - ((double)dig_T1)/8192.0) *
        (((double)adc_T)/131072.0 - ((double)dig_T1)/8192.0) * ((double)dig_T3);
    t_fine = (BME280_S32_t)(var1 + var2);
    T = (var1 + var2) / 5120.0;
    return T;
}

// Returns pressure in Pa as double. Output value of "96386.2" equals 96386.2 Pa = 963.862 hPa
double BME280_compensate_P_double(BME280_S32_t adc_P)
{
    double var1, var2, p;
    var1 = ((double)t_fine/2.0) - 64000.0;
    var2 = var1 * var1 * ((double)dig_P6) / 32768.0;
    var2 = var2 + var1 * ((double)dig_P5) * 2.0;
    var2 = (var2/4.0)+((double)dig_P4) * 65536.0;
    var1 = (((double)dig_P3) * var1 * var1 / 524288.0 + ((double)dig_P2) * var1) / 524288.0;
    var1 = (1.0 + var1 / 32768.0)*((double)dig_P1);
    if (var1 == 0.0)
    {
        return 0; // avoid exception caused by division by zero
    }
    p = 1048576.0 - (double)adc_P;
    p = (p - (var2 / 4096.0)) * 6250.0 / var1;
    var1 = ((double)dig_P9) * p * p / 2147483648.0;
    var2 = p * ((double)dig_P8) / 32768.0;
    p = p + (var1 + var2 + ((double)dig_P7)) / 16.0;
    return p;
}

// Returns humidity in %rH as as double. Output value of "46.332" represents 46.332 %rH
double BME280_compensate_H_double(BME280_S32_t adc_H)
{
    double var_H;

    var_H = ((double)t_fine) - 76800.0;
    var_H = (adc_H - (((double)dig_H4) * 64.0 + ((double)dig_H5) / 16384.0 * var_H)) *
        (((double)dig_H2) / 65536.0 * (1.0 + ((double)dig_H6) / 67108864.0 * var_H)) *
        (1.0 + ((double)dig_H3) / 67108864.0 * var_H);
    var_H = var_H * (1.0 - ((double)dig_H1) * var_H / 524288.0);

    if (var_H > 100.0)
        var_H = 100.0;
    else if (var_H < 0.0)
        var_H = 0.0;

    return var_H;
}
```

8.2 Pressure compensation in 32 bit fixed point

Please note that it is strongly advised to use the API available from Bosch Sensortec to perform readout and compensation. If this is not wanted, the code below can be applied at the user's risk. Both pressure and temperature values are expected to be received in 20 bit format, positive, stored in a 32 bit signed integer.

The variable `t_fine` (signed 32 bit) carries a fine resolution temperature value over to the pressure compensation formula and could be implemented as a global variable.

The data type "BME280_S32_t" should define a 32 bit signed integer variable type and can usually be defined as "long signed int".

The data type "BME280_U32_t" should define a 32 bit unsigned integer variable type and can usually be defined as "long unsigned int".

Compensating the pressure value with 32 bit integer has an accuracy of typically 1 Pa (1-sigma). At high filter levels this adds a significant amount of noise to the output values and reduces their resolution.

```
// Returns temperature in DegC, resolution is 0.01 DegC. Output value of "5123" equals 51.23 DegC.
// t_fine carries fine temperature as global value
BME280_S32_t t_fine;
BME280_S32_t BME280_compensate_T_int32(BME280_S32_t adc_T)
{
    BME280_S32_t var1, var2, T;
    var1 = (((adc_T > 3) - ((BME280_S32_t)dig_T1 << 1)) * ((BME280_S32_t)dig_T2)) >> 11;
    var2 = (((((adc_T > 4) - ((BME280_S32_t)dig_T1)) * ((adc_T > 4) - ((BME280_S32_t)dig_T1))) >> 12) *
            ((BME280_S32_t)dig_T3)) >> 14;
    t_fine = var1 + var2;
    T = (t_fine * 5 + 128) >> 8;
    return T;
}

// Returns pressure in Pa as unsigned 32 bit integer. Output value of "96386" equals 96386 Pa = 963.86 hPa
BME280_U32_t BME280_compensate_P_int32(BME280_S32_t adc_P)
{
    BME280_S32_t var1, var2;
    BME280_U32_t p;
    var1 = (((BME280_S32_t)t_fine >> 1) - (BME280_S32_t)64000;
    var2 = (((var1 >> 2) * (var1 >> 2)) >> 11) * ((BME280_S32_t)dig_P6);
    var2 = var2 + ((var1 * ((BME280_S32_t)dig_P5) << 1);
    var2 = (var2 >> 2) + ((BME280_S32_t)dig_P4 << 16);
    var1 = (((dig_P3 * ((var1 >> 2) * (var1 >> 2)) >> 13) >> 3) + (((BME280_S32_t)dig_P2) * var1 >> 1)) >> 18;
    var1 = (((32768 + var1) * ((BME280_S32_t)dig_P1) >> 15);
    if (var1 == 0)
    {
        return 0; // avoid exception caused by division by zero
    }
    p = (((BME280_U32_t) (((BME280_S32_t)1048576 - adc_P) - (var2 >> 12)) * 3125);
    if (p < 0x80000000)
    {
        p = (p << 1) / ((BME280_U32_t)var1);
    }
    else
    {
        p = (p / (BME280_U32_t)var1) * 2;
    }
    var1 = (((BME280_S32_t)dig_P9) * ((BME280_S32_t)((p >> 3) * (p >> 3)) >> 13)) >> 12;
    var2 = (((BME280_S32_t)(p >> 2)) * ((BME280_S32_t)dig_P8) >> 13;
    p = (BME280_U32_t)((BME280_S32_t)p + ((var1 + var2 + dig_P7) >> 4));
    return p;
}
```

ANEXO F

Especificaciones técnicas de Célula de carga 2 Kg

Size: long 80mm wide 12.7mm high 12.7mm
Specifications: 2kg 5kg 10KG 20KG 1kg

Rated load of 1, 2, 5, (kg)
Rated output 1 + 0.15mV/V
Nonlinear 0.03%F.S
Lag 0.03%F.S
Repeatability 0.03%F.S
Creep (5 min) 0.03%F.S
The output temperature affects 0.01%F.S/
Zero point temperature affects 0.05%F.S/
Zero balance + 0.1000 mV/V
Input impedance 1115 + 10%
Output impedance 1000 + 10%
The insulation resistance is greater than or equal to 1000 M.
Safe overload rate of 150%F.S
Limit overload rate of 200%F.S
Working temperature range -20~60
Recommended operating voltage VDC 5~12
Maximum operating voltage 15 VDC
Material aluminum alloy
Protection class IP65
Cable with 0.8 * 25 cm
Table size 100 * 100 mm
Connection way Red: power +, black: power -, green: signal +, white: signal -
Output analog voltage signal
Full range voltage = excited voltage x sensitivity 1.0mv/v
Installation method: the cantilever beam is installed with the line of the other side of the fixed suspension of the other side above the weight
Installation method:
One end of the 1 sensor is fixed through a screw hole, and the other end is kept in a suspended state.
Indicates the direction of gravity. In particular, must pay attention to, must not be directly pressed white
Cover the rubber part so as not to damage the sensor.
2 full bridge structure, four leads, using simple, plus 5-10V drive voltage, force change
Direct output voltage signal. Size: 80X12.7X12.7mm
3 wiring: red line voltage +E, line voltage -E, green +S signal, -S signal line

Fuente: [9]

ANEXO G

Catálogo de funcionamiento y conexión Pt100

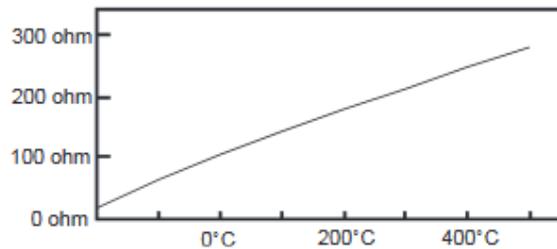


Pt100, su operación, instalación y tablas.

Que es un Pt100 ?

Un Pt100 es un sensor de temperatura. Consiste en un alambre de platino que a 0 °C tiene 100 ohms y que al aumentar la temperatura aumenta su resistencia eléctrica.

El incremento de la resistencia no es lineal pero si creciente y característico del platino de tal forma que mediante tablas es posible encontrar la temperatura exacta a la que corresponde.



Un Pt100 es un tipo particular de RTD (Dispositivo Termo Resistivo)

Normalmente las Pt100 industriales se consiguen encapsuladas en la misma forma que las termocuplas, es decir dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vainas), en un extremo está el elemento sensible (alambre de platino) y en el otro está el terminal eléctrico de los cables protegido dentro de una caja redonda de aluminio (cabezal).

Ventajas del Pt100

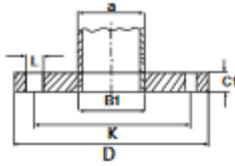
Por otra parte los Pt100 siendo levemente más costosos y mecánicamente no tan rígidos como las termocuplas, las superan especialmente en aplicaciones de bajas temperaturas. (-100 a 200 °).

ANEXO H

Ponderación de datos 20 últimas mediciones de todos los casos

PONDERACIÓN DE DATOS DE LAS ÚLTIMAS VEINTE MEDICIONES															
N°	MEDIDA	Caso 1	Caso 2	Caso 3	Caso 4	Caso 5	Caso 6	Caso 7	Caso 8	Caso 9	Caso 10	Caso 11	Caso 12	Caso 13	Caso 14
		Paso al Freno Abierto	Paso al Freno Cerrado	Paso al Freno Abierto	Paso al Freno Cerrado	Paso al Freno Abierto	Paso al Freno Cerrado	Paso al Freno Abierto	Paso al Freno Cerrado	Paso al Freno Abierto	Paso al Freno Cerrado	Paso al Freno Abierto	Paso al Freno Cerrado	Paso al Freno Abierto	Paso al Freno Cerrado
1	Presión atmosférica [bar]	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,74	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73	0,73
2	Temperatura atmosférica [°C]	20,70	21,07	21,52	21,81	22,36	22,31	22,51	22,63	23,25	23,02	23,42	23,60	21,34	21,82
3	Humedad relativa [%]	43,55	47,83	46,39	46,35	45,10	44,37	43,16	43,16	43,26	43,53	42,97	42,23	50,49	49,33
4	Densidad atmosférica [kg/m ³]	0,88	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,87	0,86	0,86	0,86	0,86	0,87	0,87
5	Presión diferencial [Pa]	117,44	120,99	124,60	127,68	222,88	219,92	347,85	345,47	526,38	521,71	650,39	654,88	908,76	904,10
6	Caudal volumétrico aire [l/min]	136,48	138,59	140,73	142,50	187,54	186,31	233,61	232,87	287,47	286,10	319,26	320,45	375,34	374,69
7	Caudal másico aire [kg/s]	1,99	2,02	2,05	2,07	2,71	2,70	3,38	3,36	4,12	4,11	4,57	4,59	5,41	5,39
8	Temperatura escape [°C]	122,49	136,66	167,44	174,48	192,04	198,76	226,58	231,42	260,21	263,45	300,23	295,96	326,65	288,64
9	Revoluciones [rpm]	1.703,23	1.704,59	1.912,88	1.905,65	2.124,91	2.112,78	2.325,61	2.301,90	2.530,52	2.520,24	2.709,32	2.714,08	3.052,22	3.047,34
10	Fuerza palanca par [N]	7,83	10,03	11,69	12,37	14,37	14,99	17,69	17,31	20,67	20,31	23,49	23,43	29,17	28,75
11	Par motor [Nm]	2,33	2,99	3,48	3,69	4,28	4,47	5,27	5,16	6,16	6,05	7,00	6,98	8,69	8,57
12	Masa combustible [Kg]	202,42	184,89	155,08	135,29	88,01	64,08	21,01	1,99	331,70	283,01	209,74	176,46	59,28	9,85
13	Caudal combustible [g/s]	0,07	0,07	0,08	0,08	0,11	0,11	0,14	0,14	0,20	0,21	0,22	0,22	0,30	0,29
14	Caudal agua freno [l/min]	14,28	0,41	14,21	0,56	14,23	0,80	14,08	0,55	14,20	1,41	14,14	1,58	14,00	0,75
15	Presión entrada freno [bar]	3,22	5,11	3,21	5,11	3,21	5,11	3,23	5,11	3,27	5,11	3,26	5,11	3,37	5,11
16	Presión salida freno [bar]	1,86	5,11	1,85	5,11	1,81	5,11	1,81	5,11	1,81	5,11	1,76	5,11	1,81	5,11
17	Potencia motor [kW]	0,42	0,53	0,70	0,74	0,95	0,99	1,28	1,24	1,63	1,60	1,99	1,98	2,78	2,73
18	Potencia freno [kW]	32,24	-	32,28	-	33,09	-	33,34	-	34,51	-	35,29	-	36,50	-
19	Eficiencia freno [%]	7,75	-	4,63	-	3,47	-	2,60	-	2,11	-	1,78	-	1,32	-
20	Eficiencia volumétrica [%]	77,81	78,94	71,43	72,61	85,69	85,61	97,53	98,22	110,30	110,22	144,68	114,63	119,39	199,38
21	Presión media [bar]	1,43	1,84	2,14	2,27	2,63	2,75	3,24	3,17	3,79	3,72	4,30	1,29	5,34	5,27
22	Estequiometría [%]	183,53	192,81	174,57	174,02	162,15	170,63	162,70	166,91	138,34	135,85	144,60	144,68	122,85	127,14
23	Calor primario [kW]	4,06	3,91	4,38	4,38	4,45	6,26	5,91	7,76	7,54	11,15	11,31	11,83	16,46	15,86
24	Eficiencia motor [%]	10,26	13,63	15,92	16,55	15,21	16,71	16,54	16,49	14,64	14,12	16,78	16,73	16,87	17,24

Fuente: Autor



Bridas planas de acero inoxidable

DIN-2502

Presión nominal 16 Kg/cm²

Tubo		Brida					Tornillos			Peso aprox. Kg
Díámetro Nominal	a	B1	D	C1	K	Canil.	Rosca	L		
DN	Pulg.	mm	mm	mm	mm	mm		mm		
15	1/2"	18	19	95	14	65	4	M12	14	0,684
		20	21							0,675
		21,3*	22							0,669
20	3/4"	23	24	105	16	75	4	M12	14	0,965
		25,4	26							0,947
		25,9*	27,6							0,936
25	1"	28	29	115	16	85	4	M12	14	1,15
		30	31							1,14
		33,7*	34,7							1,11
32	1 1/4"	38	39	140	16	100	4	M16	18	1,66
		42,4*	43,1							1,62
40	1 1/2"	43	44	150	16	110	4	M16	18	1,90
		44,5	45,5							1,89
50	2"	50,8	51,8	165	18	125	4	M16	18	2,58
		53	54							2,56
		60,3*	61,1							2,47
		63,5	64,5							2,43
65	2 1/2"	73	74	185	18	145	4	M16	18	3,2
		76,1*	77							3,0
80	3"	84	86	200	20	160	8	M16	18	3,91
		88,9*	90,3							3,79
100	4"	104	106	220	20	180	8	M16	18	4,31
		114,3*	115,9							4,03
125	5"	129	130,5	250	22	210	8	M16	18	5,86
		139,7*	141,6							5,46
150	6"	154	155,5	285	22	240	8	M20	22	6,8
		168,3*	170,5							6,57
200	8"	204	206	340	24	285	12	M20	22	10,23
		219,1*	221,8							9,31
250	10"	254	256	405	26	355	12	M24	26	15,2
		273*	276,2							13,4
300	12"	304	307	460	28	410	12	M24	26	18,3
		323,9*	327,6							17,4
350	14"	355,6*	359,7	520	30	470	16	M24	26	28,6
400	16"	406,4*	411	580	32	525	16	M27	30	30,9
450	18"	457,2*	462	640	42	585	20	M30	33	41,67
500	20"	508*	513,6	715	38	650	20	M30	33	54,0
600	24"	610*	616,5	840	42	770	20	M33	36	77,58

Calidad de material: A167 304 / 304 L, 316 / 316 L, duplex.
 Composición química: Ver página 8.
 Características mecánicas: Ver página 9.
 Tolerancias: Ver página 60.

* Estas dimensiones corresponden a ISO.
 Bajo consulta se puede fabricar bridas con espesor reducido, y en presiones nominales PN-6 (DIN 2573) y PN-25-40 (DIN 2503).

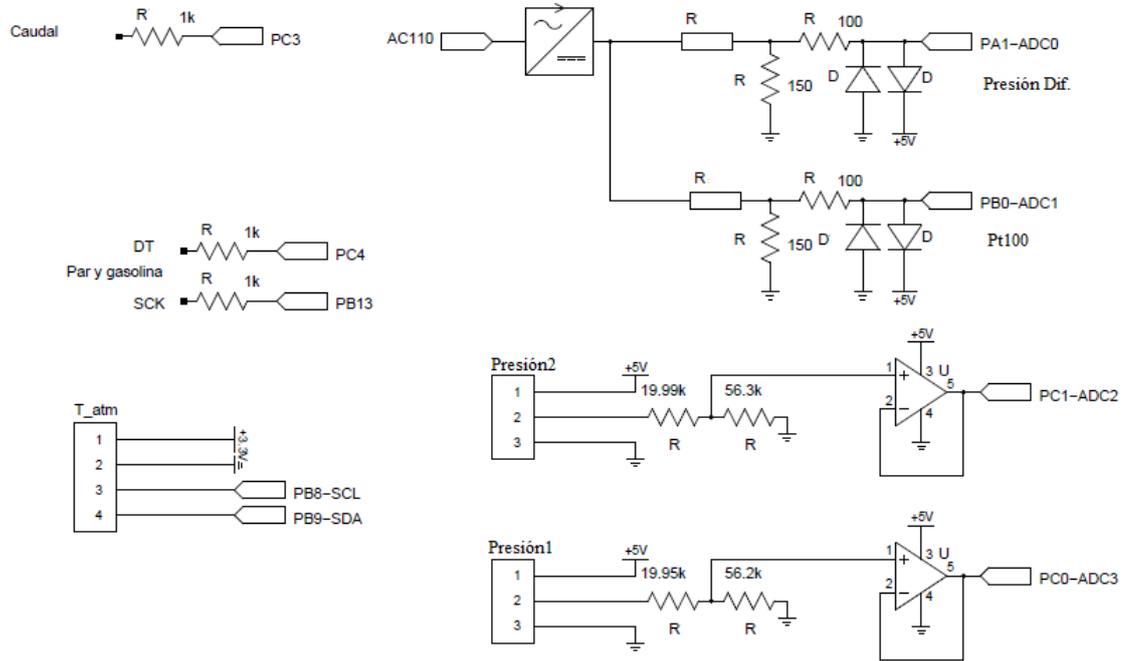
Fuente: [11]

Table 3 Thermodynamic Properties of Water at Saturation (Continued)

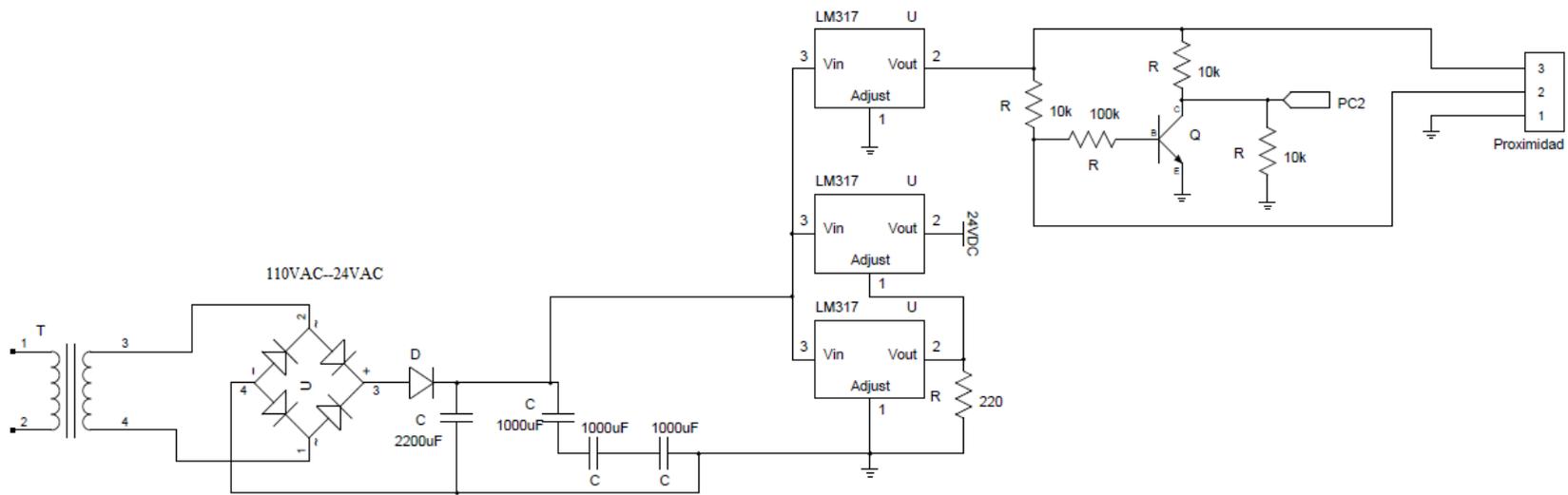
Temp., °C <i>t</i>	Absolute Pressure, kPa <i>p</i>	Specific Volume, m ³ /kg (water)			Specific Enthalpy, kJ/kg (water)			Specific Entropy, kJ/(kg·K) (water)			Temp., °C <i>t</i>
		Sat. Liquid <i>v_f</i>	Evap. <i>v_g</i>	Sat. Vapor <i>v_g</i>	Sat. Liquid <i>h_f</i>	Evap. <i>h_g</i>	Sat. Vapor <i>h_g</i>	Sat. Liquid <i>s_f</i>	Evap. <i>s_g</i>	Sat. Vapor <i>s_g</i>	
0	0.6112	0.001000	206.141	206.143	-0.04	2500.81	2500.77	-0.0002	9.1555	9.1553	0
1	0.6571	0.001000	192.455	192.456	4.18	2498.43	2502.61	0.0153	9.1134	9.1286	1
2	0.7060	0.001000	179.769	179.770	8.39	2496.05	2504.45	0.0306	9.0716	9.1022	2
3	0.7580	0.001000	168.026	168.027	12.60	2493.68	2506.28	0.0459	9.0302	9.0761	3
4	0.8135	0.001000	157.137	157.138	16.81	2491.31	2508.12	0.0611	8.9890	9.0501	4
5	0.8725	0.001000	147.032	147.033	21.02	2488.94	2509.96	0.0763	8.9482	9.0244	5
6	0.9353	0.001000	137.653	137.654	25.22	2486.57	2511.79	0.0913	8.9077	8.9990	6
7	1.0020	0.001000	128.947	128.948	29.42	2484.20	2513.62	0.1064	8.8674	8.9738	7
8	1.0728	0.001000	120.850	120.851	33.62	2481.84	2515.46	0.1213	8.8273	8.9488	8
9	1.1481	0.001000	113.326	113.327	37.82	2479.47	2517.29	0.1362	8.7878	8.9245	9
10	1.2280	0.001000	106.328	106.329	42.01	2477.11	2519.12	0.1511	8.7484	8.8995	10
11	1.3127	0.001000	99.812	99.813	46.21	2474.74	2520.95	0.1659	8.7093	8.8752	11
12	1.4026	0.001001	93.743	93.744	50.40	2472.38	2522.78	0.1806	8.6705	8.8511	12
13	1.4978	0.001001	88.088	88.089	54.59	2470.02	2524.61	0.1953	8.6319	8.8272	13
14	1.5987	0.001001	82.815	82.816	58.78	2467.66	2526.44	0.2099	8.5936	8.8035	14
15	1.7055	0.001001	77.897	77.898	62.97	2465.30	2528.26	0.2244	8.5556	8.7801	15
16	1.8184	0.001001	73.307	73.308	67.16	2462.93	2530.09	0.2389	8.5178	8.7568	16
17	1.9380	0.001001	69.021	69.022	71.34	2460.57	2531.92	0.2534	8.4804	8.7338	17
18	2.0643	0.001002	65.017	65.018	75.53	2458.21	2533.74	0.2678	8.4431	8.7109	18
19	2.1978	0.001002	61.274	61.273	79.72	2455.85	2535.56	0.2821	8.4061	8.6883	19
20	2.3388	0.001002	57.774	57.773	83.90	2453.48	2537.38	0.2964	8.3694	8.6658	20
21	2.4877	0.001002	54.450	54.500	88.08	2451.12	2539.20	0.3107	8.3329	8.6436	21
22	2.6448	0.001002	51.433	51.434	92.27	2448.75	2541.02	0.3249	8.2967	8.6215	22
23	2.8104	0.001003	48.562	48.563	96.45	2446.39	2542.84	0.3390	8.2607	8.5996	23
24	2.9851	0.001003	45.872	45.873	100.63	2444.02	2544.65	0.3531	8.2249	8.5780	24
25	3.1692	0.001003	43.350	43.351	104.81	2441.66	2546.47	0.3672	8.1894	8.5565	25
26	3.3631	0.001003	40.985	40.986	108.99	2439.29	2548.28	0.3812	8.1541	8.5352	26
27	3.5673	0.001004	38.766	38.767	113.18	2436.92	2550.09	0.3951	8.1190	8.5141	27
28	3.7822	0.001004	36.682	36.683	117.36	2434.55	2551.90	0.4090	8.0842	8.4932	28
29	4.0083	0.001004	34.726	34.727	121.54	2432.17	2553.71	0.4229	8.0496	8.4724	29
30	4.2460	0.001004	32.889	32.889	125.72	2429.80	2555.52	0.4367	8.0152	8.4519	30
31	4.4959	0.001005	31.160	31.161	129.90	2427.43	2557.32	0.4505	7.9810	8.4315	31
32	4.7585	0.001005	29.535	29.536	134.08	2425.05	2559.13	0.4642	7.9471	8.4112	32
33	5.0343	0.001005	28.006	28.007	138.26	2422.67	2560.93	0.4779	7.9133	8.3912	33
34	5.3239	0.001006	26.567	26.568	142.44	2420.29	2562.73	0.4915	7.8790	8.3713	34
35	5.6278	0.001006	25.212	25.213	146.62	2417.91	2564.53	0.5051	7.8465	8.3516	35
36	5.9466	0.001006	23.935	23.936	150.80	2415.53	2566.33	0.5186	7.8134	8.3320	36
37	6.2810	0.001007	22.733	22.734	154.98	2413.14	2568.12	0.5321	7.7805	8.3127	37
38	6.6315	0.001007	21.599	21.600	159.16	2410.76	2569.91	0.5456	7.7479	8.2934	38
39	6.9987	0.001008	20.529	20.530	163.34	2408.37	2571.71	0.5590	7.7154	8.2744	39
40	7.3835	0.001008	19.520	19.521	167.52	2405.98	2573.50	0.5724	7.6831	8.2555	40
41	7.7863	0.001008	18.567	18.568	171.70	2403.58	2575.28	0.5857	7.6510	8.2367	41
42	8.2080	0.001009	17.667	17.668	175.88	2401.19	2577.07	0.5990	7.6191	8.2181	42
43	8.6492	0.001009	16.818	16.819	180.06	2398.79	2578.85	0.6122	7.5875	8.1997	43
44	9.1107	0.001010	16.014	16.015	184.24	2396.39	2580.63	0.6254	7.5560	8.1814	44
45	9.5932	0.001010	15.255	15.256	188.42	2393.99	2582.41	0.6386	7.5247	8.1632	45
46	10.0976	0.001010	14.537	14.538	192.60	2391.59	2584.19	0.6517	7.4936	8.1452	46
47	10.6246	0.001011	13.858	13.859	196.78	2389.18	2585.96	0.6648	7.4626	8.1274	47
48	11.1751	0.001011	13.214	13.215	200.97	2386.77	2587.74	0.6778	7.4319	8.1097	48
49	11.7500	0.001012	12.606	12.607	205.15	2384.36	2589.51	0.6908	7.4013	8.0921	49
50	12.3499	0.001012	12.029	12.029	209.33	2381.94	2591.27	0.7038	7.3709	8.0747	50
51	12.9759	0.001013	11.482	11.483	213.51	2379.53	2593.04	0.7167	7.3407	8.0574	51
52	13.6290	0.001013	10.964	10.965	217.70	2377.10	2594.80	0.7296	7.3107	8.0403	52
53	14.3100	0.001014	10.473	10.474	221.88	2374.68	2596.56	0.7424	7.2809	8.0233	53
54	15.0200	0.001014	10.001	10.008	226.06	2372.26	2598.32	0.7552	7.2512	8.0064	54
55	15.7597	0.001015	9.563	9.5663	230.25	2369.83	2600.07	0.7680	7.2217	7.9897	55
56	16.5304	0.001015	9.147	9.1468	234.43	2367.39	2601.82	0.7807	7.1924	7.9731	56
57	17.3331	0.001016	8.744	8.7489	238.61	2364.96	2603.57	0.7934	7.1632	7.9566	57
58	18.1690	0.001016	8.3690	8.3700	242.80	2362.52	2605.32	0.8061	7.1342	7.9403	58
59	19.0387	0.001017	8.0094	8.0114	246.99	2360.08	2607.06	0.8187	7.1054	7.9240	59
60	19.944	0.001017	7.6677	7.6697	251.17	2357.63	2608.80	0.8313	7.0767	7.9079	60
61	20.885	0.001018	7.3428	7.3438	255.36	2355.19	2610.54	0.8438	7.0482	7.8920	61
62	21.864	0.001018	7.0337	7.0347	259.54	2352.73	2612.28	0.8563	7.0198	7.8761	62
63	22.882	0.001019	6.7397	6.7407	263.73	2350.28	2614.01	0.8688	6.9916	7.8604	63
64	23.940	0.001019	6.4599	6.4609	267.92	2347.82	2615.74	0.8812	6.9636	7.8448	64
65	25.040	0.001020	6.1935	6.1946	272.11	2345.36	2617.46	0.8936	6.9357	7.8293	65
66	26.180	0.001020	5.9397	5.9409	276.30	2342.89	2619.19	0.9060	6.9080	7.8140	66
67	27.366	0.001021	5.6982	5.6992	280.49	2340.42	2620.90	0.9183	6.8804	7.7987	67
68	28.596	0.001022	5.4680	5.4690	284.68	2337.95	2622.62	0.9306	6.8530	7.7836	68

ANEXO K

DIAGRAMA ELECTRÓNICO



Fuente: Autor



Fuente: Autor

**MANUAL DE
FUNCIONAMIENTO
DEL BANCO DE
PRUEBAS DE
MOTORES DE
COMBUSTIÓN
INTERNA**

VERIFICACIÓN PRE-ENCENDIDO

Se debe tomar en cuenta varios aspectos impostergables para el encendido del sistema.

Verificación del sistema de bombeo.

Verificar si el sistema de bombeo: el depósito de agua se encuentra a nivel pertinente para la admisión a la bomba de agua.

Comprobar que el agua se encuentre sin impurezas o sucia conteniendo material que pudiera dañar a la bomba.

Verificación de suministro de energía

Verificar que la caja de control no se encuentre en su interior cables sueltos o impurezas como limallas o pedazos algún material ajeno a la composición del sistema.

Comprobar que los switch de encendido que se encuentran en la caja de control se encuentren apagados para los dos sistemas: sistema y bomba.

Antes de encender el sistema es necesario verificar que en el equipo no se encuentre ningún tipo de herramienta o cualquier cosa que sea ajena al equipo, encima o debajo del banco de pruebas.

PUESTA EN MARCHA DE LOS SISTEMAS

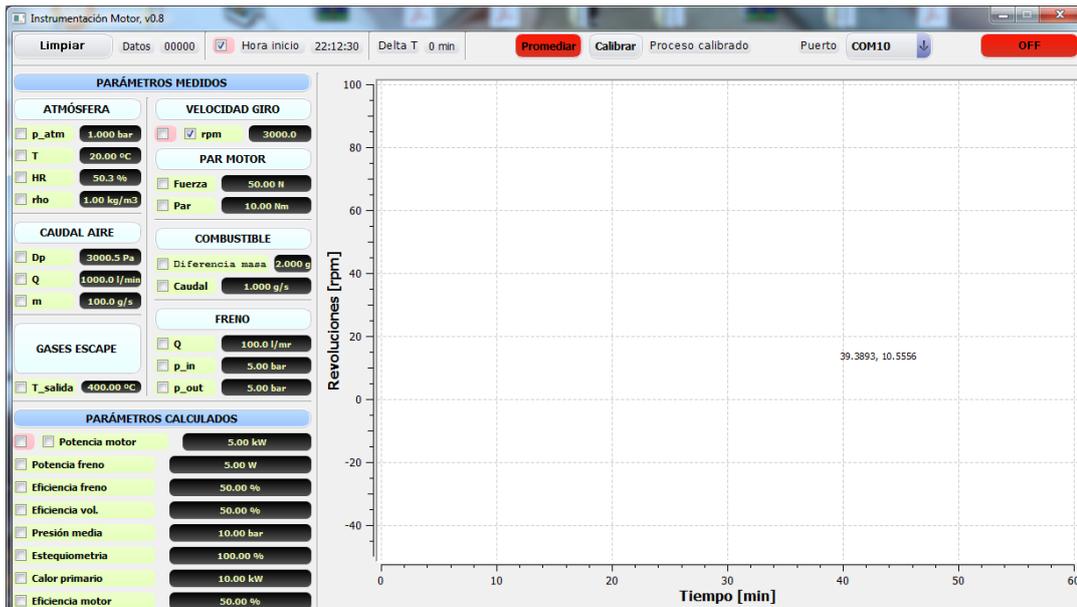
ENCENDIDO DEL SISTEMA DE ALIMENTACIÓN

Conectar el cable de alimentación de energía al sistema a 110 voltios

Encender el sistema como se muestra en la caja de control.

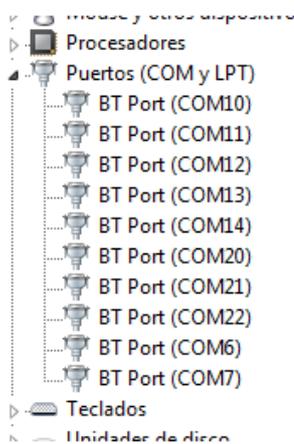
ENCENDIDO DE INTERFAZ

1. Abrir el ícono que se encuentra en el ordenador (Instrumentación Motor).
Una vez abierto el programa se visualiza en una ventana que presenta varios parámetros de funcionamiento medidos y calculados, los mismos que son graficados realizando curvas de distinto comportamiento según los parámetros que se deseen visualizar.

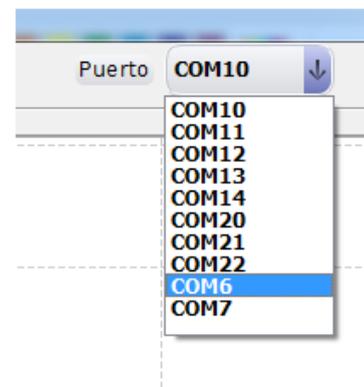


2. Conectar el cable USB del banco de pruebas al ordenador.
3. Verificar el puerto del banco de pruebas en el ordenador y de igual forma en la interfaz.

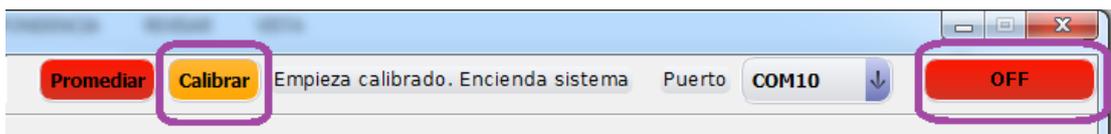
Dispositivos ordenador



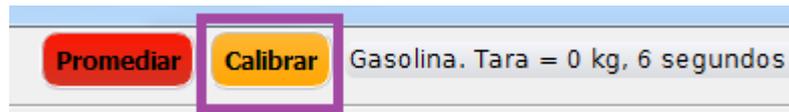
Dispositivos interfaz



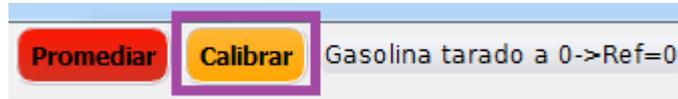
4. Darle a Calibrar y nos sale un mensaje que debemos encender el sistema por lo tanto damos un clic en off para encender sistema



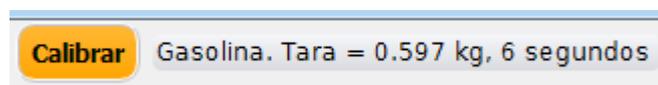
5. Damos a Calibrar y esperamos que el sistema se tare, primero el de combustible y posteriormente el del freno hidráulico. Hasta que salga tara = 0 kg



6. Damos otro clic en Calibrar y nos tara a 0 la referencia

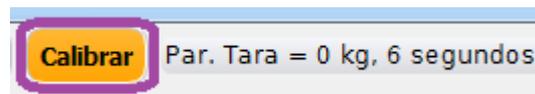


7. Colocamos el sólido de calibración de color negro en el tanque de combustible y damos un clic en Calibrar cuando el sistema se encuentre en tara =0.597kg.

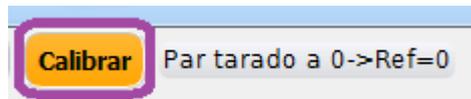


Cuando se visualice tara = 0.597 kg colocamos el sólido de calibración

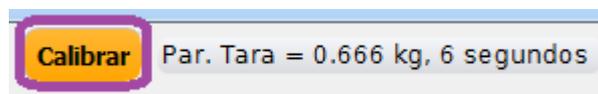
8. Después damos clic a Calibrar y comenzamos con la calibración del sensor para el freno hidráulico hasta que aparezca:



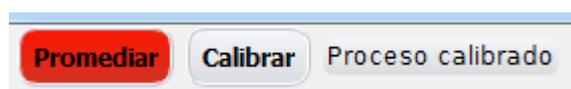
Esperamos seis segundos y damos nuevamente a Calibrar.



9. Colgamos el sólido de calibración negro que se encuentra al lado del brazo del freno cuando: Par. Tara=0.666 kg



10. Damos nuevamente otro clic y retiramos el sólido de calibración, damos otro clic hasta que aparezca:



La calibración se la debe hacer con el tanque de combustible vacío para que el sistema trabaje de forma exacta.

ENCENDIDO DEL MOTOR

1. Colocar en ON el botón del motor, poner la manija del paso de combustible en CHOKE y jalar la manija del rotor.
2. Esperar un periodo de tiempo prudencial e ir colocando la palanca de CHOKE en RUN según se vaya calentando el motor

FUNCIONAMIENTO INTERFAZ Y GRÁFICAS

Los recuadros que se encuentran en la parte izquierda de la pantalla de la interfaz en color verde nos permiten graficar en el eje (y), y los recuadros de color rojo nos permiten graficar en el eje (x), utilizados para la construcción de las gráficas deseadas.



Cuando le damos al botón Limpiar reinicia el programa y comienza nuevamente a la toma de datos, los mismos que son almacenados en un DataBase generado por la interfaz.

EJECUCIÓN DE LA PRÁCTICA

Realizados los parámetros mencionados anteriormente iniciamos la práctica de laboratorio, es necesario recordar que el motor se caliente por aproximadamente 3 minutos para evitar transitorios no deseados. Este es un paso obligatorio.

- Se deben ir variando las revoluciones aproximadamente cada 2 minutos para obtener graficas con más consistencia de puntos, variarlas cada 200 rpm hasta llegar al máximo de rpm entregado por el motor.
- Y se va observando cómo van variando los demás parámetros en la interfaz.
- Se necesita variar parámetros como par motor vs rpm, potencia motor vs rpm, eficiencia volumétrica vs rpm, presión media vs rpm, eficiencia motor vs rpm, caudal de combustible vs potencia motor, eficiencia motor vs potencia motor.
- Antes de variar estos parámetros en la construcción de las curvas es obligatorio dar un clic en promediar y cambia el botón a verde para la interpretación de estas gráficas.

Después de la finalización del análisis de estas curvas generadas comentar al final de la práctica que es lo que sucede en cada una de las variaciones de los parámetros mencionados con anterioridad.

PLANOS

1

2

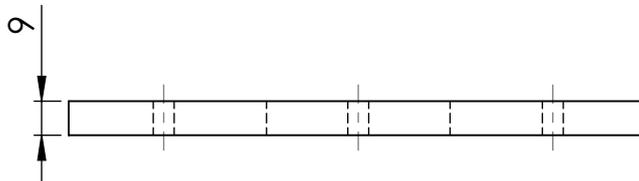
3

4

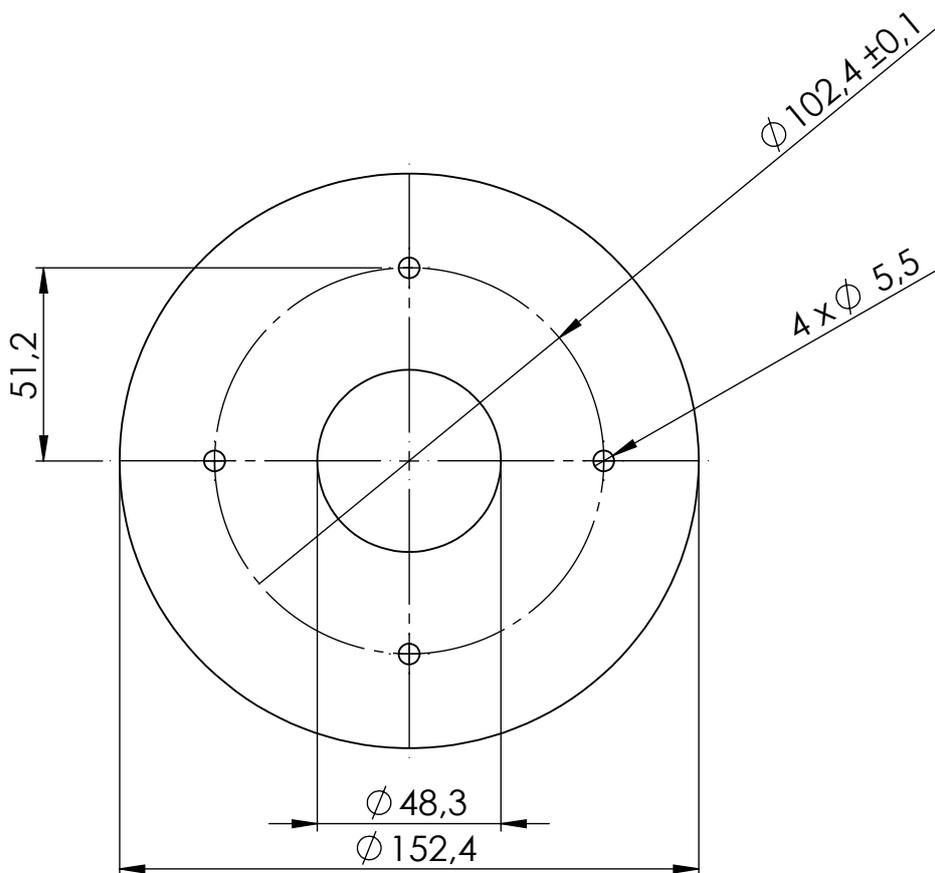
A

N7

B



C



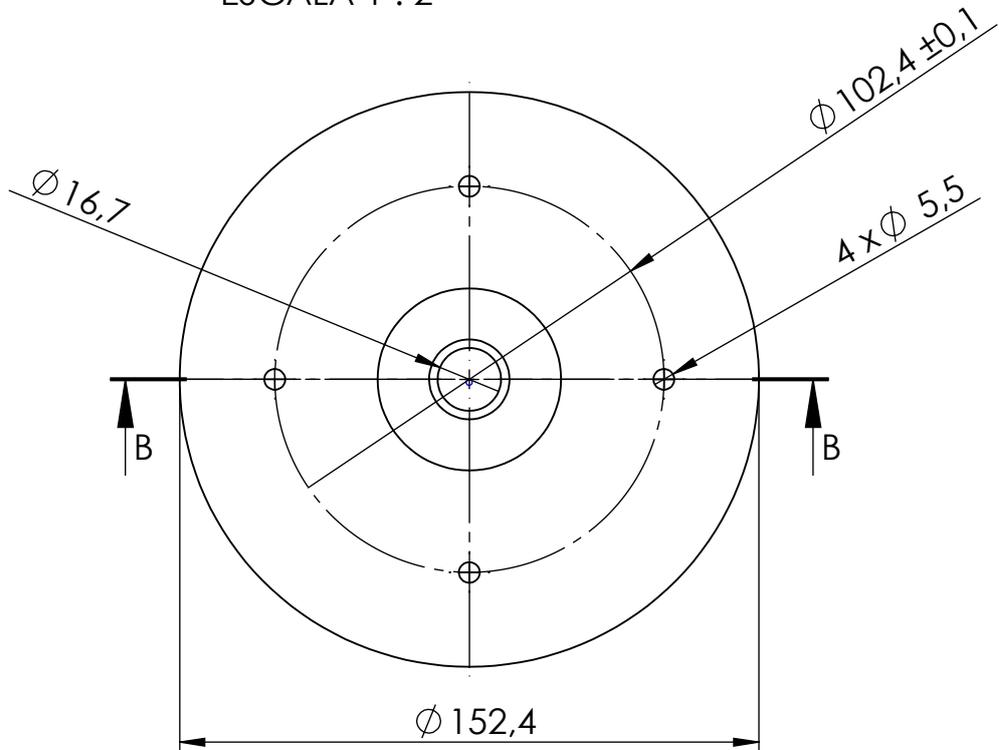
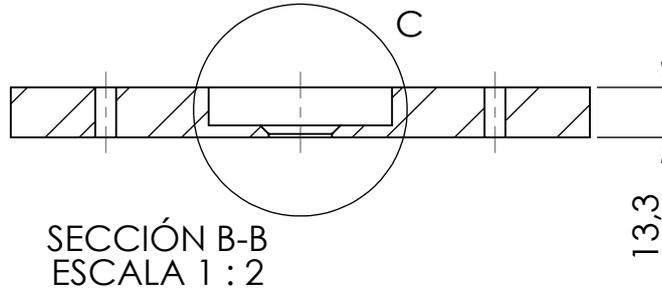
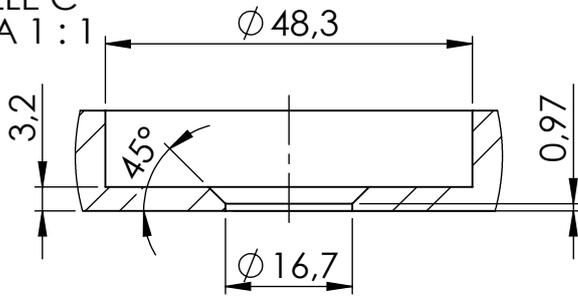
D

E

				TOLERANCIA: ±0.1	PESO: 1174.62 gr	MATERIAL: AISÍ 304	
						TÍTULO: BRIDA AGUAS ARRIBA	ESCALA: 1:2
				DIBUJÓ: 02/01/2017 Ricardo Tapia	NOMBRE		
				REVISÓ: 03/01/2017 Ing. Javier Garcia, PhD	APROBÓ: 03/01/2017 Ing. Javier Garcia, PhD		
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA 2 DE 5	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:			SUSTITUCIÓN:	

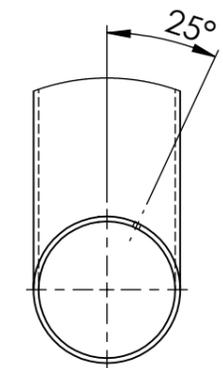
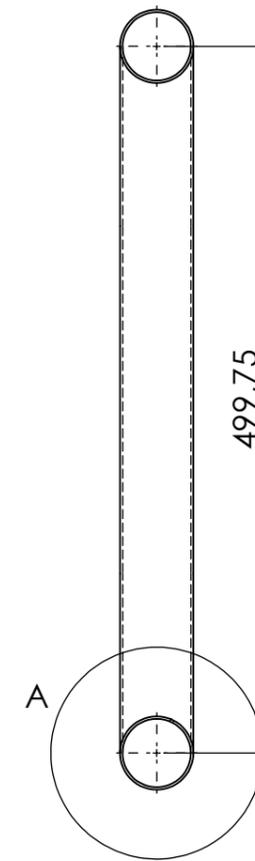
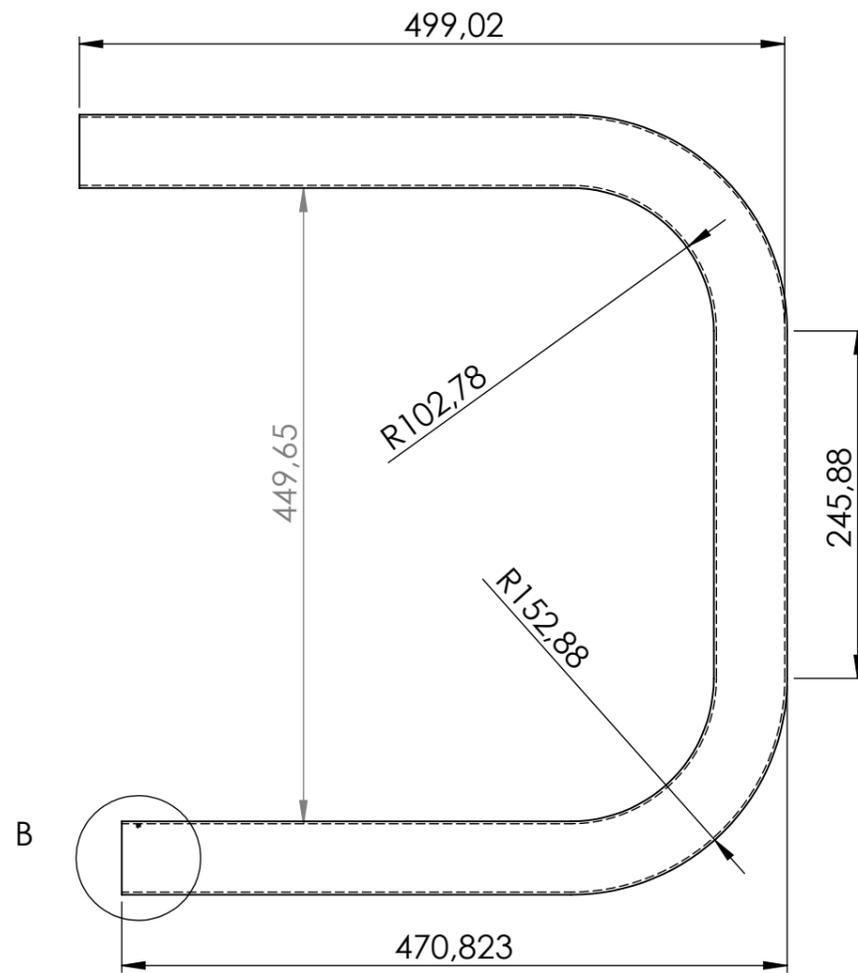
DETALLE C
ESCALA 1 : 1

N7

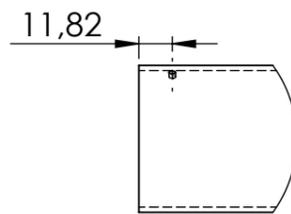


				TOLERANCIA: ±0.01	PESO: 1775.99 gr	MATERIAL: AISÍ 304	
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO: Placa de orificio en brida	ESCALA: 1 : 2
				DIBUJÓ: 02/01/2017	Ricardo Tapia		
				REVISÓ: 03/01/2017	Ing. Javier Garcia, PhD		
				APROBÓ: 03/01/2017	Ing. Javier Garcia, PhD	N.º DE LÁMINA 3 De 5	REGISTRO:
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		SUSTITUCIÓN:	

Tubería de 2" de diámetro
1.8 mm espesor



DETALLE A
ESCALA 2 : 5



DETALLE B
ESCALA 2 : 5

				TOLERANCIA:	PESO:	MATERIAL:		
				±0.1	3610.42 gr	AISI 304		
				FECHA	NOMBRE	TÍTULO:		ESCALA:
				DIBUJÓ: 03/01/2017	Ricardo Tapia	Conducto aguas arriba		1:5
				REVISÓ: 10/04/2017	Ing. Javier García, PhD.			
				APROBÓ: 10/04/2017	Ing. Javier García, PhD.			
				U.T.A.		N.º DE LÁMINA		REGISTRO:
				INGENIERÍA MECÁNICA		4 De 5		
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:				

1

2

3

4

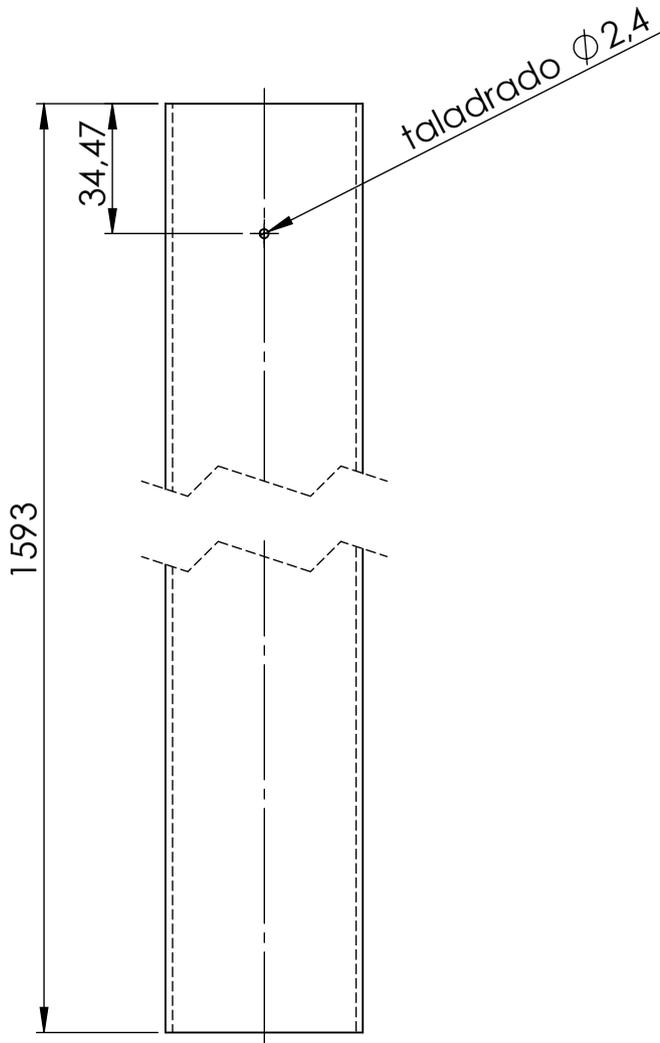
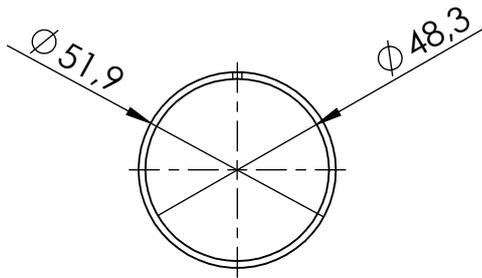
A

B

C

D

E



				TOLERANCIA: ± 0.01	PESO: 2970.22 gr	MATERIAL: AISI 304	
					FECHA	NOMBRE	TÍTULO:
				DIBUJÓ:	02/01/2017	Ricardo Tapia	Conducto aguas abajo
				REVISÓ:	03/01/2017	Ing. Javier Garcia, PhD	
				APROBÓ:	03/01/2017	Ing. Javier Garcia, PhD	
				U.T.A. INGENIERÍA MECÁNICA		N.º DE LÁMINA	ESCALA:
						5 DE 5	1:2
EDICIÓN:	MODIFICACIÓN:	FECHA:	NOMBRE:	SUSTITUCIÓN:		REGISTRO:	