

DISEÑO DE UN ANALIZADOR DE MOTORES RECIPROCANTES DE
COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA O A GAS

JUAN SEBASTIÁN ELEJALDE SIERRA
ALEJANDRO MEJÍA CARDONA

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

DISEÑO DE UN ANALIZADOR DE MOTORES RECIPROCANTES DE
COMBUSTIÓN INTERNA A GASOLINA O A GAS

JUAN SEBASTIÁN ELEJALDE SIERRA
ALEJANDRO MEJÍA CARDONA

Proyecto de grado para optar por el
Título de Ingeniero Mecánico

Asesor

Adalberto Gabriel Díaz Torres

UNIVERSIDAD EAFIT
ESCUELA DE INGENIERÍA
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA
MEDELLÍN
2010

TABLA DE CONTENIDO

	pág.
0.	INTRODUCCIÓN 13
1.	OBJETIVOS 14
1.1.	OBJETIVO GENERAL 14
1.2.	OBJETIVOS ESPECÍFICOS 14
2.	ESTADO DEL ARTE 15
2.1.	CLASIFICACIÓN DE MOTORES..... 15
2.1.1.	IGNICIÓN O ENCENDIDO 16
2.1.1.1.	Motor Otto: 16
2.1.1.2.	Motor diésel: 16
2.1.2.	CICLO DEL MOTOR..... 17
2.1.2.1.	Ciclo de cuatro tiempos:..... 17
2.1.2.2.	Ciclo de dos tiempos:..... 17
2.2.	ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO Y CONDICIÓN MECÁNICA 18
2.2.1.1.	Posición angular del cigüeñal 19
2.2.1.2.	Presión dinámica de cilindros 20
2.2.1.3.	Vibración en el motor 21
2.2.1.4.	Emisiones ultrasónicas 22
2.3.	SENSORES DE PRESIÓN 23
2.3.1.	Medición de presión 26
2.3.2.	Acondicionamiento de señal 27
2.3.2.1.	Completación del puente 27
2.3.2.2.	Excitación..... 27
2.3.2.3.	Detección remota 28
2.3.2.4.	Amplificación 28
2.3.2.5.	Filtración 28
2.3.2.6.	Offset. 28

2.3.2.7.	Calibración con derivación.....	29
2.4.	BUJÍA.....	29
2.4.1.	Aislante	30
2.4.2.	Electrodos	31
2.4.3.	Grado térmico de la bujía.....	31
2.5.	SISTEMA OBD (ON BOARD DIAGNOSTIC).....	32
2.5.1.	OBD	33
2.5.2.	EOBD.....	33
2.6.	TERMOGRAFÍA INFRARROJA.....	34
2.6.1.	Fundamentos de la termografía por infrarrojos	34
2.6.2.	Usos de la termografía.....	35
2.7.	TERMOCUPLAS.....	35
2.7.1.	Tipos de termocuplas.....	36
2.8.	PROCESAMIENTO DE SEÑALES	38
2.8.1.	Sistema digital.....	38
2.8.2.	Sistema analógico.....	39
2.8.3.	Digitalización	39
2.8.3.1.	Muestreo	40
2.8.3.2.	Retención	40
2.8.3.3.	Cuantificación	40
2.8.3.4.	Codificación	41
2.9.	MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS (MEF).....	41
2.9.1.	Análisis de Elementos Finitos (AEF).....	43
2.9.1.1.	Análisis por elementos finitos.....	44
2.10.	CRITERIO DE VON MISES	45
3.	MONTAJE SENSOR DE PRESIÓN.....	47
3.1.	SENSOR DE PRESIÓN AUTOPSI-TC	47
3.2.	BUJÍA.....	48
3.3.	ADAPTADOR.....	49
3.3.1.	Análisis de elementos finitos.....	50

3.3.1.1.	Preprocesamiento	50
3.3.1.2.	Resultados	54
3.4.	MONTAJE	55
3.4.1.	Resina epóxica	55
3.4.2.	Masilla epóxica	56
3.4.3.	Soldadura de plata	56
4.	MONTAJE TERMOCUPLA	57
4.1.	CALIBRACIÓN DEL CIRCUITO AMPLIFICADOR.....	58
5.	PRUEBA	60
5.1.	Termografía	60
5.2.	Presión.....	62
5.3.	Temperatura.	62
5.4.	Resultados	62
6.	CONCLUSIONES	64
7.	RECOMENDACIONES	65
8.	BIBLIOGRAFÍA	66

LISTA DE ILUSTRACIONES

	pág.
Ilustración 1 Motor combustión interna alternativo	15
Ilustración 2 Motor de cuatro tiempos	17
Ilustración 3 Motor de dos tiempos	18
Ilustración 4 Analizador de MRCI'S.....	19
Ilustración 5 Posición angular	20
Ilustración 6 Medición de presión.....	21
Ilustración 7 Vibración en motores	22
Ilustración 8 Ultrasonido en motores.....	23
Ilustración 9 Sección transversal de un sensor Strain Gage.....	24
Ilustración 10 Sensor de presión de capacitancia.....	25
Ilustración 11 Sensor de presión piezoeléctrico.....	26
Ilustración 12 Completación del puente	27
Ilustración 13 Calibración con derivación.....	29
Ilustración 14 Partes de una bujía.....	30
Ilustración 15 Grado de las bujías.....	32
Ilustración 16 Tipos de termocuplas	38
Ilustración 17 Conversión A/D.....	41
Ilustración 18 Malla de métodos de elementos finitos.....	43
Ilustración 19 Análisis estadístico no lineal en Code-Aster en CAELinux	44
Ilustración 20 Diagrama $\sigma_A - \sigma_B$	46
Ilustración 21 Sensor de Presión	48
Ilustración 22 Bujía Champion RC21	48
Ilustración 23 - Corte bujía	49
Ilustración 24 Adaptador	50
Ilustración 25 Restricción.....	51
Ilustración 26 Presión	52

Ilustración 27 Temperatura	53
Ilustración 28 Esfuerzo de Von Mises	54
Ilustración 29 Factor de seguridad	55
Ilustración 30 Soldadura adaptador	56
Ilustración 31 Amplificador AD620	57
Ilustración 32 Circuito amplificador	57
Ilustración 33 Montaje termocupla	58
Ilustración 34 Montaje para calibración de circuito amplificador	59
Ilustración 35 Valores de calibración	59
Ilustración 36 Llave de bujía	60
Ilustración 37 Toma de termografía	61
Ilustración 38 Termografía exterior bujías	61
Ilustración 39 Lector de temperatura	62
Ilustración 40 Resultados Presión vs RPM	63

LISTA DE TABLAS

pág.

Tabla 1 Resultados prueba temperatura.....	63
--	----

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo 1 Plano de dibujo del adaptador	69
Anexo 2 Resultados estudio FEM.....	70

0. INTRODUCCIÓN

Este proyecto pretende realizar un analizador de MRCl's (Motores Reciprocantes de Combustión Interna), en el cual se implementa medición de presión y medición de la temperatura dentro de la cámara de combustión por medio de la adaptación de un sensor de presión y una termocupla a dos bujías respectivamente. Esta última sirve como una primera aproximación en lo que respecta a este parámetro de funcionamiento del motor, el cual da pie para futuras investigaciones en el laboratorio del grupo de motores de combustión.

El proyecto de grado que antecede, Diseño de un sistema de adquisición de datos para un motor de combustión interna de cuatro tiempos de Renault Twingo, tiene como fin obtener la descripción del funcionamiento del motor de combustión interna de cuatro tiempos por medio del software LabView. Los parámetros que se obtienen por medio de él son:

- RPM del motor.
- Temperatura del refrigerante del motor.
- Cantidad de aire aspirado por los cilindros.
- Posición de la mariposa de aceleración, apertura de los inyectores y cantidad de Oxígeno (Hoyos, y otros, 2008).

Por lo tanto el presente proyecto sirve como complemento para este sistema de adquisición de datos a la vez que lo utiliza para la toma de datos y pruebas de funcionamiento de los sensores.

1. OBJETIVOS

1.1. OBJETIVO GENERAL

Diseñar un analizador de MRCl's a gasolina o a gas, para evaluar el desempeño y la condición mecánica por medio de sensores de presión.

1.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS

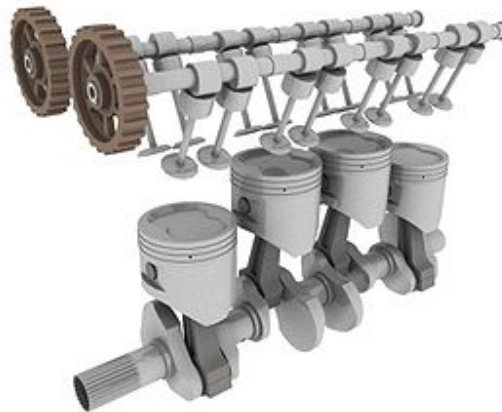
- Registrar los principios relevantes de MRCl's, de analizadores de motores, de sensores de presión, procesamiento de señales, termografía infrarroja y termopares. Nivel 1 – Conocer.
- Diseñar y garantizar el correcto montaje para un sensor de presión en una bujía comercial para un MRCl's a gasolina o a gas e instalar un termopar en una bujía. Nivel 2 – Comprender.
- Probar el montaje del sensor para detectar y corregir posibles fallas, así como conocer temperaturas de funcionamiento para realizar un control de calidad del sensor de presión. Nivel 3 – Aplicar.
- Construir un analizador de presión y temperatura de MRCl's impulsados por gasolina o gas. Nivel 4– Analizar.
- Concluir sobre los principales resultados obtenidos.

2. ESTADO DEL ARTE

Los motores de combustión interna alternativos, vulgarmente conocidos como motores de explosión (gasolina) y motores diésel, son motores térmicos en los que los gases resultantes de un proceso de combustión empujan un émbolo o pistón, desplazándolo en el interior de un cilindro y haciendo girar un cigüeñal, obteniendo finalmente un movimiento de rotación.

El funcionamiento cíclico de estos motores implica la necesidad de sustituir los gases de la combustión por nueva mezcla de aire y combustible en el interior del cilindro; este proceso se denomina renovación de la carga (SALVAT, 1974).

Ilustración 1 Motor combustión interna alternativo



(WIKIPEDIA@, 2009)

2.1. CLASIFICACIÓN DE MOTORES

Los motores mencionados se pueden clasificar de la siguiente manera:

2.1.1. IGNICIÓN O ENCENDIDO

2.1.1.1. Motor Otto:

El motor Otto o de encendido provocado es en el que la combustión se inicia mediante una chispa. Los primeros motores incorporaban una llama externa para el encendido, sin embargo este sistema quedó pronto obsoleto siendo sustituido por un tubo caliente que se empleó hasta la Primera Guerra Mundial. Desde entonces, la ignición es eléctrica (bujía) ya que permite controlar la ignición (el momento en el que se ha de producir) y subsana los problemas de reducida vida útil y riesgo de explosión de los sistemas anteriores.

Los motores no pueden alcanzar grandes presiones (alrededor de 60 veces la presión atmosférica), limitándose en la práctica hasta relaciones de compresión de 11 a 1, mientras que los motores diésel pueden alcanzar valores de hasta 21 a 1, ya que el combustible diesel es introducido en la cámara de combustión en el momento preciso de la ignición, y no antes de la compresión (SALVAT, 1974).

2.1.1.2. Motor diésel:

El motor diésel o de encendido por compresión es en el que la compresión de la mezcla es suficiente para provocar su autoinflamación. En este motor se utilizan valores elevados de compresión para lograr lo que se denomina "temperatura de ignición" cuando el pistón se encuentra en el PMS (punto muerto superior), y es en ese momento cuando se inyecta el combustible dentro de la cámara por medio de una bomba de alta presión y un inyector, variando la cantidad de combustible para controlar la potencia entregada por el mismo.

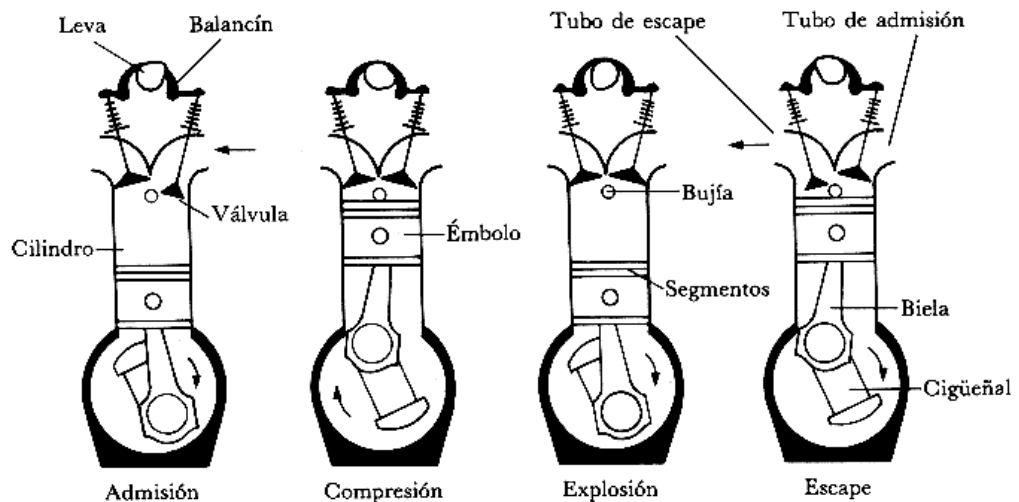
Los motores diésel obtienen rendimientos superiores al de ciclo Otto, mientras gran parte por la compresión a la que pueden trabajar, aprovechando mejor el combustible ya que son del tipo mezcla pobre (WIKIPEDIA@, 2009).

2.1.2. CICLO DEL MOTOR

2.1.2.1. Ciclo de cuatro tiempos:

El ciclo de cuatro tiempos es en el que el ciclo termodinámico se completa en cuatro carreras del émbolo y dos vueltas del cigüeñal. En estos motores, la renovación de la carga se controla mediante la apertura y cierre de las válvulas de admisión y escape(SALVAT, 1974).

Ilustración 2 Motor de cuatro tiempos

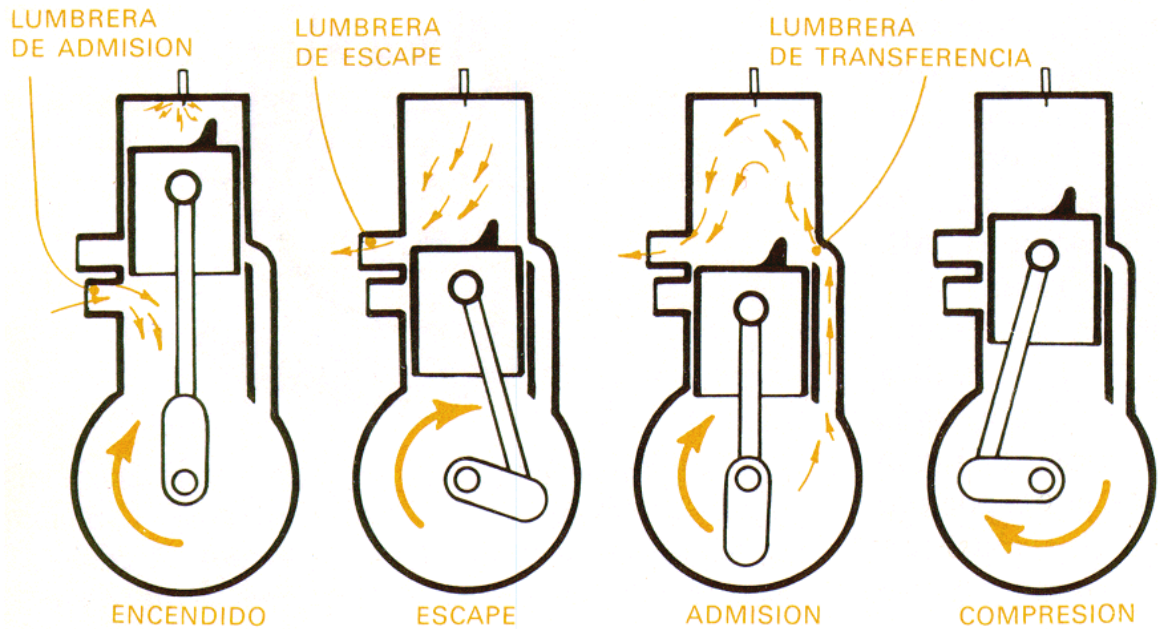


(ILCE@, 2009)

2.1.2.2. Ciclo de dos tiempos:

El ciclo de dos tiempos es en el que el ciclo termodinámico se completa en dos carreras del émbolo y una vuelta del cigüeñal. La renovación de la carga se logra por barrido, al desplazar la nueva mezcla los gases de la combustión previa, sin la necesidad de válvulas, ya que es ahora el propio émbolo el que con su movimiento descubre las lumbreras de admisión y escape regulando el proceso.(WIKIPEDIA@, 2009)

Ilustración 3 Motor de dos tiempos



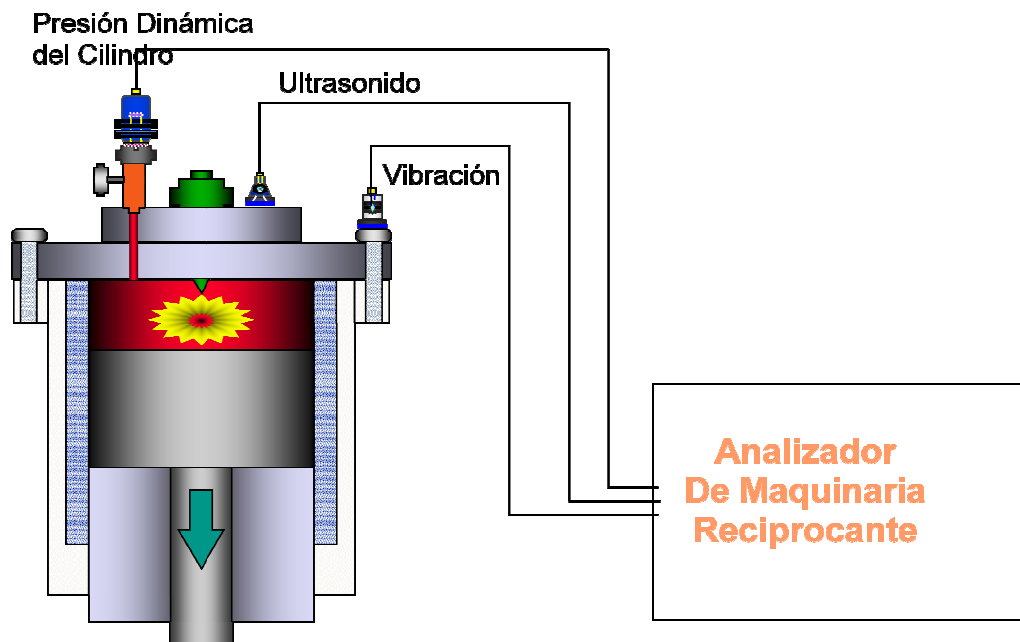
(MOTORES@, 2009)

2.2. ANÁLISIS DEL DESEMPEÑO Y CONDICIÓN MECÁNICA

El análisis se basa en la medición sincronizada al ciclo del motor de parámetros en el dominio del tiempo como:(SINGESI, 2002)

- Posición angular del cigüeñal.
- Presión dinámica de cilindros.
- Vibraciones mecánicas.
- Emisiones Ultrasónicas.
- Ignición en sistemas primario & secundario.

Ilustración 4 Analizador de MRCI'S



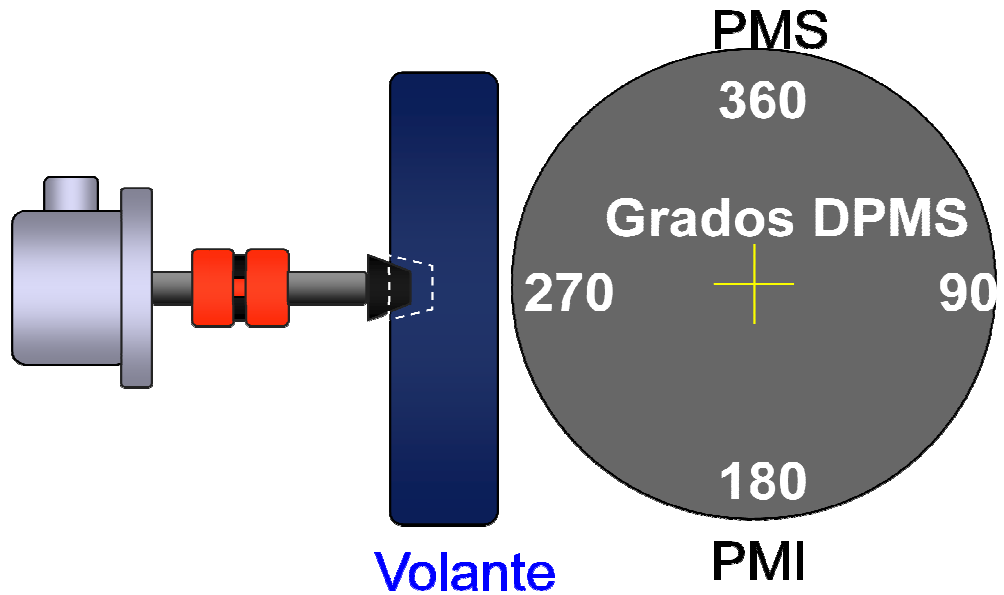
(SINGESI, 2002)

Las mediciones se efectúan empleando analizadores especializados para maquinaria recíprocante.

2.2.1.1. Posición angular del cigüeñal

La medida se realiza utilizando un *encoder* impulsado por el eje, el cual proporciona 1 señal/rev (RPM), 1 señal/grado (posición angular) y sensa variaciones en la velocidad. La otra opción es usar *pickups* ópticos o magnéticos proporcionando 1señal/rev (SINGESI, 2002).

Ilustración 5 Posición angular



(SINGESI, 2002)

2.2.1.2. Presión dinámica de cilindros

La medición de la presión dinámica de los cilindros se realiza por medio de un medidor de presión conectado en la culata por medio de una válvula especial (SINGESI, 2002).

Ilustración 6 Medición de presión



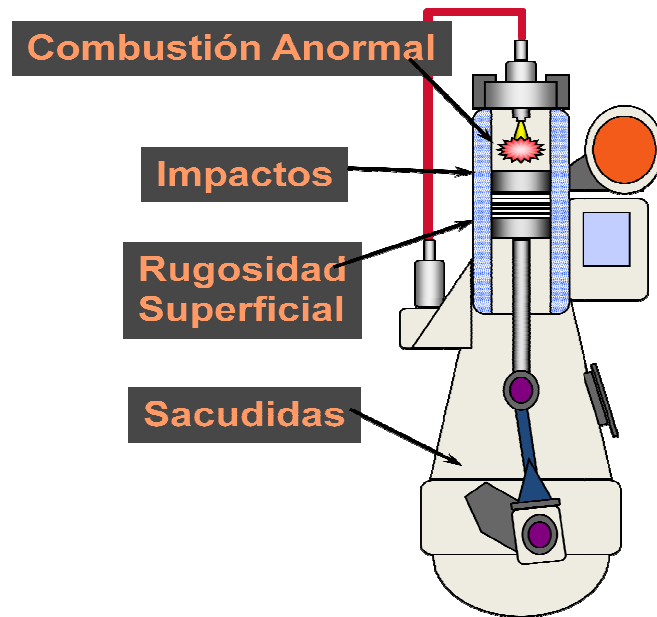
(SINGESI, 2002)

2.2.1.3. Vibración en el motor

La medición se toma para frecuencias de 1 a 10000Hz. Estas son causadas por:

- Combustión
- Apertura y cierre de válvulas
- Golpes de pistón
- Actividad de anillos de pistón
- Exceso de tolerancia en cojinetes
- Impactos fuera de fase
- Soltura de contrapesos
- Rotura en elementos de fijación

Ilustración 7 Vibración en motores



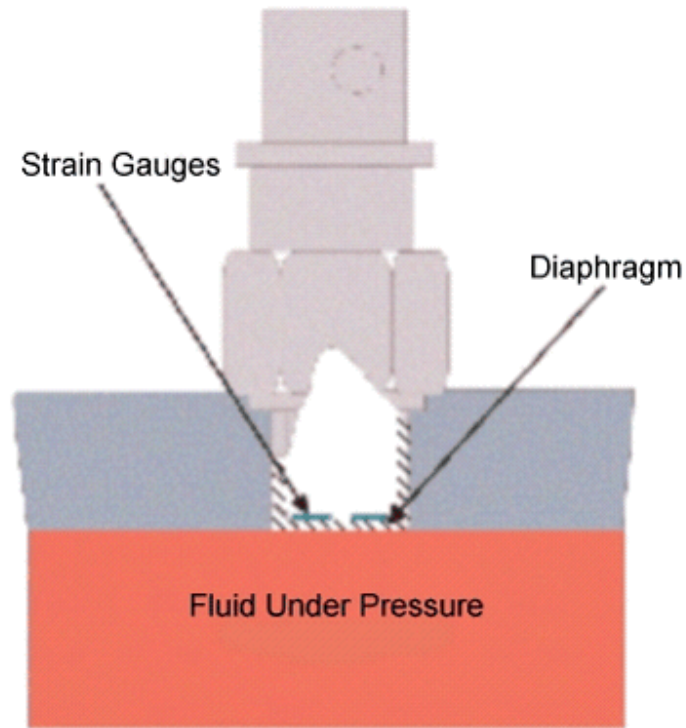
(SINGESI, 2002)

2.2.1.4. Emisiones ultrasónicas

La medición para ruido ultrasónico se toma en el rango de 40000Hz. Estos ruidos son causados por:

- Desempeño de Inyectores y válvulas de combustible.
- Paso de gases por anillos de pistón.
- Fisuras en culatas y coronas de pistón.
- Fugas en empaques de culata.
- Deterioro en anillos de pistón.
- Falla en la lubricación del cilindro.
- Rugosidad en camisas de cilindros.

Ilustración 9 Sección transversal de un sensor Strain Gage



(ROBOTS_ARGENTINA@, 2009)

El cambio en la presión hace que el diafragma se deforme, un cambio correspondiente en la resistencia es inducida en el indicador de esfuerzo, que puede ser medida por un sistema de adquisición de datos.

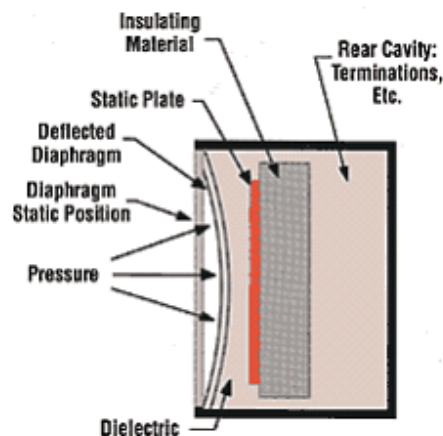
El sensor de presión strain gage tiene pegado en la superficie de una lamina metálica en donde se va a medir el esfuerzo. Esta lamina de strain gage ha sido el estándar industrial por años y es utilizada continuamente por su rápido tiempo de respuesta a los cambios en la presión (1000 Hz) y a su gran temperatura de operación (-425°F y 525°F).

Los fabricantes de circuitos integrados han desarrollado sensores de presión compuestos que son fáciles de usar. Normalmente estos dispositivos usan un

diafragma semiconductor en el que hay un indicador de esfuerzo y un sensor de temperatura compensada. En los circuitos integrados se incluyen condiciones de señal apropiadas, proporcionando un voltaje dc o una corriente lineal proporcional a la presión sobre el rango especificado.

La capacitancia entre 2 discos metálicos cambia si la distancia entre los discos cambia. Un transductor de presión de capacitancia variable, mide el cambio de capacitancia entre un diafragma metálico y un disco metálico fijo. Estos sensores de presión son en general muy estables, pero son sensibles a altas temperaturas y son más complicados de funcionar que la mayoría de sensores de presión.

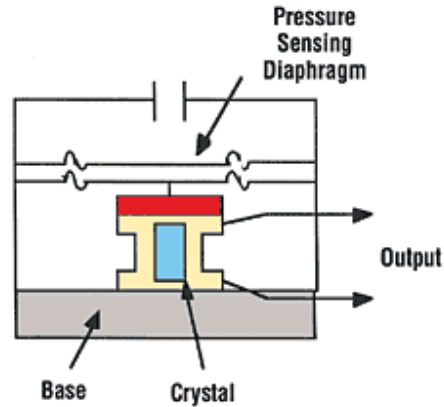
Ilustración 10 Sensor de presión de capacitancia



(ROBOTS_ARGENTINA@, 2009)

Los sensores de presión piezoeléctrica aprovechan las propiedades eléctricas de origen natural tales como cristales de cuarzo. Estos cristales generan cargas eléctricas cuando son presionados. Estos sensores requieren circuitos de amplificación de carga y susceptible a golpes y vibraciones.

Ilustración 11 Sensor de presión piezoeléctrico



(ROBOTS_ARGENTINA@, 2009)

La causa común de la falla de las aplicaciones en mediciones de presión es el impacto dinámico, que resulta en la sobrecarga del sensor. Esta situación se refleja en el fenómeno de martillo del fluido, que es cuando un fluido se mueve rápidamente y se interrumpe su movimiento, como en el cierre rápido de una llave. Como el fluido lleva un momento y choca contra la llave que cierra, crea un golpe que puede dañar el sensor de presión. Para contrarrestar este efecto se usa un amortiguador entre el sensor y el fluido. El amortiguador es un filtro de malla que deja pasar la presión pero no grandes cantidades de volumen. Cuando el pico de cambio de presión es el que interesa medir, se debe seleccionar un sensor que no incluya la sobreprotección.

2.3.1. Medición de presión

La salida natural de un transductor de presión es una tensión. La mayoría de los transductores de presión tienen la salida en pocos mV. Esta pequeña señal requiere varias consideraciones de acondicionamiento de señal. Adicionalmente la mayoría de transductores de presión tienen como salida una señal acondicionada de 0-5V o una corriente de 4-20mA. Ambas salidas son lineales a lo largo del rango de trabajo del transductor. Por ejemplo, tanto 0V y 4mA corresponden a la

medición de presión 0. Del mismo modo, 5V y 20mA corresponden a la máxima presión que el transductor puede medir.

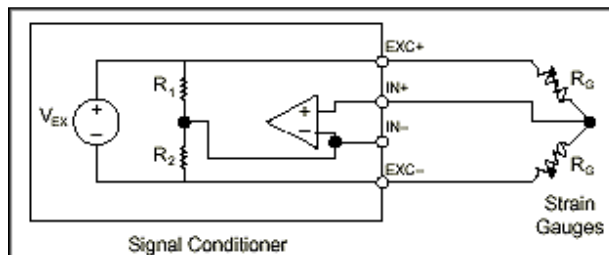
2.3.2. Acondicionamiento de señal

Los sensores basados en el puente tienen varias consideraciones de acondicionamiento de señal. Al fin de garantizar mediciones precisas es importante considerar lo siguiente:

2.3.2.1. Completación del puente

Al menos que se use un sensor de strain gage con puente completo con cuatro celdas activas, es necesario completar el puente con resistores de referencia.

Ilustración 12 Completación del puente



(NI@, 2010)

2.3.2.2. Excitación

La señal de los acondicionadores de strain gages comúnmente entregan una fuente constante de voltaje al puente. Mientras no exista un nivel de voltaje estándar que sea reconocido a nivel industrial, los niveles de excitación de voltaje más comunes están alrededor de 3 a 10V. Mientras que una alta excitación genera un alto voltaje de salida proporcionalmente, este alto voltaje puede causar errores debido al calentamiento.

2.3.2.3. Detección remota

La ubicación del circuito de strain gage a gran distancia del acondicionador de señal y de la fuente de excitación es una posible fuente de errores si el voltaje cae debido a la resistencia en los cables que conectan la fuente de excitación al puente. Para esto algunos acondicionadores de señal incluyen una característica llamada compensación de detección remota.

2.3.2.4. Amplificación

La salida de las strain gages y los puentes es relativamente pequeña. En la práctica la mayoría de los puentes de strain gages y transductores basados en strain gages entregan menos de 10mV/V (10mV de salida por V de voltaje de excitación). De esta forma, los acondicionadores de señal de strain gages comúnmente incluyen amplificadores para aumentar el nivel de la señal para incrementar la resolución de la medición y mejorar la relación señal-ruido.

2.3.2.5. Filtración

Las strain gages son comúnmente ubicadas en ambientes eléctricamente ruidosos. Por lo tanto es importante eliminar el ruido que las afecta. Cuando se utilizan filtros pasa bajo en strain gages puede remover ruido de alta frecuencia muy común en la mayoría de los ambientes.

2.3.2.6. Offset.

La instalación de un puente raramente muestra cero voltios cuando no se aplica esfuerzo. Pequeñas variaciones en la resistencia a lo largo de los brazos del puente generan un poco de voltaje offset distinto de cero. Para solucionar esto puede realizarse por hardware o software:

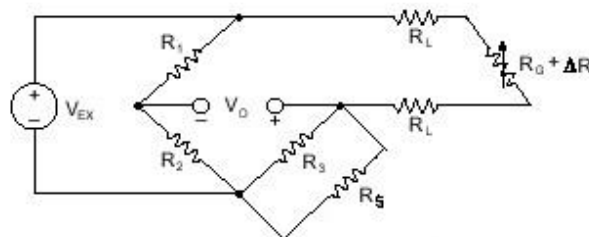
- Compensación por software: Con este método se toma una medición inicial antes de inducir algún esfuerzo y se utiliza este offset para compensar las mediciones siguientes.

- Circuito anulador del offset: Este método utiliza una resistencia ajustable para calibrar físicamente la salida del puente a cero

2.3.2.7. Calibración con derivación.

El procedimiento común para verificar la salida de una medición por strain gage relativo a una entrada mecánica predeterminada se llama calibración con derivación. Esta implica simular la entrada de esfuerzo al cambiar la resistencia en uno de los brazos del puente a algún valor conocido. Esto se logra conectando una gran resistencia de valor conocido (R_s) a lo largo de un brazo del puente, creando un DR conocido.

Ilustración 13 Calibración con derivación



(NI@, 2010)

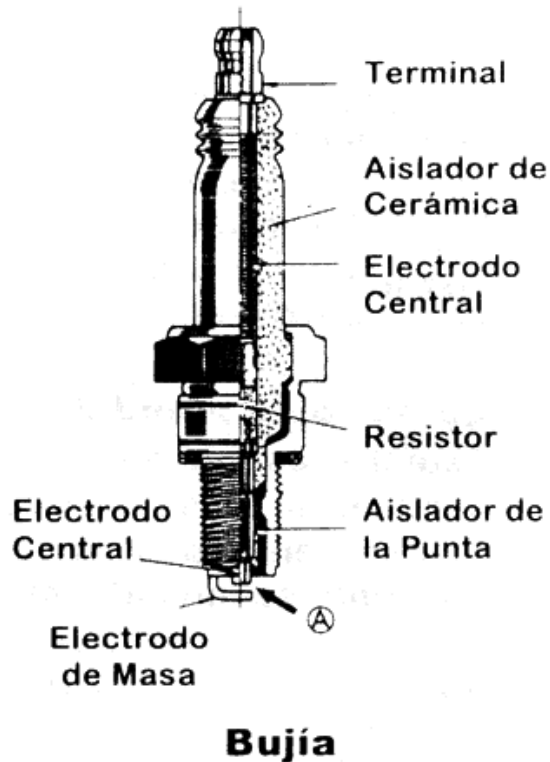
La señal de voltaje cuando se obtiene debe convertirse a unidades de presión. Generalmente los sensores de presión producen una respuesta lineal a lo largo de su rango de operación, por lo que la linealización es casi que innecesaria, pero se necesita un hardware o software para convertir el voltaje de salida del sensor en una medida de presión. La formula de conversión depende del tipo de sensor que se utilice.(NI@, 2010)

2.4. BUJÍA

La bujía es el elemento del sistema de encendido que hace saltar la chispa en la cámara de explosión de los motores de combustión interna. En consecuencia, la bujía debe conducir a la cámara la corriente de alta tensión producida por el

sistema de encendido y descargarla en forma de chispa entre dos electrodos para encender la mezcla de aire y carburante.(SALVAT, 1974)

Ilustración 14 Partes de una bujía



(CMELECTRÓNICA@, 2010)

2.4.1. Aislante

El aislante tiene una doble función: primera, asegurar que la alta tensión producida por la instalación de encendido venga conducida a lo largo del electrodo central y no desviada en otras direcciones (debe impedir la dispersión de la corriente eléctrica –más de 30000V- a una temperatura comprendida entre -46 °C y + 930 °C), y segunda, ser un buen conductor del calor con objeto de disipar el calor producido por la combustión, que de otra manera podría dañar el electrodo.

El aislante, además de tener la cualidad de aislamiento térmico y eléctrico, debe presentar resistencia mecánica suficiente para soportar las presiones de la cámara

de explosión (alrededor de 60 atm), elevada resistencia a los efectos de los diversos aditivos del carburante, y al agrietamiento y a la rotura cuando es sometido a rápidos y extremos cambios de temperatura.

El cuerpo de la bujía se obtiene de aceros al azufre con contenido medio de carbono y manganeso suministrados a las fábricas en forma de barras octogonales, que a continuación se cortan en trozos y se mecanizan según su diseño.

El electrodo de masa se añade por medio de soldadura, los cuerpos pasan a la máquina para obtener la rosca laminada y, finalmente, se someten a un acabado anticorrosivo, que puede ser bruñido, cadmiado o cincado para obtener una ulterior protección contra la oxidación durante el almacenado y empleo.

2.4.2. Electroodos

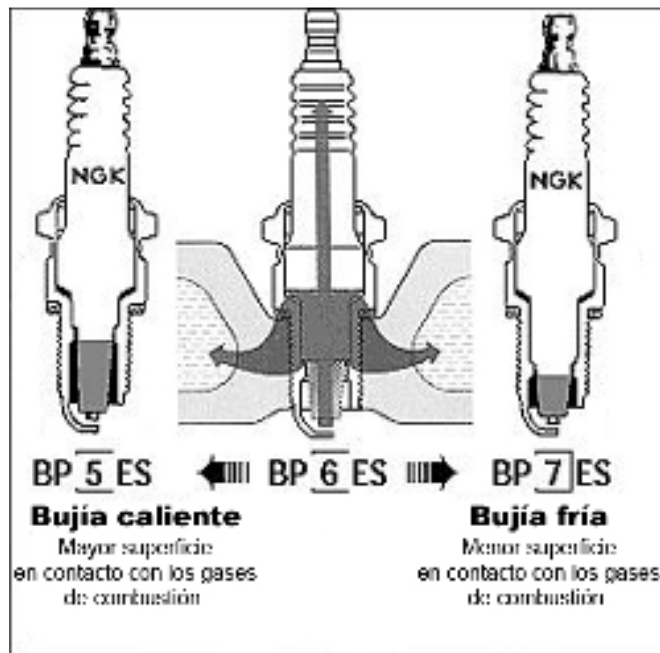
El material empleado para la fabricación de los electrodos de la bujía debe poseer óptimas propiedades eléctricas para reducir al mínimo el voltaje requerido para hacer saltar la chispa; debe ser también resistente a las temperaturas extremas, a la corrosión de los gases de la combustión y a la erosión eléctrica.

2.4.3. Grado térmico de la bujía

El grado térmico se refiere a la clasificación de las bujías en base a la capacidad que las mismas tienen para transmitir el calor desde el punto de encendido en el aislante, a la culata y, por tanto, al circuito de refrigeración. La cantidad de calor transmitida depende principalmente de la distancia que debe recorrer el mismo para alcanzar la culata del motor y, por tanto, el circuito de refrigeración.

Se llama bujía fría la que, en relación con otras de la misma conformación, tiene la punta del aislante relativamente corta y transmite el calor al circuito de refrigeración del motor muy rápidamente. En cambio, se llama bujía caliente la que tiene la punta del aislante mucho más larga y transmite el calor al exterior mucho más lentamente.

Ilustración 15 Grado de las bujías



(Battchit@, 2007)

2.5. SISTEMA OBD (ON BOARD DIAGNOSTIC)

Es un sistema de diagnóstico a bordo en vehículos. Actualmente se emplea OBD-II (Estados Unidos), EOBD (Europa), y JOBD(Japón) estándar que aportan un control casi completo del motor y otros dispositivos del vehículo.

El OBD II es la abreviatura de On Board Diagnostics (Diagnóstico de Abordo) II, la segunda generación de los requerimientos del equipamiento autodiagnosticable de abordo de los Estados Unidos de América. La denominación de este sistema se desprende de que el mismo incorpora dos sensores de oxígeno (sonda Lambda) uno ubicado antes del catalizador y otro después del mismo, pudiendo así comprobarse el correcto funcionamiento del catalizador. Las características de autodiagnóstico de a Bordo están incorporadas en el hardware y el software de la computadora de abordo de un vehículo para monitorear prácticamente todos los componentes que pueden afectar las emisiones. Cada componente es monitoreado por una rutina de diagnóstico para verificar si está funcionando

perfectamente. Si se detecta un problema o una falla, el sistema de OBD II ilumina una lámpara de advertencia en el cuadro de instrumentos para avisarle al conductor. La lámpara de advertencia normalmente lleva la inscripción "Check Engine" o "Service Engine Soon". El sistema también guarda informaciones importantes sobre la falla detectada para que un mecánico pueda encontrar y resolver el problema. En los Estados Unidos de América, todos los vehículos de pasajeros y los camiones de gasolina y combustibles alternos a partir de 1996 deben contar con sistemas de OBD II, al igual que todos los vehículos de pasajeros y camiones de diésel a partir de 1997. Además, un pequeño número de vehículos de gas fueron equipados con sistemas de OBD II. Se puede decir que es mejor que el OBD pero con una gran diferencia el otro tenía solo dos dígitos y el nuevo cuatro.

2.5.1. OBD

El OBD I fue la primera regulación de OBD que obligaba a los productores a instalar un sistema de monitoreo de algunos de los componentes controladores de emisiones en automóviles. Obligatorios en todos los vehículos a partir de 1991, los sistemas de OBD I no eran tan efectivos porque solamente monitoreaban algunos de los componentes relacionados con las emisiones, y no eran calibrados para un nivel específico de emisiones.

2.5.2. EOBD

EOBD es la abreviatura de European On Board Diagnostics (Diagnóstico de a Bordo Europeo), la variación europea de OBD II. Una de las diferencias es que no se monitorean las evaporaciones del tanque. Sin embargo, EOBD es un sistema mucho más sofisticado que OBD II ya que usa "mapas" de las entradas a los sensores esperadas basados en las condiciones de operación del motor, y los componentes se adaptan al sistema calibrándose empíricamente. Esto significa que los repuestos necesitan ser de alta calidad y específicos para el vehículo y modelo(WIKIPEDIA@, 2010).

2.6. TERMOGRAFÍA INFRARROJA

La Termografía es la rama de la Teledetección que se ocupa de la medición de la temperatura radiada por los fenómenos de la superficie de la Tierra desde una cierta distancia. Una Termografía Infrarroja es la técnica de producir una imagen visible de luz infrarroja invisible (para nuestros ojos) emitida por objetos de acuerdo a su condición térmica. Una cámara Termográfica produce una imagen en vivo (Visualizada como fotografía de la temperatura de la radiación).

Las cámaras miden la temperatura de cualquier objeto o superficie de la imagen y producen una imagen con colores que interpretan el diseño térmico con facilidad. Una imagen producida por una cámara infrarroja es llamada: Termografía o Termograma.(AMPERIS@, 2007).

2.6.1. Fundamentos de la termografía por infrarrojos

La Termografía Infrarroja es una técnica que permite, a distancia y sin ningún contacto, medir y visualizar temperaturas de superficie con precisión. La Física permite convertir las mediciones de la radiación infrarroja en medición de temperatura, esto se logra midiendo la radiación emitida en la porción infrarroja del espectro electromagnético desde la superficie del objeto, convirtiendo estas mediciones en señales eléctricas.

Los ojos humanos no son sensibles a la radiación infrarroja emitida por un objeto, pero las cámaras termográficas, o de termovisión, son capaces de medir la energía con sensores infrarrojos, capacitados para "ver" en estas longitudes de onda. Esto permite medir la energía radiante emitida por objetos y, por consiguiente, determinar la temperatura de la superficie a distancia, en tiempo real y sin contacto.

La radiación infrarroja es la señal de entrada que la cámara termográfica necesita para generar una imagen de un espectro de colores, en el que cada uno de los colores, según una escala determinada, significa una temperatura distinta, de manera que la temperatura medida más elevada aparece en color blanco.

2.6.2. Usos de la termografía

Las termografías pueden ser aplicadas en cualquier situación donde un problema o condición pueda ser visualizado por medio de una diferencia de temperatura. Una termografía puede tener aplicación en cualquier área siempre y cuando esta tenga que ver con variación de temperatura.

Detecta problemas rápidamente sin interrumpir el funcionamiento del equipo. Minimiza el mantenimiento preventivo y el tiempo en localizar problemas.

Puede ser utilizada por compañías de seguros para cerciorarse que el equipo o las instalaciones se encuentran en estado óptimo.

Previene incendios o accidentes.

2.7. TERMOCUPLAS

Las termocuplas són el sensor de temperatura más común utilizado industrialmente. Una termocupla se hace con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldados generalmente). Al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje muy pequeño (efecto Seebeck) del orden de los milivolts el cual aumenta con la temperatura. Por ejemplo, una termocupla "tipo J" está hecha con un alambre de hierro y otro de constantán (aleación de cobre y nickel) Al colocar la unión de estos metales a 750 °C, debe aparecer en los extremos 42.2 milivolts.

Las termocuplas industriales se consiguen encapsuladas dentro de un tubo de acero inoxidable u otro material (vaina), en un extremo está la unión y en el otro el

terminal eléctrico de los cables, protegido adentro de una caja redonda de aluminio (cabezal) (Guadalajara@, 2010).

2.7.1. Tipos de termocuplas

Tipo B

La ventaja de esta termocupla es su mayor estabilidad, resistencia mecánica y su aptitud de ser utilizada sin compensación de junta de referencia de referencia para fluctuaciones normales de la temperatura ambiente. Son satisfactorias para usar en atmosferas oxidantes o inertes a temperaturas hasta 1.700°C, también se pueden usar durante cortos periodos de tiempo en vacio.

La desventaja es su baja tensión de salida, no se puede usar con un tubo de protección metálico.

Tipo R

Se pueden usar en forma continua en atmosferas oxidantes o inertes hasta 1.400°C. Estas termocuplas tienen limitaciones, nunca se deben usar en atmosferas reductoras, ni en las que contienen vapores metálicos o no metálicos, a menos que se protejan adecuadamente con tubos protectores no metálicos; nunca deben ser insertadas directamente dentro de una vaina metálica.

Tipo S

Es el estándar internacional para la determinación de temperaturas entre el punto de solidificación del antimonio 630,74°C el punto de solidificación del oro 1.064,43°C. Pueden ser utilizadas continuamente en atmosferas oxidantes o inertes hasta 1.480°C. Tiene las mismas limitaciones que las termocuplas tipo R y tipo B.

Tipo J

Es conocida como la termocupla de hierro-constatán (55% cobre y 45% níquel), es la segunda más utilizada en Estados Unidos. Son buenas para usar en atmosferas oxidantes, inertes y reductoras y en vacio hasta 760°C. La ventaja principal de esta termocupla es su bajo costo.

La termocupla tiene limitaciones pues no se puede usar en atmósferas sulfuradas por encima de 540°C, no se recomienda a temperaturas inferiores a 0°C por la oxidación y la fragilidad potencial. No deben someterse a ciclos por encima de 760°C, si en algún momento posterior se necesitara lecturas exactas por debajo de esa temperatura.

Tipo K

La termocupla tipo K esta hecha de Chromel-Alumel. El Chromel es una aleación de aproximadamente 90% de níquel y 10% de cromo, el Alumel es una aleación de 95% de níquel, mas aluminio, silicio y magnesio. Es la termocupla que mas se utiliza en la industria, debido a su capacidad de resistir mayores temperaturas que la termocupla tipo J.

Las termocuplas tipo K pueden utilizarse en forma continua en atmósferas oxidantes e inertes hasta 1.260°C.

Tipo T

La termocupla tipo T resulta buena para uso continuo en vacio y en atmósferas oxidantes, reductoras e inertes. La desventaja de esta termocupla es que el limite máximo de temperatura es de 370°C.

Tipo E

Las termocuplas tipo E tienen un alcance de -200°C a 980°C. Son buenas en atmósferas oxidantes e inertes, son adecuadas para uso en atmósferas húmedas a temperaturas subcero, por su buena resistencia a la corrosión.

Ilustración 16 Tipos de termocuplas

Tipo	Denominación	Composición y símbolo	Rango de temperaturas (1) (en °C)	Diámetro del alambre apropiado (2)	F.e.m.en mV (3)
B	Platino-rodio 30% vs. platino-rodio 6%	PtRh 30% - PtRh 6%	0 ...1.500 (1.800)	0,35 y 0,5 mm	0...10,094 (13,585)
R	Platino-rodio 13% vs. platino	PtRh 13% - Pt	0...1.400 (1.700)	0,35 y 0,5 mm	0.16,035 (20,215)
S	Platino-rodio 10% vs. platino	PtRh 10% - Pt	0...1300(1.600)	0,35 y 0,5 mm	0...13,155 (15,576)
J	Hierro vs. constatón	Fe - CuNi	-200 ... 700 (900)	3 mm 1mm	-7.89 ... 39,130 (51,875)
			-200 ... 600 (800)		-7.89 ... 33,096 (45,498)
K	Niquel-cromo vs. níquel (Chromel vs. Alumel)	NiCr - Ni	0...1000(1.300)	3 ó 2 mm	0...41,269 (52,398)
			0 ... 900 (1.200)	1,38 mm	0...37,325 (48,828)
T	Cobre vs. constatón	Cu - CuNi	-200 ... 700 (900)	0,5 mm	-5,60 ... 14,86 (20,86)
E	Niquel-cromo vs. constatón (Chromel vs. constatón)	NiCr - CuNi	-200 ... 600 (800)	3 mm	-9,83 ... 53,11 (68,78)
					-8,83 ... 45,08 (61,02)

(SAPIENSMAN@, 2010)

2.8. PROCESAMIENTO DE SEÑALES

El Procesamiento de señales es el procesado, amplificación e interpretación de señales. Las señales pueden proceder de diversas fuentes. Hay varios tipos de procesamiento de señales, dependiendo de la naturaleza de las mismas(WIKIPEDIA@, 2009).

2.8.1. Sistema digital

El sistema digital es cualquier dispositivo destinado a la generación, transmisión, procesamiento o almacenamiento de señales digitales.

La señal digital corresponde a magnitudes físicas limitadas al tomar sólo unos determinados valores discretos. Por ejemplo: 0 (señal de resistencia eléctrica, muy pequeña), ó 1(señal de resistencia eléctrica, muy grande). Las computadoras digitales utilizan la lógica de dos estados: la corriente pasa o no pasa por los componentes electrónicos de la computadora.

El análisis y la síntesis de los sistemas digitales binarios utiliza como herramienta el álgebra de Boole, formada por compuertas lógicas que siguen el comportamiento de algunas funciones booleanas.

La palabra digital proviene de la misma fuente que la palabra dígito: La palabra en latín para dedo (contar con los dedos), por el uso para contar en valores discretos y no continuos como en los sistemas analógicos(MONOGRAFIAS@, 2004).

2.8.2. Sistema analógico

El sistema analógico es aquel que tiene la capacidad de generar, transmitir, procesar o almacenar señales analógicas.

La señal es analógica cuando las magnitudes de la misma se representan mediante variables continuas, análogas (Relación de semejanza entre cosas distintas.) a las magnitudes que dan lugar a la generación de esta señal.

Al aparato o instrumento de medida le decimos analógico cuando el resultado de la medida se representa mediante variables continuas, análogas a las magnitudes que estamos midiendo(MONOGRAFIAS@, 2004).

2.8.3. Digitalización

La digitalización o conversión analógica-digital (conversión A/D) consiste básicamente en realizar de forma periódica medidas de la amplitud (tensión) de una señal (por ejemplo, la que proviene de un micrófono si se trata de registrar sonidos, de un sismógrafo si se trata de registrar vibraciones o de una sonda de

un osciloscopio para cualquier nivel variable de tensión de interés), redondear sus valores a un conjunto finito de niveles preestablecidos de tensión (conocidos como niveles de cuantificación) y registrarlos como números enteros en cualquier tipo de memoria o soporte.

La conversión A/D también es conocida por el acrónimo inglés ADC (*analogue to digital converter*) (MONOGRAFIAS@, 2004).

2.8.3.1. Muestreo

El muestreo (en inglés, *sampling*) consiste en tomar muestras periódicas de la amplitud de onda. La velocidad con que se toma esta muestra, es decir, el número de muestras por segundo, es lo que se conoce como frecuencia de muestreo (WIKIPEDIA@, 2009).

2.8.3.2. Retención

Las muestras tomadas han de ser retenidas (retención) por un circuito de retención (*hold*), el tiempo suficiente para permitir evaluar su nivel (cuantificación). Desde el punto de vista matemático este proceso no se contempla, ya que se trata de un recurso técnico debido a limitaciones prácticas, y carece, por tanto, de modelo matemático (WIKIPEDIA@, 2009).

2.8.3.3. Cuantificación

El proceso de cuantificación mide el nivel de voltaje de cada una de las muestras. Consiste en asignar un margen de valor de una señal analizada a un único nivel de salida. Incluso en su versión ideal, añade, como resultado, una señal indeseada a la señal de entrada: el ruido de cuantificación(WIKIPEDIA@, 2009).

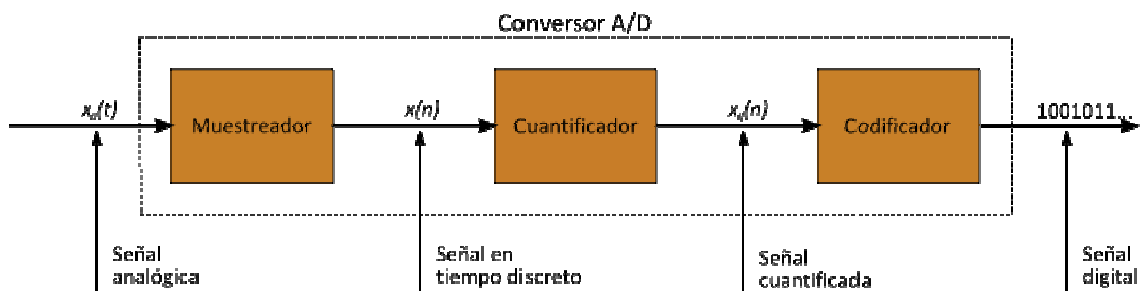
2.8.3.4. Codificación

La codificación consiste en traducir los valores obtenidos durante la cuantificación al código binario. Hay que tener presente que el código binario es el más utilizado, pero también existen otros tipos de códigos que también son utilizados.

La señal aún es analógica durante el muestreo y la retención, puesto que aún puede tomar cualquier valor. No obstante, a partir de la cuantificación, cuando la señal ya toma valores finitos, la señal ya es digital.

Los cuatro procesos tienen lugar en un conversor analógico-digital. (WIKIPEDIA@, 2009)

Ilustración 17 Conversión A/D



(WIKIPEDIA@, 2009)

2.9. MÉTODOS DE ELEMENTOS FINITOS (MEF)

El método de los elementos finitos (MEF) es un método numérico general para la aproximación de soluciones de ecuaciones diferenciales parciales muy utilizado en diversos problemas de ingeniería y física. El MEF está pensado para ser usado en computadoras y permite resolver ecuaciones diferenciales asociadas a un problema físico sobre geometrías complicadas. El MEF se usa en el diseño y mejora de productos y aplicaciones industriales, así como en la simulación de sistemas físicos y biológicos complejos.

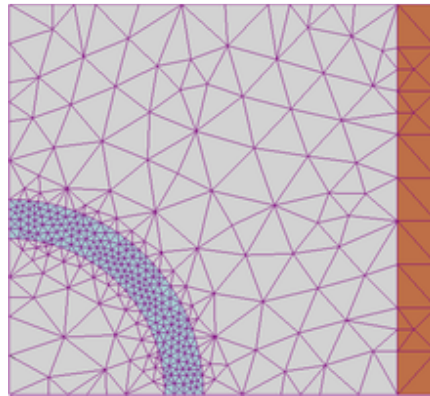
El MEF permite obtener una solución numérica aproximada sobre un cuerpo, estructura o dominio, dividiéndolo en un número elevado de subdominios no-intersectantes entre sí denominados “elementos finitos”. El conjunto de elementos finitos forma una partición del dominio también denominada discretización. Dentro de cada elemento se distinguen una serie de puntos representativos llamados «nodos». Dos nodos son adyacentes si pertenecen al mismo elemento finito; además, un nodo sobre la frontera de un elemento finito puede pertenecer a varios elementos. El conjunto de nodos considerando sus relaciones de adyacencia se llama “malla”.

Los cálculos se realizan sobre los nodos, que sirven a su vez de base para discretización del dominio en elementos finitos. La generación de la malla se realiza usualmente con programas especiales llamados generadores de mallas, en una etapa previa a los cálculos que se denomina pre-proceso. De acuerdo con estas relaciones de adyacencia o conectividad se relaciona el valor de un conjunto de variables incógnitas definidas en cada nodo y denominadas grados de libertad. El conjunto de relaciones entre el valor de una determinada variable entre los nodos se puede escribir en forma de sistema de ecuaciones lineales. La matriz de dicho sistema de ecuaciones se llama matriz de rigidez del sistema. El número de ecuaciones de dicho sistema es proporcional al número de nodos.

El MEF se programa computacionalmente para calcular el campo de desplazamientos y posteriormente, a través de relaciones cinemáticas y constitutivas, las deformaciones y tensiones respectivamente, cuando se trata de un problema de mecánica de sólidos deformables o más generalmente un problema de mecánica de medios continuos. El método de los elementos finitos es muy usado debido a su generalidad y a la facilidad de introducir dominios de cálculo complejos en dos y tres dimensiones. Además el método es fácilmente adaptable a problemas de transmisión de calor, de mecánica de fluidos para

calcular campos de velocidades y presiones o de campo electromagnético.(WIKIPEDIA@)

Ilustración 18 Malla de métodos de elementos finitos



(WIKIPEDIA@)

2.9.1. Análisis de Elementos Finitos (AEF)

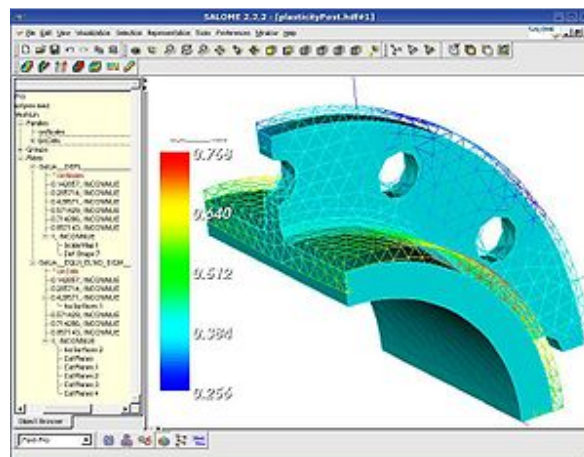
El análisis por elementos finitos es una técnica de simulación por computador usada en ingeniería. Usa la técnica numérica Método de los elementos finitos.

En estas aplicaciones, el objeto o sistema se representa por un modelo geoméricamente similar que consta de múltiples regiones discretas simplificadas y conectada. Ecuaciones de equilibrio, junto con consideraciones físicas aplicables así como relaciones constitutivas, se aplican a cada elemento, y se construye un sistema de varias ecuaciones. El sistema de ecuaciones se resuelve para los valores desconocidos usando técnicas de álgebra lineal o esquemas no lineales, dependiendo del problema. Siendo un método aproximado, la precisión de los MEF puede ser mejorada refinando la discretización en el modelo, usando más elementos y nodos.

Comúnmente se usa el AEF en determinar los esfuerzos y desplazamientos en sistemas mecánicos. Es además usado de manera rutinaria en el análisis de

muchos otros tipos de problemas, entre ellos Transferencia de calor, dinámica de fluidos, y electromagnetismo. Con el análisis de elementos finitos se pueden manejar sistemas complejos cuyas soluciones analíticas son difícilmente encontradas.

Ilustración 19 Análisis estadístico no lineal en Code-Aster en CAELinux



(WIKIPEDIA@)

2.9.1.1. Análisis por elementos finitos

Hay tres fases en cualquier tarea asistida por computador:

- Pre-procesamiento. Definir el modelo de elementos finitos y los factores ambientales que influyen en él.
- Solución del análisis. Solucionar el modelo de elementos finitos.
- Post-procesamiento de resultados usando herramientas de visualización.

El primer paso en AEF, pre-procesamiento, es construir un modelo de elementos finitos de la estructura a ser analizada. En muchos paquetes de AEF se requiere de la entrada de una descripción topológica de las características geométricas de la estructura. Ésta puede ser 1D, 2D, o 3D. El objetivo principal del modelo es replicar de manera realista los parámetros importantes y características del modelo real. La manera más sencilla para conseguir similaridad en el análisis es

utilizar planos preexistentes, modelos CAD, o datos importados de un ambiente AEF. Una vez se ha creado la geometría, se utiliza un procedimiento para definir y dividir el modelo en pequeños elementos. En general, un modelo de elementos finitos está definido por una malla, la cual está conformada por elementos y nodos. Los paquetes de AEF enumeran los nodos como una herramienta de identificación. Los elementos están determinados por conjuntos de nodos, y definen propiedades localizadas de masa y rigidez. Los elementos también están definidos por la numeración de la malla, la cual permite referenciar la correspondiente deflexión o esfuerzo para una localización específica.

La siguiente etapa análisis de elementos finitos se lleva a cabo una serie de procesos computacionales que involucran fuerzas aplicadas, y las propiedades de los elementos de donde producir un modelo de solución. Tal análisis estructural permite la determinación de efectos como lo son las deformaciones, estiramiento o estrés que son causados por fuerzas estructurales aplicadas como lo son la fuerza, la presión y la gravedad.

Los resultados pueden ser estudiados utilizando herramientas visuales dentro del ambiente de AEF para ver y para identificar completamente las implicaciones del análisis. Herramientas numéricas y gráficas permiten la localización precisa de información como esfuerzos y deformaciones a ser identificadas(WIKIPEDIA@).

2.10. CRITERIO DE VON MISES

El criterio de von Mises, también llamado criterio de la máxima energía de distorsión, es un criterio de resistencia estática, aplicado a materiales dúctiles, según el cual, el material no fluirá en el punto analizado siempre que la energía de distorsión por unidad de volumen en el punto no supere la energía de distorsión por unidad de volumen que se da en el momento de la fluencia en el ensayo de tracción. El criterio de resistencia se escribe matemáticamente como.

$$\sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2)} < S_y$$

Donde $S_y > 0$ es el límite de fluencia a tracción.

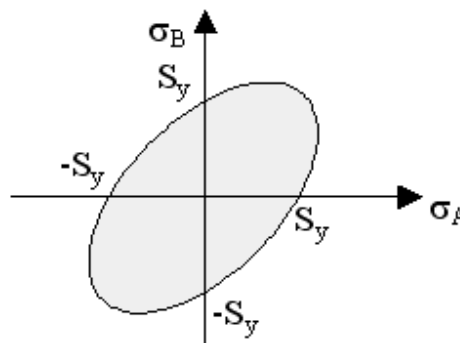
El coeficiente de seguridad en el punto analizado, de acuerdo con el criterio de von Mises se obtiene de:

$$n_s = \frac{S_y}{\sqrt{\frac{1}{2}((\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_1 - \sigma_3)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2)}}$$

Expresión que es válida para cualquier signo de las tensiones principales.

En el caso del estado tensional biaxial el criterio de von Mises puede representarse gráficamente en un diagrama $\sigma_A - \sigma_B$ donde éstas representan las dos tensiones principales no nulas, como se indica en la figura. La zona sombreada representa la zona segura, para la cual el material no fluye de acuerdo con dicho criterio.

Ilustración 20 Diagrama $\sigma_A - \sigma_B$



(Gonzales@, 2006)

3. MONTAJE SENSOR DE PRESIÓN

El proceso del diseño del montaje para el sensor de presión AutoPSI-TC, el cual se compró para el laboratorio de Control de Motor de Combustión de la Universidad EAFIT, comenzó con la búsqueda de una bujía cuya geometría fuera la más adecuada para este propósito, con el fin de no tener que realizar modificaciones significativas a la interfaz bujía-motor, y así evitar variar el volumen de la cámara de combustión considerablemente a la vez que reducir al mínimo la posibilidad de pérdidas por fugas. Luego se hizo la adaptación para el sensor en base a la geometría del sensor, la bujía y el motor de Renault Twingo utilizando la herramienta Solidworks.

3.1. SENSOR DE PRESIÓN AUTOPSI-TC

Este sensor es desarrollado por Optrand Incorporated especialmente para este tipo de aplicación por lo que soporta presiones hasta de 3000 Psi y temperaturas hasta los 360 °C en su carcasa. Su número serial es D322D6-Q. Tiene salida analógica de 0.5 a 5V con un rango de frecuencias de 0 a 15 Hz y sensibilidad de 1.48 mV/Psi @ 25 grados Celsius y 1.5 mV/Psi @ 200 grados Celsius. La membrana que capta la presión es cilíndrica con rosca M3x0.5.

La ecuación que permite calcular la presión con este sensor es la siguiente. (OPTRAND@, 2010)

$$P = \frac{V - V_{min}}{S} \text{ (Ecuación de presión del sensor)}$$

Donde:

P=Presión (Psi).

V=Voltaje de salida (V).

Vmin=Voltaje mínimo de salida (V).

S=Sensibilidad del sensor (V/Psi).

Ilustración 21 Sensor de Presión



(OPTRAND@, 2010)

3.2. BUJÍA

Se compraron bujías Champion RC21 la cual está diseñada para Renault Twingo y tiene bajo grado térmico, es decir, es una bujía caliente y por ende el espacio entre el electrodo y la tuerca es significativamente grande y profundo; esta es la característica que se buscaba.

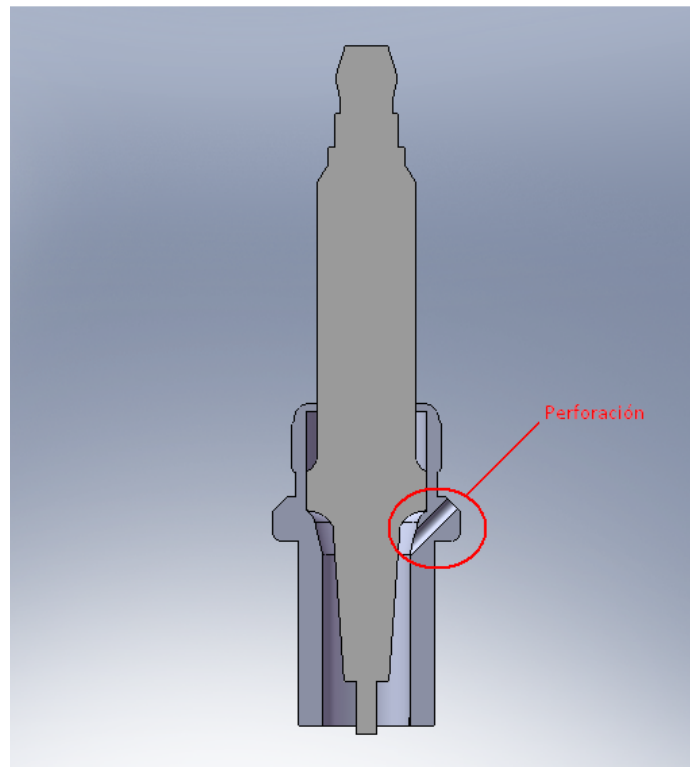
Ilustración 22 Bujía Champion RC21



(PARTSFORTECHS@, 2010)

Esta bujía se modeló en Solidworks, donde se le realizó un corte que permitió obtener la mejor ubicación para el agujero que comunica al sensor con la cámara de combustión y también para la inserción de la termocupla.

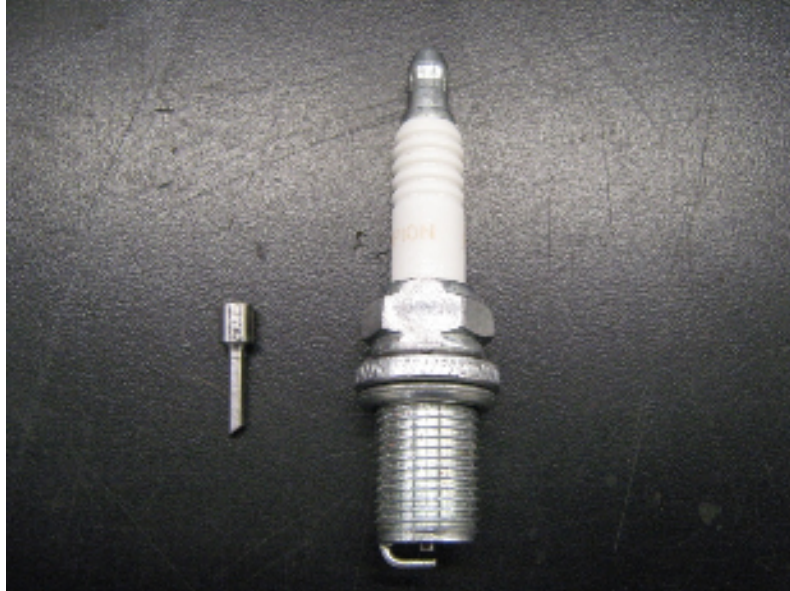
Ilustración 23 - Corte bujía



3.3. ADAPTADOR

Es el objeto mediante el cual se une el sensor a la bujía. Se diseñó en Solidworks teniendo como principales criterios las dimensiones del motor, bujía y el sensor, así como la presión y temperatura máximas de trabajo del motor. Luego se realizó un análisis de elementos finitos para predecir su comportamiento.

Ilustración 24 Adaptador



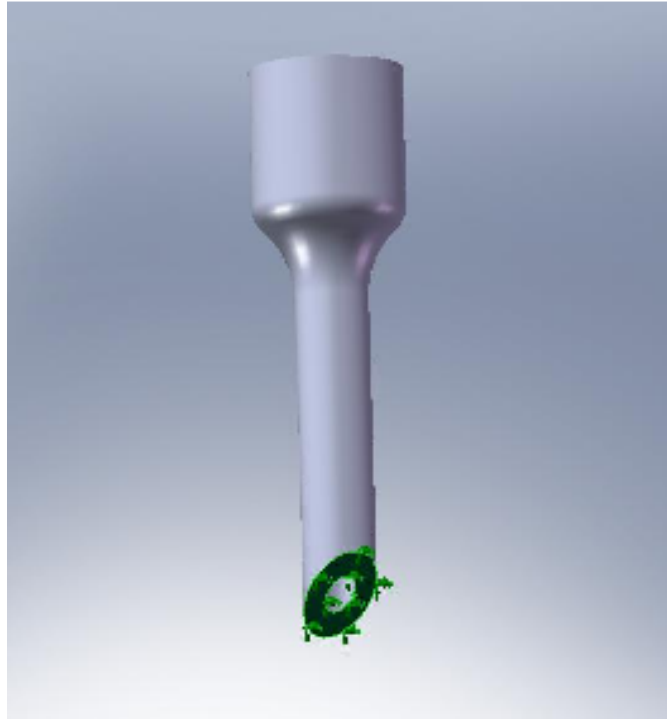
3.3.1. Análisis de elementos finitos.

Con el fin de garantizar el correcto funcionamiento del adaptador, se realizó un análisis de elementos finitos. Para este se cerró la parte superior del adaptador simulando al sensor roscado en él. Este análisis tuvo las siguientes características (ver anexo).

3.3.1.1. Preprocesamiento

- Material. Acero 304 inoxidable.
- Malla: Tipo sólido, con elementos de 0.26876 mm.
- Condiciones de frontera:

Ilustración 25 Restricción



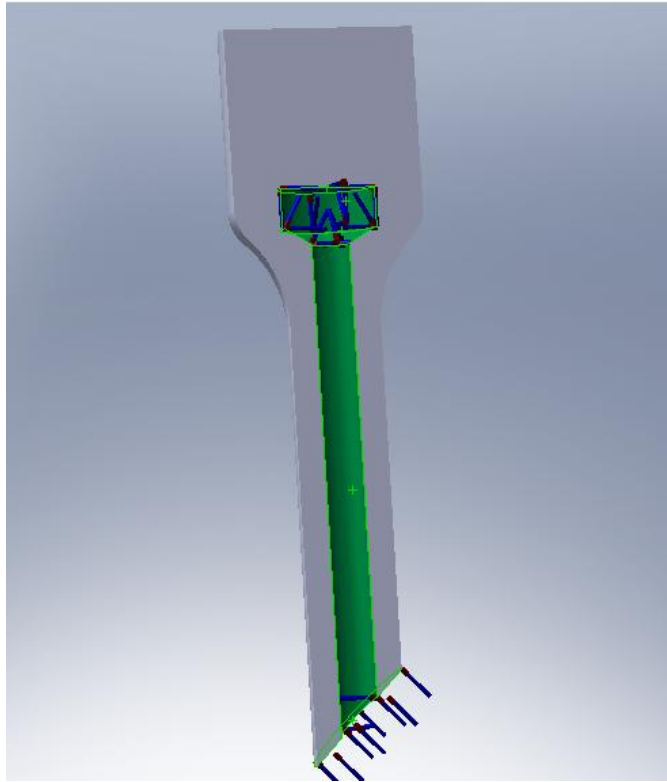
Esta variable comprende la restricción de la rotación y el desplazamiento en todos los ejes.

Ilustración 26 Presión



Esta variable se definió en dirección normal para todas las caras interiores del adaptador. Su valor es de $6,0795e+006$ N/m² (60 atm).

Ilustración 27 Temperatura



Esta variable se definió para todas las caras interiores del adaptador con un valor de 200 grados Celsius.

3.3.1.2. Resultados

Se obtuvo un esfuerzo máximo de Von Mises de $1.05124 \times 10^9 \text{ N/m}^2$, y un factor de seguridad igual a 2 con respecto al esfuerzo último.

Ilustración 28 Esfuerzo de Von Mises

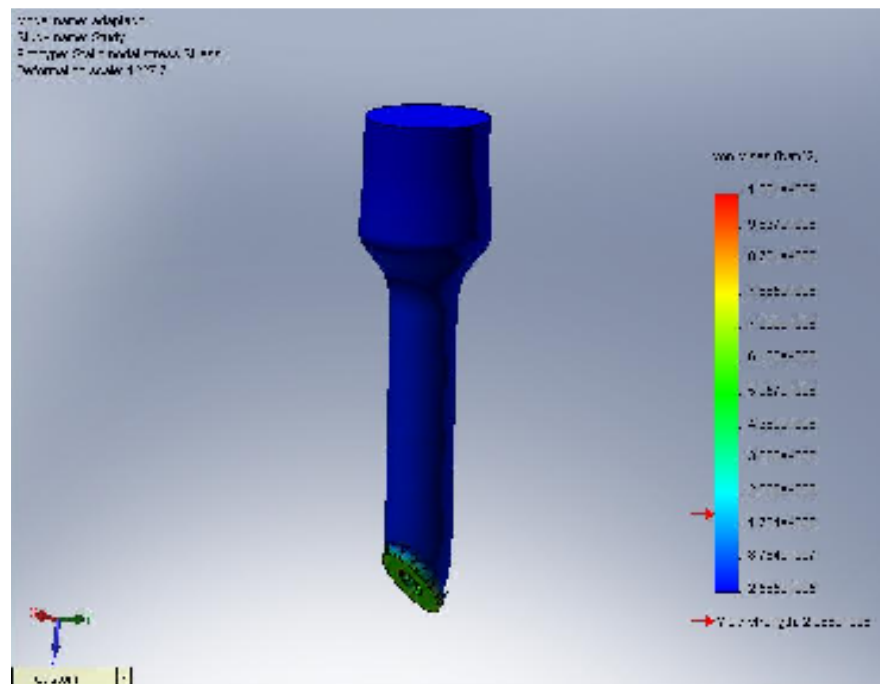
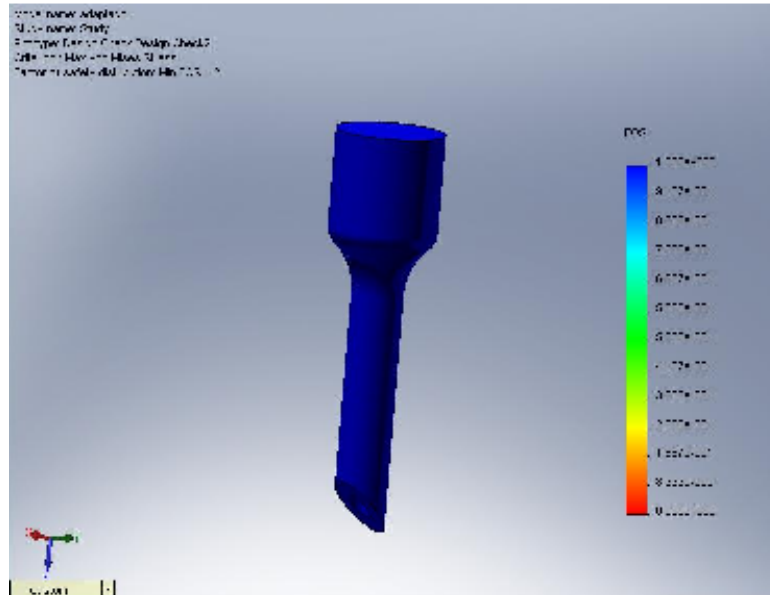


Ilustración 29 Factor de seguridad



Se observa entonces que para estas condiciones extremas el adaptador no afecta la integridad del sensor.

3.4. MONTAJE

Para el montaje se realizaron varias pruebas de unión entre la bujía y el adaptador.

3.4.1. Resina epóxica

Se utilizó resina epóxica marca Pegadit, la cual tiene una resistencia de 2 ton/in^2 con un tiempo de curado de 12 horas. Esta se dejó curar por 24 horas, tiempo en el cual el adaptador se desprendió con un esfuerzo mínimo que se le aplicó con las manos.

3.4.2. Masilla epóxica

Se aplicó masilla epóxica Epoxy Bonder, la cual tiene resistencia hasta 50Kg/cm² y hasta 150 grados Celsius. Esta unió apropiadamente las piezas, pero al instalarlos en el motor y encenderlo, se separaron.

3.4.3. Soldadura de plata

Este tipo de unión es el más recomendado, ya que aguanta temperaturas aproximadamente hasta 900 grados Celsius. Al principio se tuvieron problemas debido a que cuando la plata está en estado líquido tiene gran escurribilidad, lo que causaba que se taponara el adaptador en su parte inferior. Esto llevó a intentar con los otros elementos antes descritos.

Finalmente se logró soldar exitosamente por este medio al mejorar el ajuste entre la bujía y el adaptador.

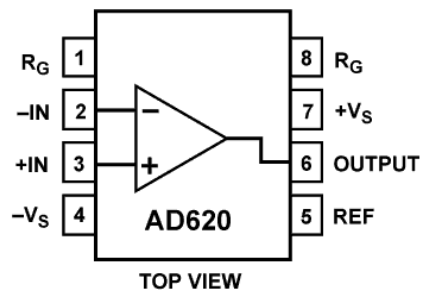
Ilustración 30 Soldadura adaptador



4. MONTAJE TERMOCUPLA

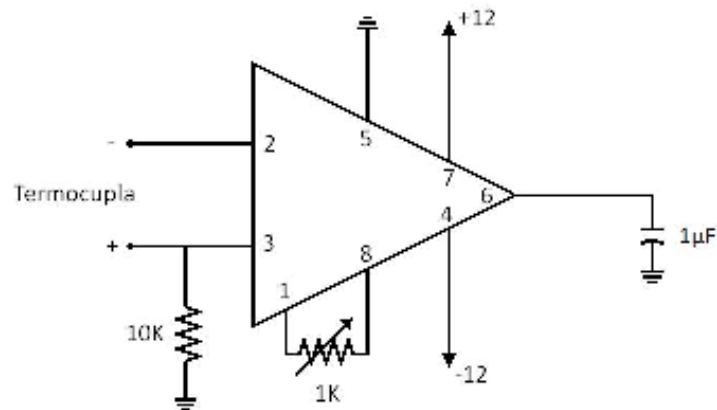
Se utilizó una termocupla tipo K con un rango de operación de -270 a 1372 °C. La señal que entrega la termocupla es en milivoltios, por lo que se elaboró un circuito basado en el amplificador AD620, el cual funciona con 1.3 mA de corriente de entrada de poder.

Ilustración 31 Amplificador AD620



(ANALOG_DEVICES@, 2010)

Ilustración 32 Circuito amplificador



(Hernández, 2010)

El cable se insertó por un agujero similar al del sensor de presión. Luego en Termocuplas s.a. se llenó el interior de la bujía con cerámica refractaria para evitar que los dos cables hicieran contacto.

Ilustración 33 Montaje termocupla



4.1. CALIBRACIÓN DEL CIRCUITO AMPLIFICADOR

El circuito amplificador AD620 se calibró para poder obtener los datos de la termocupla y registrarlos en el computador por medio del sistema de adquisición de datos. Se realizó un montaje con una mufla que provee calor, una fuente para alimentar el circuito, un multímetro para medir el voltaje de salida y poder aumentar el voltaje de la termocupla a máximo 5 Voltios.

Ilustración 34 Montaje para calibración de circuito amplificador



Luego de realizar el montaje se procedió a encender la mufla, la cual se programó para que alcanzara los 950°C. Luego la mufla alcanzó una temperatura de 940°C, momento en el cual se realizó la calibración para que el amplificador produzca 4,51 Voltios a 940°C.

Ilustración 35 Valores de calibración



5. PRUEBA

Se realizó una prueba inicial de termografía para conocer la temperatura exterior del motor. Luego se ensayaron simultáneamente el sensor de presión y la termocupla. Para estos se tuvo que adaptar una llave de bujía que permitiera instalar la bujía en el motor sin afectar al sensor o al cable de la termocupla, así como adaptar un cable de bujía con el mismo fin.

Ilustración 36 Llave de bujía



5.1. Termografía

Esta prueba se realizó con el motor en frío y luego desde que se puso en funcionamiento hasta que alcanzó la temperatura normal de funcionamiento, la cual es la temperatura que se deseaba saber. Se tomaron fotografías con la cámara termografica y luego se llevaron al software Guide IrAnalyzer en donde se analizaron y se obtuvo el valor máximo de temperatura.

Ilustración 37 Toma de termografía



Ilustración 38 Termografía exterior bujías



En la anterior imagen se observa la termografía realizada al área de la bujía. En el centro de la imagen se puede ver el cable de bujía relativamente frío. También se observa que la temperatura a la que estará sometido el sensor de presión será menor de 80 grados Celsius, lo cual indica que esta no será una variable que vaya a afectar su funcionamiento.

5.2. Presión

Al igual que la prueba de termografía esta se inició con el motor en frío. No se percibieron fugas de presión ni daños en ningún componente del sensor.

Los datos se tomaron con el sistema de adquisición del laboratorio.

5.3. Temperatura.

No se percibieron fugas durante la prueba. El cemento refractario soportó la temperatura y la presión de la cámara de combustión. Se produjo un corto en el amplificador AD620, por lo que la prueba se tuvo que realizar con un lector de temperatura Meterman TMD90, al cual se le conectó la termocupla.

Ilustración 39 Lector de temperatura



5.4. Resultados

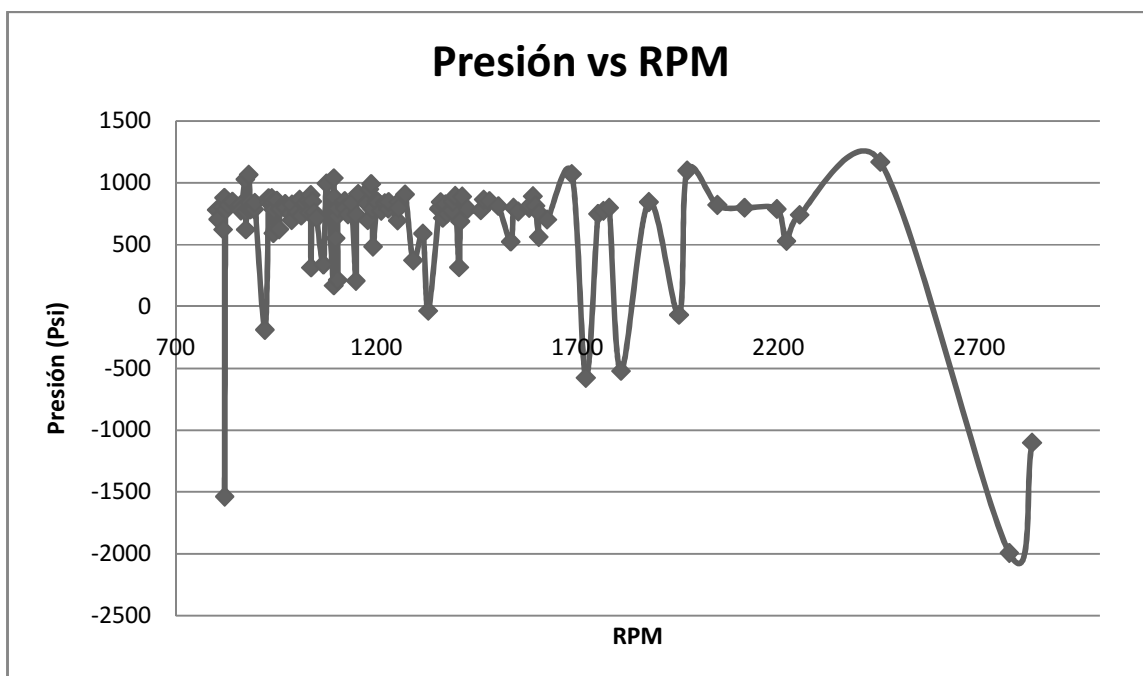
Los resultados que se obtuvieron para la temperatura a diferentes regímenes del motor están consignados en la siguiente tabla. ´

Tabla 1 Resultados prueba temperatura

RPM	Temperatura (°C)
0	37,9
800	188
1100	349,5
1900	373,5

Para la presión están graficados en la siguiente ilustración

Ilustración 40 Resultados Presión vs RPM



Se observa que la presión varía sólo cuando varían drásticamente las RPM del motor.

6. CONCLUSIONES

El análisis de termografía permitió conocer las temperaturas exteriores de funcionamiento del motor, lo que aseguró que la temperatura no iba a afectar la integridad del sensor de presión.

El montaje del sensor de presión no presenta fugas ni deterioro durante su funcionamiento, de esta forma se asegura una toma de datos apropiada.

Después de varios ensayos con diferentes tipos de unión para el adaptador del sensor con la bujía, se encontró que la soldadura de plata es la más apropiada para este caso en específico.

La presión sólo varía con cambios drásticos en las RPM, es decir, cuando las RPM se mantienen constantes la presión también.

Es posible que debido a que la resolución del sensor está dada para presiones máximas de 3000 PSI, no se haya logrado medir correctamente la presión dentro de la cámara de combustión, ya que el valor máximo estuvo alrededor de los 1168 PSI.

La termocupla funciona adecuadamente y es altamente sensible a los cambios de temperatura, aunque su rapidez de respuesta no permite observar los picos de temperatura presentes en un determinado instante.

El cemento refractario aísla y sella correctamente la interfaz termocupla bujía en funcionamiento y sin degradarse.

Debido al corto que presento el circuito amplificador de señal, se puede deducir que se presenta un salto de arco eléctrico entre el electrodo de la bujía y la termocupla.

7. RECOMENDACIONES

Se recomienda para un futuro complementar este proyecto de grado al implementar la medición de vibraciones y ultrasonido, con el fin de realizar un analizador de MRCI integral. También es importante adicionar un circuito de protección para el circuito amplificador, con el fin de evitar un cortocircuito al amplificador AD620.

Es importante realizar mediciones exhaustivas de presión y temperatura, para así poder determinar la validez de los datos entregados por los sensores.

8. BIBLIOGRAFÍA

- AMPERIS@. 2007. textosCientificos.com. [En línea] 12 de Agosto de 2007. [Citado el: 09 de Marzo de 2010.] <http://www.textoscientificos.com/node/885>.
- ANALOG_DEVICES@. 2010. Analog Devices. *Analog Devices*. [En línea] Analog Devices, 2010. [Citado el: 14 de 04 de 2010.] <http://www.analog.com/en/other-products/militaryaerospace/ad620/products/product.html>.
- Battchit@. 2007. Drifting. *Drifting*. [En línea] 20 de 9 de 2007. [Citado el: 14 de 03 de 2010.] <http://www.drifting.es/2007/461/principios-de-las-bujias/>.
- CMELECTRÓNICA@. 2010. CM Electrónica. *CM Electrónica*. [En línea] 2010. [Citado el: 14 de 03 de 2010.] <http://www.cmelectronica.com.ar/imagen/tipo-parte-bujia-1.jpg>.
- Gonzales@, Antonio Perez. 2006. Mecapedia. [En línea] 11 de Julio de 2006. [Citado el: 23 de Junio de 2010.] http://www.emc.uji.es/d/mecapedia/criterio_de_von_Mises.htm.
- Guadalajara@, Universidad de. 2010. Servidor Proton. [En línea] 2010. [Citado el: 14 de Junio de 2010.] http://proton.ucting.udg.mx/dpto/maestros/mateos/clase/Modulo_03/termocuplas.pdf.
- Hernández, Monica. 2010. Circuito amplificador. 2010.
- Hoyos, Daniel y Martinez, Leimer. 2008. *DISEÑO DE UN SISTEMA DE ADQUISICIÓN DE DATOS PARA UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA DE 4 TIEMPOS DE RENAULT TWINGO*. Medellín : s.n., 2008.
- ILCE@. 2009. ILCE. *ILCE*. [En línea] 2009. <http://bibliotecadigital.ilce.edu.mx/sites/ciencia/volumen1/ciencia2/39/imgs/pet09p038.gif>.
- MONOGRAFIAS@. 2004. Procesamiento Digital de Señales. [En línea] 2004. <http://www.monografias.com/trabajos17/procesamiento-digital/procesamiento-digital.shtml>.

MOTORES@. 2009. Motores. [En línea] 2009. <http://www.geocities.com/MadisonAvenue/6883/trabajos/11motores/motores99.htm>.

NI@. 2010. National Instruments. [En línea] 2010. [Citado el: 17 de 3 de 2010.] <http://zone.ni.com/devzone/cda/tut/p/id/3639>.

OPTRAND@. 2010. Optrand Products. [En línea] 2010. [Citado el: 1 de marzo de 2010.] <http://www.optrand.com/AutoTC.htm>.

PARTSFORTECHS@. 2010. Partsfortechs. [En línea] 2010. http://www.partsfortechs.com/asapcart/bmz_cache/9/916dd9d0ab717f78dce7bf8d6247ca2f.image.552x550.jpg.

PCB_PIEZOTRONICS@. 2009. Fisher Scientific. [En línea] 2009. http://www.davidson.com.au/products/pressure/pcb/theory/fig_1.gif.

ROBOTS_ARGENTINA@. 2009. Sensores - Presión. [En línea] 18 de 05 de 2009. http://robots-argentina.com.ar/Sensores_presion.htm.

ROLCAR@, 2002. 2002. Diccionario de términos automotrices. [En línea] 2002. [Citado el: 01 de Septiembre de 2009.] <http://www.rolcar.com.mx/Diccionario/Esp/M.htm>.

SALVAT. 1974. *Enciclopedia Salvat del Automovil, Tomo 6*. Pamplona : SALVAT, s.a. de ediciones., 1974. ISBN-84-7137-415-3.

SAPIENSMAN@. 2010. Medición y control industrial. [En línea] 2010. [Citado el: 14 de Junio de 2010.] http://www.sapiensman.com/medicion_de_temperatura/termocuplas.htm.

SINGESI. 2002. *ANALISIS PREDICTIVO DEL DESEMPEÑO Y CONDICION MECANICA DE MOTORES RECIPROCANTES*. 2002.

THOMASNET@. 2003. ThomasNet. [En línea] 11 de 03 de 2003. <http://news.thomasnet.com/fullstory/20032>.

UDG@. 2009. UDG. [En línea] 2009. <http://proton.ucting.udg.mx/dpto/tesis/quetzal/TES35-01.html>.

VOCHOWEB@, 2009. 2009. Antecedentes motor de combustión interna. [En línea] 1 de Septiembre de 2009. [Citado el: 1 de Septiembre de 2009.] <http://www.vochoweb.com/vochow/tips/red/motor/pagina01.htm>.

WIKIPEDIA@. 2009. Acelerómetro. [En línea] 21 de 08 de 2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/Aceler%C3%B3metro>.

—. 2009. Conversión analógica-digital. [En línea] 12 de 08 de 2009. http://es.wikipedia.org/wiki/Conversi%C3%B3n_anal%C3%B3gica-digital.

—. 2009. Motor de combustión interna alternativo. *Motor de combustión interna alternativo*. [En línea] 29 de 08 de 2009. http://es.wikipedia.org/wiki/Motor_de_combusti%C3%B3n_interna_alternativo.

—. 2010. OBD. [En línea] 08 de Marzo de 2010. [Citado el: 09 de Marzo de 2010.] <http://es.wikipedia.org/wiki/OBD>.

—. 2009. Procesamiento de señales. [En línea] 19 de 06 de 2009. http://es.wikipedia.org/wiki/Procesamiento_de_se%C3%B1ales.

—. 2009. Ultrasonido. [En línea] 19 de 08 de 2009. <http://es.wikipedia.org/wiki/Ultrasonido>.

—. 2009. [www.wikipedia.com](http://es.wikipedia.com). [En línea] 2009. [Citado el: 6 de 3 de 2009.] http://es.wikipedia.org/wiki/Archivo:Engine_movingparts.jpg.

WIKIPEDIA@, 2010. Analisis de Elementos Finitos. [En línea] [Citado el: 23 de Junio de 2010.] http://es.wikipedia.org/wiki/An%C3%A1lisis_de_elementos_finitos.

—. Métodos de Elemntos Finitos. [En línea] [Citado el: 23 de Junio de 2010.] http://es.wikipedia.org/wiki/M%C3%A9todo_de_los_elementos_finitos.

Anexo 1 Plano de dibujo del adaptador

Anexo 2 Resultados estudio FEM