



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA.
INGENIERIA MECANICA Y AUTOMOTRIZ.



“Análisis de los efectos producidos en un motor turbo-diésel por falla de compresión en el turbocompresor”

Tesis:

Que como parte de los requisitos para obtener el título de Ingeniero Mecánico y Automotriz.

PRESENTA:

Miguel Reséndiz Trejo.

DIRIGIDO POR:

Dr. Juan José Saucedo Dorantes.



Dirección General de Bibliotecas y Servicios Digitales
de Información



Análisis de los efectos producidos en un motor
turbo-diésel por falla de compresión en el
turbocompresor

por

Miguel Reséndiz Trejo

se distribuye bajo una [Licencia Creative Commons
Atribución-NoComercial-SinDerivadas 4.0
Internacional](https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/).

Clave RI: IGLIN-265790



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO
FACULTAD DE INGENIERÍA
CAMPUS SAN JUAN DEL RÍO



**ANÁLISIS DE LOS EFECTOS PRODUCIDOS EN UN MOTOR TURBO-DIÉSEL
POR FALLA DE COMPRESIÓN EN EL TURBOCOMPRESOR
T E S I S**

Como parte de los requisitos para obtener el título de
INGENIERO MECÁNICO Y AUTOMOTRIZ

Presenta

MIGUEL RESÉNDIZ TREJO

Dirigido por:

DR. JUAN JOSÉ SAUCEDO DORANTES

SINODALES:

DR. JUAN JOSÉ SAUCEDO DORANTES (15647)
Presidente

DR. ANGEL PEREZ CRUZ (8590)
Secretario

DR. CARLOS GUSTAVO MARIQUEZ PADILLA (15628)
Vocal

DR. DAVID ALEJANDRO ELVIRA ORTIZ (16323)
Sinodal

Carlos Gustavo Mariquez Padilla

Agradecimientos

Principalmente quiero agradecer a mi familia que me apoyo durante todo este proceso estudiantil. A mi mamá, Alicia, quien siempre estuvo al pendiente de mis necesidades académicas y personales y a mi papá Crispino, que siempre estuvo para apoyarme y animarme en todo momento, al igual a mis hermanos que también estuvieron conmigo durante el proceso, en especial a mi hermana Tania que siempre estuvo ayudándome.

También quiero agradecer a mi director de tesis, el Dr. Juan José, quien supo guiarme por el mejor camino durante este proyecto, compartiendo sus conocimientos y mostrando comprensión y paciencia, al igual a cada uno de mis sinodales quien con sus retroalimentaciones hicieron que este proyecto tomara mejor forma.

Agradecer también a mis compañeros y amigos quienes compartieron conmigo buenos momentos de diversión y apoyo mutuo, a mi amigo Edson quien me ayudo y apoyo incondicionalmente mientras pasaba por una situación familiar complicada.

Y, por último, a la Universidad Autónoma de Querétaro quien me abrió las puertas de sus aulas, brindándome el espacio y las herramientas necesarias para desarrollarme profesionalmente.

Tabla de contenido

Agradecimientos	3
Índice de figuras	6
Índice de tablas	6
1. Introducción.....	7
1.1. Antecedentes.....	8
1.2. Planteamiento del problema.....	11
1.3. Objetivos	12
1.3.1. Objetivo general.....	12
1.3.2. Objetivos específicos.....	12
1.4. Justificación del problema.....	13
2. Fundamentación teórica	15
2.1. Motor de combustión interna (gasolina)	15
2.2. Motores Diésel	16
2.2.1. Ciclo Diésel	17
2.2.2. Turbocompresor.....	18
2.3. Medición de gases contaminantes.....	18
2.3.1. Gases contaminantes producidos por máquinas de combustión.....	18
• Monóxido de carbono (CO).....	18
• Dióxido de carbono (CO ₂)	18
• NOM-045 EMISIONES DIESEL.....	19
2.3.2. Equipos y sensores para la medición de gases contaminantes	20
• Equipo de medición Bosch	20
• Sensor.....	21
• Sensor de CO, CO ₂ y temperatura	22
• Raspberry	25
3. Metodología	27
3.1. Puesta en marcha del motor turbo-Diésel.....	27
3.2. Instrumentación con sensores de CO, CO ₂ y temperatura.....	28
3.3. Caracterización de sensores.....	29
3.4 Realizar pruebas en el motor turbo-Diésel bajo diferentes condiciones:.....	30
3.4.1 Motor Sano.....	30
3.4.2 Fallo por disminución de compresión en la sobrealimentación	31

3.5 Adquisición de señales de CO, CO2 y temperatura.....	31
3.6 Análisis de señales.....	32
4. Resultados.....	33
4.1 Revisión del motor.....	33
4.2 Instrumentación de sensores.....	34
4.4 Caracterización de los sensores.....	35
4.3 Pruebas del motor.....	37
4.3.1 Motor sano.....	37
4.3.2 Fallo por disminución de compresión en la sobrealimentación.....	37
4.5 Adquisición de las señales.....	38
4.5.1 señal sin calibración de sensores.....	38
4.5.2 Señal con sensores calibrados.....	39
4.6 Análisis de la señal.....	40
5. Conclusiones.....	44
Bibliografía.....	45

Índice de figuras

Figura 1: Partes de un motor de combustión interna (20 palabras, s.f.)	16
Figura 2: Analizador de emisiones Bosch 350 (bosch, s.f.)	21
Figura 3: sensor MQ-7 (Geek factory, s.f.)	23
Figura 4: sensor MG-811 (Micro jpm, s.f.)	24
Figura 6: Raspberry (Sole, 2021)	26
Diagrama de revisión de componentes	29
Figura 7: Medidor de calidad del aire, FLUEKE 975 AIRMETER (Propia)	30
Figura 8: Partes de un turbo-compresor (Megaturbo , 2015)	31
Figura 9: Motor turbo-Diésel Ford de 7.3L (Propia).....	33
Figura 10: Motor en revisión.....	34
Figura 12: salida de los sensores (Propia)	34
Figura 13: Instrumentacion de sensores A)sensor CO, B)sensor CO2, C)sensor Temperatura (Propia)	35
Figura 14: Escape con sonda	35
Figura 15: Valor en partes por millón (PPM.....	36
Figura 17: Gráfica CO2 (Propia).....	36
Figura 18: Gráfica CO (Propia).....	37
Figura 19: Turbina detenida (Propia)	38
Figura 20: Gráfica de primer prueba (Propia)	39
Figura 21: Prueba de CO (Propia).....	40
Figura 22: CO (Rango monóxido de carbono: 100 a 450 PPM) (Propia)	41
Figura 23: CO2 (Rango dióxido de carbono: 0.3% a 0.5% Volumen de PPM) (Propia)	42
Figura 24: Cambio de temperatura (Propia)	43

Índice de tablas

Tabla 1	19
Niveles máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del vehículo	19
Tabla 2	20
Niveles máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del motor.....	20
Tabla 3 Composición y temperatura de los gases de escape de motores Diésel	22
Tabla 4 (sección de tabla 3).....	40

Capítulo 1

1. Introducción.

Hoy en día el uso de vehículos es de gran importancia debido a que han formado parte de la vida cotidiana de la humanidad, y a día de hoy se sigue manteniendo. Con la finalidad de resolver las necesidades de transporte del día a día. La mayoría de vehículos son impulsados por motores de combustión interna y aunque actualmente ya existen opciones híbridas o eléctricas debe destacarse que aquellos impulsados por motores de combustión suelen usarse no solo para el traslado de personas de un lugar a otro, también se han desempeñado en otras áreas de suma importancia, como lo es en el transporte de materiales pesados y/o materiales en grandes cantidades, etc. Respecto al transporte de materiales de mayor peso, la solución más aceptable reside en el uso de vehículos cuyos motores son encendidas por compresión o bien motores Diésel, esto debido a la gran potencia que ofrecen este tipo de motores.

Tomando en cuenta la demanda que han tenido hoy en día los motores Diésel, la preocupación por emisiones emitidas por este tipo de vehículos, ha crecido considerablemente conforme crece la producción de estos. Abriendo así un campo extenso de estudios basados en las causas de estas emisiones y en las soluciones a las que se puedan llegar. Las emisiones emitidas por el tubo de escape son producto del proceso de combustión y comprenden una serie de contaminantes tales como: CO, CO₂, HC, NO_x, SO₂, y PM. Además, ciertos contaminantes presentes en el combustible tales como el azufre se liberan al ambiente también como producto del proceso de combustión. Los vehículos con motores de mayor potencia tienden a generar mayores emisiones contaminantes y no solo dependen de las características constructivas de los motores y su sistema de control de emisiones, sino también del estado de mantenimiento del vehículo y

los factores de operación tales como régimen de giro, carga y la frecuencia e intensidad de las aceleraciones y desaceleraciones (Arenas, 2016).

Por otra parte, la incorporación de la sobrealimentación a motores de combustión interna permite aumentar la potencia del motor evitando la necesidad de incrementar sus dimensiones. Una aplicación bastante práctica de esta técnica puede verse en motores de automóviles que recorren trayectos que se encuentran a una mayor altitud sobre el nivel del mar, donde la potencia de los mismos se ve drásticamente reducida a causa de la menor densidad del aire (ingeniería, 2011)

Siendo así que el desarrollo de esta tesis será enfocado en el estudio de las emisiones producidas por un motor turbo-Diésel, cuando este presenta una falla de compresión en el turbocompresor. Esto se llevará a cabo analizando las señales captadas por algunos sensores enfocados en la lectura de gases contaminantes, comparando resultados en diferentes pruebas, principalmente cuando el motor presente la falla y cuando no presente ninguna afectación en el turbocompresor. Contando con 5 capítulos, donde en el capítulo 1 se muestra una breve introducción, antecedentes, un planteamiento del problema y objetivos para el desarrollo de la misma. El capítulo dos se explica de manera detallada lo que es la fundamentación teórica, conceptos que son necesarios conocer para lograr una mejor comprensión sobre el tema. Para el capítulo 3 se detalla la metodología a seguir para la realización de este proyecto. En el capítulo 4 se muestran los resultados de la metodología aplicada en este proyecto, además de describir cada uno de estos resultados haciendo un análisis para así poder llegar al capítulo 5 el cual consta de las conclusiones obtenidas de los resultados al igual que una sección que deja pauta para el desarrollo de proyectos con relación a este tema en cuestión.

1.1. Antecedentes.

La contaminación ambiental es un problema que actualmente impacta a nivel mundial, en este sentido, debe resaltarse que existen diferentes factores que contribuyen a la contaminación ambiental y ellos se encuentra el transporte que

comúnmente es impulsado mediante máquinas de combustión interna. Aunque ya se trabaja en la propuesta de soluciones a problemáticas de contaminación ambiental existe la necesidad de seguir colaborando con la causa. Por otra parte, la constante evolución o el avance tecnológico de motores de combustión interna y la fabricación de unidades a gran escala o por cantidad de producción destinada al sector automotriz, hacen que el estudio sea permanente debido al interés de grandes factores principales como: la pérdida de potencia, consumo de combustible, el rendimiento efectivo y la contaminación ambiental (Morales, 2014). En general cada una de las tendencias producen efectos contrapuestos para uno u otro tipo de contaminante y afecta de manera distinta sobre los parámetros característicos del motor. Incluso para cada tipo de motor es necesario abordar el problema de manera diferente, dado que las características de las emisiones cambian con el punto de funcionamiento del motor ya que algunos componentes pueden afectar más en las emisiones que otros. La diferencia más clara aparece cuando comparan las características de las emisiones de los motores de encendido por compresión (Diésel) con los de encendido provocado (gasolina), siendo en este sentido diferentes las estrategias utilizadas para la reducción de contaminantes para los motores que pertenecen a uno u a otro grupo (García, 2004).

Al respecto existen varios análisis que se han realizado, unos enfocados a los gases emitidos por los motores y otros enfocados a las fallas del motor causante de más contaminación dando así distintas soluciones como los son combustibles alternos como es el caso del biodiesel. En la actualidad el biodiesel se plantea, como una alternativa y un complemento al Diésel para combatir la contaminación ambiental y la escasez de combustibles fósiles, siendo un medio de energía renovable menos contaminante que el Diésel normal. El biodiesel es un combustible que se obtiene principalmente en base a aceites vegetales de la palma aceitera, soya, canola y girasol convirtiendo a los triglicéridos en ésteres de metilo o etilo a través de un proceso denominado transesterificación, sin embargo aunque el biodiesel es una solución tentativa aun no existen estudios profundos que destaquen las afectaciones sobre los propios MCI y en consecuencia también

las afectaciones sobre la generación de gases contaminantes a largo plazo (Santivañez, 2016)

Por otro lado, también existen algunos estudios que se han abordado sobre motores sobre-alimentados, por ejemplo, en 2013 Barahona efectuó la implementación de un sistema de sobrealimentación a un vehículo Hyundai H100 Motor Diésel donde específicamente para este motor se investigaron las variaciones existentes, así como sus diseños y aplicaciones, para seleccionar el de mejores condiciones que permita incrementar la eficiencia volumétrica con su correspondiente incremento en el rendimiento del motor. El sistema de sobrealimentación logra reducir la opacidad de los gases de escape, haciendo al vehículo más amigable con el medio ambiente, reduce el consumo de combustible en un 7.636%, así como también existe un aumento de la potencia indicada del 66.8% y mejora los tiempos de aceleración. Sin embargo, si no se le da el mantenimiento adecuado al sistema de sobrealimentación estas emisiones que se redujeron pueden volver a aumentar considerablemente, como es en el caso de la falla en la compresión. (Barahona, 2013)

Aunque los sistemas de sobrealimentación de máquinas de combustión interna son comúnmente eficientes, pudieran aparecer algunas fallas que afecten su funcionamiento y que repercuta en la falta de empuje o empuje intermitente que se dan por fugas o por averías en los sensores y válvulas de control. Si el empuje de nuestro turbocompresor es intermitente, lo más posible es que tengamos la geometría variable atascada por culpa de los depósitos allí acumulados, o que tengamos un fallo en las válvulas que controlan la presión de soplado del turbocompresor. Además, que en ciertas ocasiones también podemos tener problemas de fugas de aire, tanto en el mismo turbocompresor, como en los conductos que a él se conectan. Las pequeñas fugas suelen pasar desapercibidas, aunque sí que son reconocibles por saltos en la subida de revoluciones del motor, más perceptibles cuanto mayor sea la fuga. Aunque cabe mencionar que hay muy poca información sobre si estas afectaciones en el sistema de sobrealimentación afectan directa o indirectamente a los gases

emitidos por el vehículo, habría que realizar estudios más enfocados sobre el tema para determinar si es que hay afectación en estos gases (Clavero, 2020).

De acuerdo con los antecedentes presentados podemos deducir que la mayoría se basa en encontrar una solución alterna y ajena al motor para poder reducir algunos gases emitidos por el mismo, como es el caso de combustibles alternos o mejoras de piezas, dejando de lado que, con la introducción del turbocompresor, tenemos que este ha reducido considerablemente el consumo de combustible comparado con motores de mayor dimensión y que contienen características similares. Por consecuencia con el turbocompresor si este logra además de ello reducir un porcentaje de emisiones, al presentarse una falla en este podemos deducir que se verían severamente afectados los gases contaminantes y al poder analizar algunos de estos gases se puede llegar a notar las afectaciones de esta falla. Teniendo como tipo de estudio principalmente los gases contaminantes, el cual en este sentido se ha dejado de lado, pudiendo obtener mayores resultados más allá que una simple verificación o medida de opacidad. Considerando para este proyecto la instrumentación de un motor de combustión interna turbo-diésel mediante sensores de bajo costo y arquitectura abierta para el análisis de gases contaminantes cuando dicho motor presenta fallos en el turbocompresor, específicamente para analizar cada gas emitido como sería el caso de CO, CO₂ y temperatura.

1.2. Planteamiento del problema.

Desde la invención de los motores de combustión interna en este caso especialmente motores Diésel, se ha buscado la manera de reducir los gases contaminantes que estos producen, ya que debido a las pérdidas que este tiene cuando aparece la falla por compresión en el sistema de sobrealimentación (turbocompresor), se denotan perdidas de potencia, provocando así varios efectos de los gases producidos por el motor. También hay que considerar que el estudio de estos gases para llegar a los efectos que los pueden causar no ha sido tan relevante teniendo en consecuencia pocos estudios sobre ellos, al igual que las

máquinas para el proceso de captura de emisiones es un tanto costosa y no fácil de adquirir.

De las preocupaciones que siempre se ha tenido, es la cantidad de contaminación que fructifican los motores y más ahora que en función existen miles de vehículos operando con Diésel. Tan solo en México, el censo de vehículos de camiones de carga a motor de combustión interna registrados es de 10, 690,612, considerando que aproximadamente un 80% son camiones de combustible Diésel. (INEGI, 2021)

Por otro lado, debe considerarse que la mayoría de motores a Diésel son integrados con un sistema de sobre-alimentación convencionalmente basado en el uso de un turbo-compresor. En este sentido, debido a que estos elementos son sometidos a condiciones adversas de trabajo, es posible que la aparición inesperada de fallas pueda repercutir en su eficiencia haciendo que el motor de combustión interna no opere de forma adecuada y consecuentemente la generación de gases contaminantes.

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Realizar el análisis de los efectos producidos en un motor turbo-diésel mediante la medición de gases de emisión para determinar las afectaciones producidas por la falla de compresión en el turbocompresor.

1.3.2. Objetivos específicos

- Revisar la funcionalidad del banco de pruebas basado en un motor turbo-Diésel para asegurar su correcto funcionamiento.
- Adquirir y acondicionar la señal de sensores de monóxido de carbono, dióxido de carbono y temperatura para tomar lecturas de la calidad de aire de gases de escape por medio de un software.
- Instrumentar un motor turbo-Diésel con sensores de monóxido de carbono, dióxido de carbono y temperatura para mediar la concentración de gases de emisión.

- Realizar diferentes pruebas en un motor turbo-Diésel que opera bajo los efectos de falla de compresión en el turbo-compresor para medir los efectos de gases de escape.
- Analizar las señales de gases de escape, monóxido de carbono, dióxido de carbono y temperatura para establecer las afectaciones producidas por la falla de compresión en el turbo-compresor.

1.4. Justificación del problema

A pesar de la llegada de los motores eléctricos en vehículos, que en algún punto sustituirán a los motores de combustión interna, el auge de los motores Diésel continúa y continuará por bastante tiempo gracias a su sistema de funcionamiento por compresión, el cual nos ayuda a tener una gran entrega de potencia y con la introducción del turbocompresor esto ha ayudado bastante a su mejoría. Aunque ya hay bastantes estudios para reducir las emisiones, se han dejado aperturas para el análisis de estos gases, utilizando los antecedentes sobre estos análisis, el que más se ha dejado de lado es la falla de compresión en el turbocompresor. Al tener un análisis de las emisiones enfocadas a los efectos de esta falla, podemos llegar a extensas conclusiones. Considerando que para poder medir las emisiones contaminantes de un motor se necesita ciertas máquinas comerciales de alto valor, con las cuales se miden la cantidad de gases encontrados en el humo del escape de un motor, se puede llegar a una solución menos costosa para este tipo de análisis, tal es el caso de la instrumentación de algunos sensores capaces de percibir cambios en el CO, CO₂ y temperatura, siendo más viable el desarrollo de esta instrumentación ya que tan solo en comparación con las máquinas comerciales, la reparación de una de estas puede llegar a ser más costosa que el simple hecho de la instrumentación en este caso y considerando el desarrollo de una implementación de sensores específicos para cada gas contaminante delimitando en este caso solo los tres ya mencionados, el cual puede ser instrumentado para cualquier motor turbodiesel.

Además, debido a que actualmente no hay estudios que aborden las afectaciones producidas en cuanto a la emisión de gases contaminantes (CO y

CO₂) en un motor turbodiésel cuando éste opera bajo la influencia de fallas en el sistema de sobre-alimentación, la realización de este trabajo se justifica en analizar la emisión de gases para dicho motor turbo-diésel mediante sensores de bajo costo.

Capítulo 2

2. Fundamentación teórica

Para proponer una metodología que nos lleve al análisis de efectos en el motor Diésel por falta de empuje tenemos que considerar algunos conceptos que serán utilizados durante la experimentación, para así poder comprender y ubicar los componentes que serán perturbados.

2.1. Motor de combustión interna (gasolina)

Un motor de combustión interna, motor a explosión o motor a pistón, es un tipo de máquina que obtiene energía mecánica directamente de la energía química de un combustible que arde dentro de la cámara de combustión. Su nombre se debe a que dicha combustión se produce dentro de la propia máquina, a diferencia de, por ejemplo, la máquina de vapor.

El motor de combustión de 4 tiempos tiene 4 fases de funcionamiento: Admisión, compresión, explosión y escape

Primer tiempo o admisión: en esta fase el descenso del pistón aspira la mezcla aire combustible en los motores de encendido provocado o el aire en motores de encendido por compresión. La válvula de escape permanece cerrada, mientras que la de admisión está abierta. En el primer tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas da 90° y la válvula de admisión se encuentra abierta y su carrera es descendente.

Segundo tiempo o compresión: al llegar al final de la carrera inferior, la válvula de admisión se cierra, comprimiéndose el gas contenido en la cámara por el ascenso del pistón. En el 2º tiempo el cigüeñal da 360° y el árbol de levas da 180° , y además ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es ascendente.

Tercer tiempo o explosión/expansión: al llegar al final de la carrera superior el gas ha alcanzado la presión máxima. En los motores de encendido provocado o de ciclo Otto salta la chispa en la bujía, provocando la inflamación de la mezcla, mientras que, en los motores diésel, se inyecta a través del inyector el combustible

muy pulverizado, que se auto inflama por la presión y temperatura existentes en el interior del cilindro. En ambos casos, una vez iniciada la combustión, esta progresa rápidamente incrementando la temperatura y la presión en el interior del cilindro y expandiendo los gases que empujan el pistón. Esta es la única fase en la que se obtiene trabajo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° mientras que el árbol de levas gira 90° respectivamente, ambas válvulas se encuentran cerradas y su carrera es descendente.

Cuarto tiempo o escape: en esta fase el pistón empuja, en su movimiento ascendente, los gases de la combustión que salen a través de la válvula de escape que permanece abierta. Al llegar al punto máximo de carrera superior, se cierra la válvula de escape y se abre la de admisión, reiniciándose el ciclo. En este tiempo el cigüeñal gira 180° y el árbol de levas gira 90° . (Ramirez, s.f.)

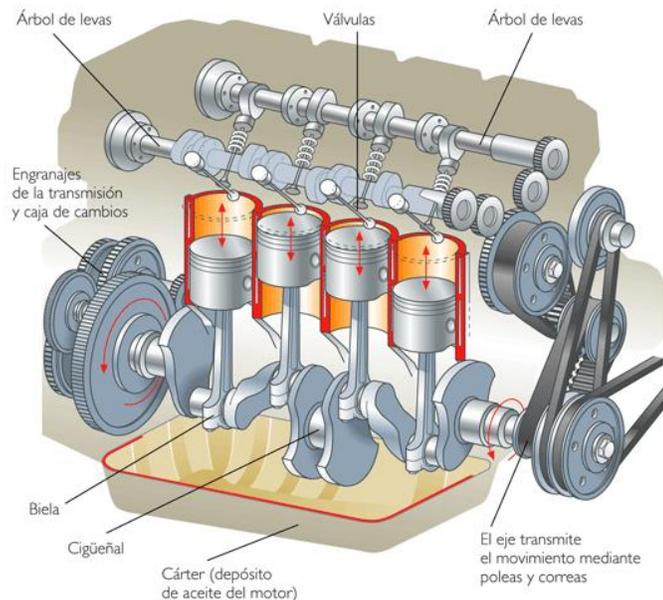


Figura 1: Partes de un motor de combustión interna (20 palabras, s.f.)

2.2. Motores Diésel

Un motor Diésel constituye una máquina termodinámica formada por un conjunto de piezas o mecanismos fijos y móviles, cuya función principal es transformar en energía mecánica o movimiento, la energía química que proporciona la combustión de una mezcla de aire y combustible Diésel, para que

se pueda realizar un trabajo útil. Este trabajo se transmite mediante el desplazamiento lineal de un émbolo, transformándolo en un movimiento rotativo que impulsa a su vez al cigüeñal, mediante el mecanismo biela – manivela. De esta manera se consigue transformar mediante un proceso de combustión la energía química almacenada en un combustible en energía mecánica, que también es la base de todo motor térmico. (Morales, 2014)

2.2.1. Ciclo Diésel

El motor Diésel es un motor de combustión interna cuyo funcionamiento se basa en el ciclo Otto, a diferencia que se inyecta combustible dentro del pistón una vez realizada la compresión del aire.

Esto es, en el primer tiempo la diferencia con el motor encendido por chispa es que en lugar de entrar una mezcla de aire y combustible entra solo aire, esto produce que, en el segundo tiempo, el aire se comprima y se caliente cuando llega el pistón al PMS, en ese instante el Diésel es inyectado. En el tercer tiempo el Diésel se enciende a raíz de la presión elevada en la que se encuentra el aire. El cuarto tiempo es igual al de encendido por chispa. La relación de compresión de la carga del aire es lo suficientemente alta como para encender el combustible inyectado. (Mercedes Yolanda Rafael Morales, 2014).

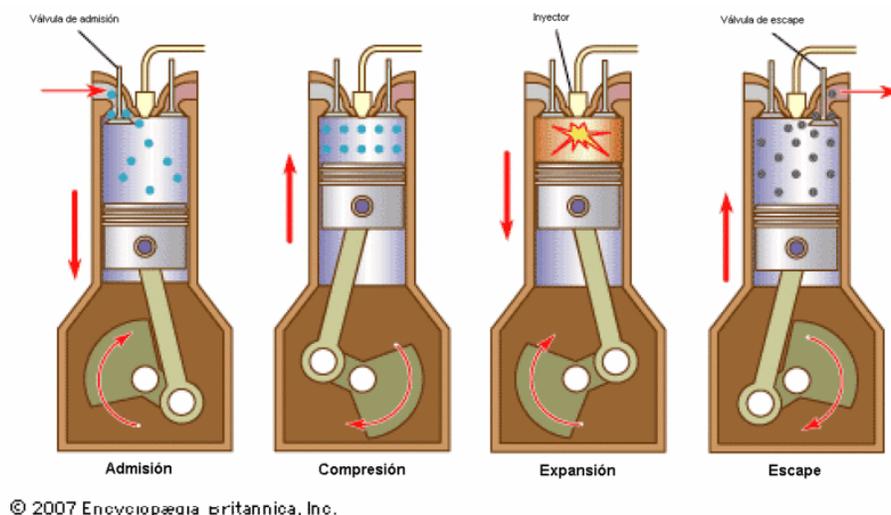


Figura 2: Ciclo Diésel (Motogear Gt, 2014)

2.2.2. Turbocompresor

El turbocompresor es una turbo máquina diseñada para comprimir aire, que opera con la energía que normalmente se pierde en los gases de escape del motor. Se compone básicamente de una turbina solidaria a un eje que impulsa el compresor de aire de admisión en su otro extremo. Los gases de combustión ingresan a la turbina conectada al múltiple de escape haciendo que esta gire y, a través del eje que une ésta y el compresor, impulse el segundo, el cual inyecta aire de admisión. (ingeniería, 2011)

2.3. Medición de gases contaminantes

En esta experimentación solo se tomarán en cuenta los siguientes gases

2.3.1. Gases contaminantes producidos por máquinas de combustión

- **Monóxido de carbono (CO)**

El Monóxido es resultado del proceso de combustión y se forma siempre que la combustión es incompleta, es un gas tóxico, incoloro e inodoro. Valores altos del CO, indican una mezcla rica o una combustión incompleta. Normalmente el valor correcto está comprendido entre 0,5 y 2 %, siendo la unidad de medida el porcentaje en volumen. (Augeri, 2011)

- **Dióxido de carbono (CO₂)**

El dióxido de Carbono es también resultado del proceso de combustión, no es tóxico a bajos niveles, es el gas de la soda, el anhídrido carbónico.

El motor funciona correctamente cuando el CO₂ está a su nivel más alto, este valor porcentual se ubica entre el 12 al 15 %. Es un excelente indicador de la eficiencia de la combustión.

Como regla general, lecturas bajas son indicativas de un proceso de combustión malo, que representa una mala mezcla o un encendido defectuoso. (Augeri, 2011)

- **NOM-045 EMISIONES DIESEL**

Norma oficial mexicana nom-045-semarnat-1996, que establece los niveles máximos permisibles de opacidad del humo proveniente del escape de vehículos automotores en circulación que usan Diésel o mezclas que incluyan Diésel como combustible.

Especificaciones:

Los niveles máximos permisibles de opacidad del humo, proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motor a diésel, con peso bruto vehicular de hasta 2,727 kilogramos, en función del año-modelo del vehículo, expresado en coeficiente de absorción de luz, son los establecidos en la Tabla 1 de esta Norma Oficial Mexicana. (Lillo, 1997)

Tabla 1

Niveles máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del vehículo

Año-modelo del vehículo	Coeficiente de absorción de luz (m-1)	Por ciento de opacidad (%)*
1995 y anteriores	1.99	57.61
1996 y posteriores	1.07	37.04

Nota: (*) Expresado como valor referencial.

Los niveles máximos permisibles de opacidad del humo, proveniente del escape de los vehículos automotores en circulación equipados con motor diésel con peso bruto vehicular de más de 2,727 kilogramos, en función del año-modelo del motor, expresado en coeficiente de absorción de luz, son los establecidos en la Tabla 2 de esta Norma Oficial Mexicana.

Tabla 2

Niveles máximos permisibles de opacidad del humo en función del año-modelo del motor

Año-modelo del motor	Coefficiente de absorción de luz (m-1)	Por ciento de opacidad (%)*
1990 y anteriores	1.99	57.61
1991 y posteriores	1.27	42.25

Nota: (*) Expresado como valor referencial.

El método de prueba y el equipo a utilizar para determinar la opacidad del humo señalada en las tablas 1 y 2 de la presente Norma, se establecen en la Norma Oficial Mexicana NOM-077-ECOL-1995, referida en el punto 2 de esta Norma. (Lillo, 1997)

2.3.2. Equipos y sensores para la medición de gases contaminantes

- **Equipo de medición Bosch**

El sistema de análisis de emisiones Bosch sirve para realizar análisis de gases de escape del vehículo en forma idónea para el usuario. Los objetos a comprobar son todo el espectro de vehículos con motores de gasolina (Otto) y Diésel que participan en el tráfico vial y en los que se tienen que realizar análisis de emisiones exigidos por un lado por la legislación y necesarios por otro lado para la localización y eliminación de averías y defectos en el marco de la estancia en el taller. (bosch, s.f.)



Figura 2: Analizador de emisiones Bosch 350 (bosch, s.f.)

- **Sensor**

Un sensor es un dispositivo que detecta el cambio en el entorno y responde a alguna salida en el otro sistema. Un sensor convierte un fenómeno físico en un voltaje analógico medible (o, a veces, una señal digital) convertido en una pantalla legible para humanos o transmitida para lectura o procesamiento adicional.

Uno de los sensores más conocidos es el micrófono, que convierte la energía del sonido en una señal eléctrica que puede amplificarse, transmitirse, grabarse y reproducirse. (Smith, 2020)

- **Sensor de CO, CO2 y temperatura**

Tabla 3 Composición y temperatura de los gases de escape de motores Diésel

Composición y temperatura en los gases de escape		Ralentí	A potencia máxima
Óxidos de Nitrógeno (NOx)	ppm	50...200	600...2500
Hidrocarburos (HC)	ppm C1	50...500	<50
Monóxido de Carbono (CO)	ppm	100...450	350...2000
Dióxido de Carbono (CO2)	Vol.%	0.3-0.5	12...16
Vapor de Agua	Vol.%	2...4	...11
Oxígeno	Vol.%	18	2...11
Nitrógeno, etc.	Vol.%	Residual	Residual
Cantidad de Humo, auto de pasajeros		SZ=<0.5	SZ=2...3
Temperatura de gases de escape	°C	100...200	550...750

Fuente: Libro Automotive Handbook (Bosch, 2000)

- **CO MQ-7**

El sensor MQ-7 permite medir gas de Monóxido de Carbono (CO), ideal para detectar concentraciones de dañinas de CO en el aire y así evitar sus daños en la salud. El sensor MQ-7 puede detectar concentraciones en el rango de 20 a 2000ppm. El sensor MQ7 posee una alta sensibilidad y rápido tiempo de respuesta, es muy fácil además realizar la interfaz del sensor con un microcontrolador, ya que podemos usar un pin de entrada analógico para medir la concentración del gas. Las conexiones que requiere el sensor son muy básicas solo requiere alimentación de 5V para el elemento calefactor.

En esta presentación el sensor MQ-3 viene en un módulo que contiene toda la electrónica básica necesaria para el funcionamiento del sensor, entregando una señal analógica y digital. La sensibilidad de la señal digital puede ajustarse mediante un potenciómetro colocado en el módulo. (Geek factory, s.f.)

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

- Voltaje de Operación: 5V DC
- Voltaje de Calentamiento: 5V (alto) y 1.4V (bajo)
- Resistencia de carga: regulable

- Resistencia de calentamiento: 33 Ohm
- Tiempo de Calentamiento: 60s (alto) 90s (bajo)
- Consumo de Resistencia: aprox. 350mW
- Concentración de Oxígeno: 21%



Figura 3: sensor MQ-7 (Geek factory, s.f.)

- **CO2 MG-811**

Este sensor, está diseñado para para capturar el CO2 en el ambiente.

Este sensor (el gris) junto con el módulo (todo lo demás) contiene un circuito, para amplificar o ajustar la sensibilidad dependiendo del ambiente donde se quiera utilizar y tiene un comparador con umbral ajustable y una salida analógica, la cual el microcontrolador leerá. Este sensor puede leer concentraciones desde 350 a 100000pm (partes por millón)

Características del sensor:

- Voltaje 5v o más.
- Salida digital DO (comparador)
- Salida analógica AO (amplificador)
- Salida comparador de temperatura
- Potenciómetro para ajustar amplificación
- Potenciómetro para ajuste de comparador
- Peso 10 g

- El sensor se calienta y se puede sentir al tacto. El voltaje se incrementa hasta que se nivela, ya que el sensor esté caliente, estará listo para detectar el CO₂
- La salida analógica tiene un rango de 0 a 2v a mayor voltaje de salida es menor la concentración del gas, para mayor información revisar la hoja de datos.
- Cuando la temperatura ambiente cambia el voltaje de salida también varía, y el sensor de CO₂ a una temperatura más alta detección más eficaz. (Micro jpm, s.f.)



Figura 4: sensor MG-811 (Micro jpm, s.f.)

- **LM35**

El LM35 es un circuito electrónico sensor que puede medir temperatura. Su salida es analógica, es decir, te proporciona un voltaje proporcional a la temperatura. El sensor tiene un rango desde -55°C a 150°C . Su popularidad se debe a la facilidad con la que se puede medir la temperatura. Incluso no es necesario de un microprocesador o microcontrolador para medir la temperatura. Dado que el sensor LM35 es analógico, basta con medir con un multímetro, el voltaje a salida del sensor. (Hetpro, s.f.)

Características:

- Resolución: 10mV por cada grado centígrado.

El concepto es el de un ordenador limpio de todos los accesorios que se pueden eliminar sin que afecte al funcionamiento básico. Está formada por una placa que soporta varios componentes necesarios en un ordenador común y es capaz de comportarse como tal. (Historia de la informática, 2013)

El diseño de la Raspberry Pi-Pico incluye:

- Microcontrolador RP2040 diseñado por Raspberry Pi
- Basado en un ARM Cortex M0+ de doble núcleo a 133 MHz
- 264 KB de SRAM
- 2MB de memoria Flash en placa
- USB 1.1 con soporte host
- Modo de bajo consumo e hibernación
- Programación drag-and-drop usando almacenamiento masivo por USB
- 26 pines GPIO multifunción
- 2 SPI, 2 I2C, 2 UART, 3 ADC de 12-bit, 16 canales PWM
- Sensor de temperatura
- Reloj preciso integrado en placa
- Librerías de coma flotante on-chip
- 8 puertos programables I/O (PIO) (Output, s.f.)

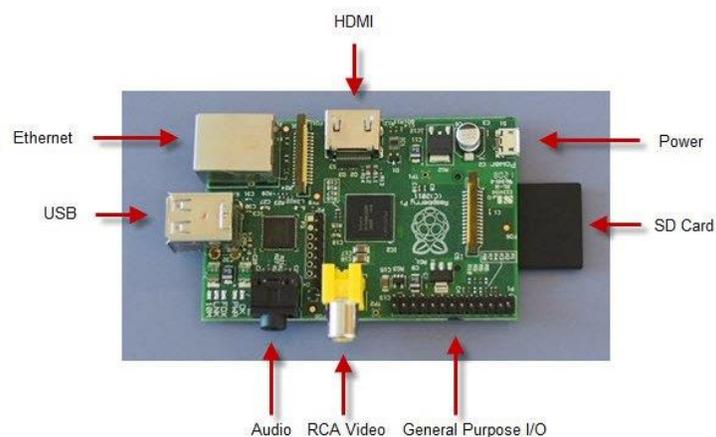


Figura 6: Raspberry (Sole, 2021)

Capítulo 3

3. Metodología

La metodología a elaborar del presente trabajo se detalla a continuación en este capítulo, donde, en el siguiente diagrama a bloques se muestra un bosquejo general de los pasos para llevar a cabo su realización. Primordialmente la maqueta del motor a Diésel de la universidad se verifica si este está en buenas condiciones y se pone en marcha, posteriormente se acondiciona los sensores seleccionados para la realización de las pruebas de CO, CO₂ y temperatura. Se continua con las pruebas cuando el motor está en estado sano y después se le induce la falla en la sobrealimentación (turbocompresor) para lograr la prueba siguiente. Después adquirimos las señales que arrojan los sensores de ambas pruebas para finalmente hacer un análisis a las mismas y poder llegar a las conclusiones.

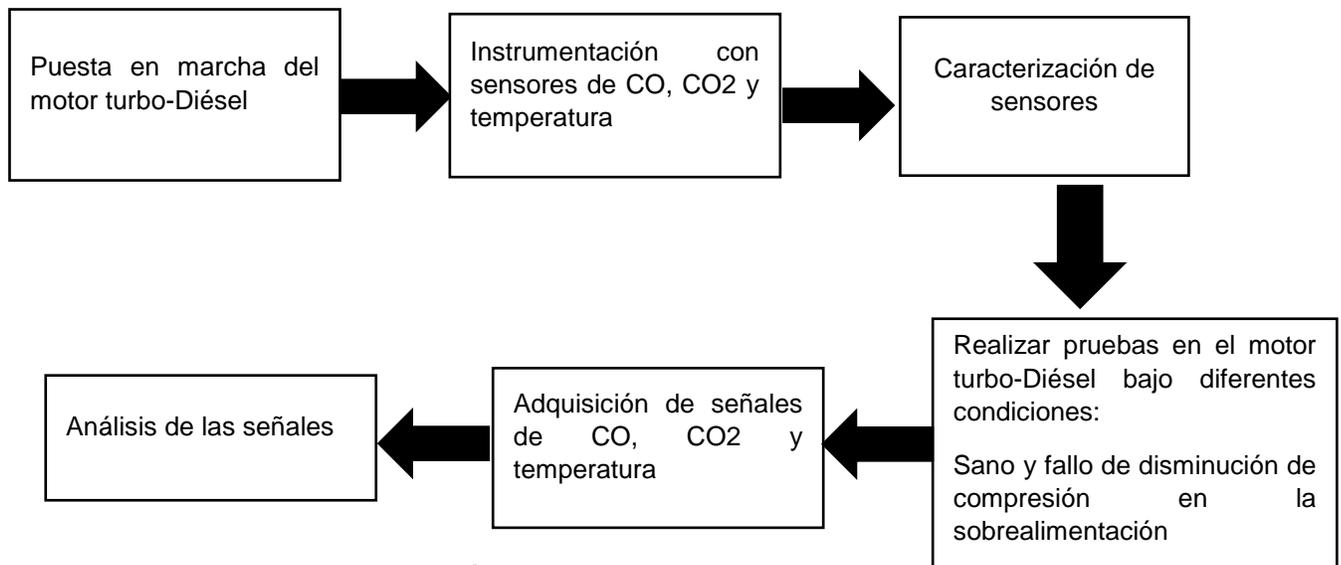


Diagrama general de la metodología.

3.1. Puesta en marcha del motor turbo-Diésel

Para este proyecto se utilizó un motor turbo-Diésel Power Stroke de la marca Ford de 7.3L, este motor cuenta con una potencia máxima de 275 Hp y un par máximo de 505 LB-FT a 525 LB-FT, este motor se encuentra en el Laboratorio Automotriz

de la Facultad de Ingeniería, Campus San Juan del Río de la Universidad Autónoma de Querétaro, montado en una estructura metálica como base donde además cuenta con ruedas para poder moverlo, así mismo cuenta dentro de la estructura con un porta baterías, un contenedor para combustible, un tablero para su encendido, su sistema de enfriamiento y su sistema de escape. Para poder poner en marcha el motor, primero se le hizo una revisión general para cerciorar que este funcionara adecuadamente, al término de esta revisión en donde además se detallaron algunas inconsistencias para así lograr un rendimiento proporcionado para las pruebas requeridas. A continuación, se muestra un diagrama de los componentes principales del motor

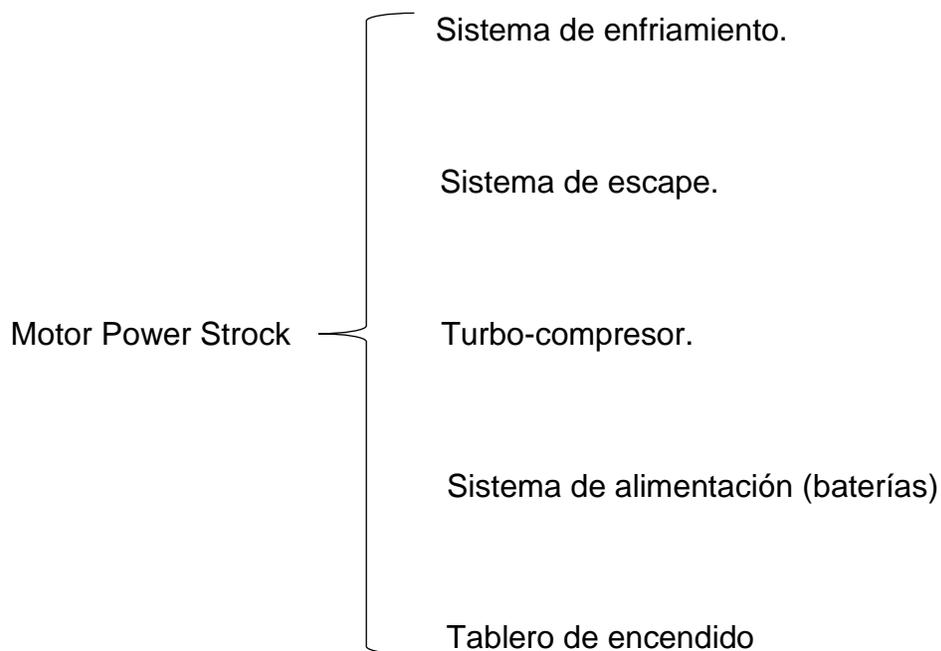


Diagrama de puesta en marcha

3.2. instrumentación con sensores de CO, CO2 y temperatura

Para la instrumentación de los sensores se seleccionó: Un sensor CO MQ-7, un sensor CO2 MG-811 y un sensor de temperatura LM35, la selección de estos se tomó en base a las especificaciones de su capacidad y tomando como referencia la tabla de “Composición y temperatura de los gases de escape de motores Diésel”.

El sensor de CO y CO2 se conectaron en una placa Fenólica perforada para facilitar su alimentación y lograr medir las lecturas adecuadamente, el sensor de temperatura se instaló a la salida de una sonda de verificación utilizada para medir las emisiones, dicha sonda se encontraba en el escape del motor para re direccionar los gases a una caja de acrílico de 20 por 20 donde se encuentran los 3 sensores, esto para así lograr captar las emisiones de manera correcta y en condiciones ideales. Se muestra un diagrama con mayor detalle a los componentes donde se trabajará

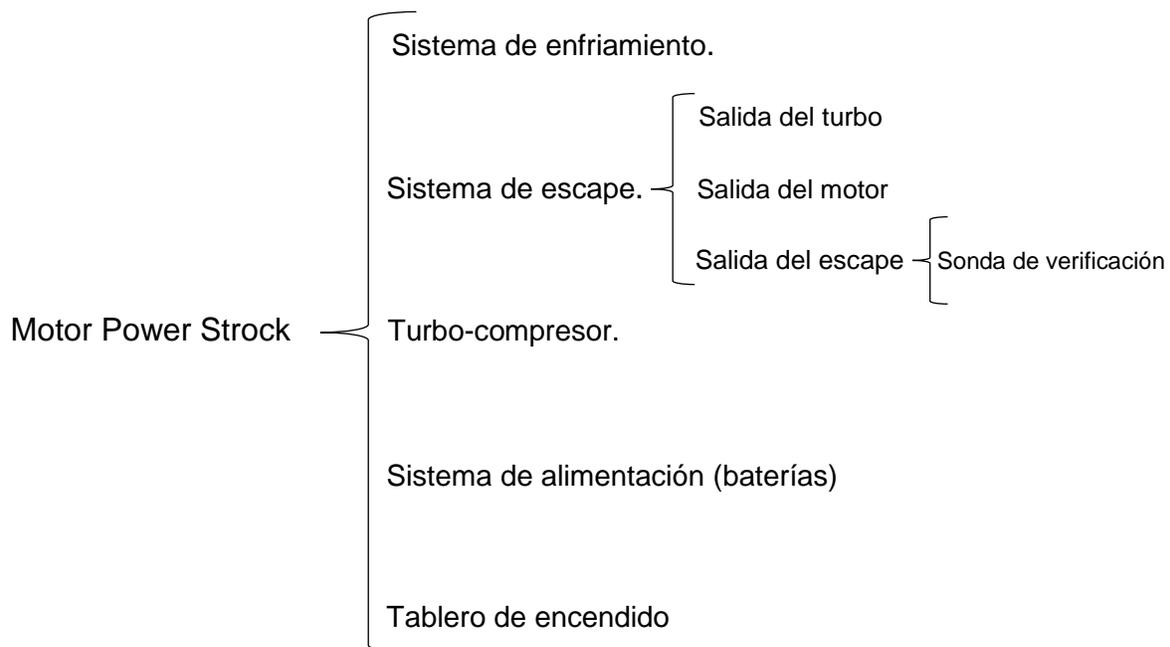


Diagrama de revisión de componentes

3.3. Caracterización de sensores

Para lograr la interpretación de las lecturas de sensores, fue necesario utilizar un medidor de calidad del aire, esto con la finalidad de lograr deducir a que valor de voltaje leído de cada sensor era pertenecientes las partes por millón del CO y CO2 capturadas con el medidor de calidad. Se tomaron las lecturas y posteriormente se hizo una regresión para obtener una ecuación en Excel que nos devuelva las equivalencias de voltaje a CO y CO2. Esta regresión se obtuvo graficando los valores del medidor de calidad del aire en contra con los valores medidos de los sensores como se muestra a continuación.

Para CO: $-138597x^2 + 202372x - 70460$

Para CO2: $2319x - 1447$

En este caso fue necesario introducir el medidor de calidad dentro de la caja junto con los sensores diseñada para percibir los gases contaminantes como se muestra en la siguiente imagen:



Figura 7: Medidor de calidad del aire, FLUEKE 975 AIRMETER (Propia)

3.4 Realizar pruebas en el motor turbo-Diésel bajo diferentes condiciones:

3.4.1 Motor Sano

Para realizar las primeras pruebas con el motor en condiciones optimas que consisten en medir las emisiones con los sensores. Solo fue necesario poner en funcionamiento al mismo, el cual ya habia sido realizado el mantenimiento tales como: Revision de fugas, cambio de aceite, alimentacion de baterias y revision de encendido, despues se conecto la sonda de verificación a la salida del escape para lograr hacer llegar los gases emitidos a los sensores. Antes de realizar las pruebas, este se dejo encendido en relenti durante 10 minutos para llegar a una temperatura de trabajo.

3.4.2 Fallo por disminución de compresión en la sobrealimentación

En la realización de pruebas con el motor con la falta de compresión en la sobrealimentación o bien en el turbo compresor se necesitó la fabricación de una pieza de aluminio con un tornillo la cual detendría el movimiento de la turbina del turbo simulando una de las fallas principales de falta de compresión, que se puede dar por residuos estancados en la misma, la función principal del tornillo de la pieza fabricada es ejercer presión sobre el centro de la turbina para así lograr detenerla por completo.

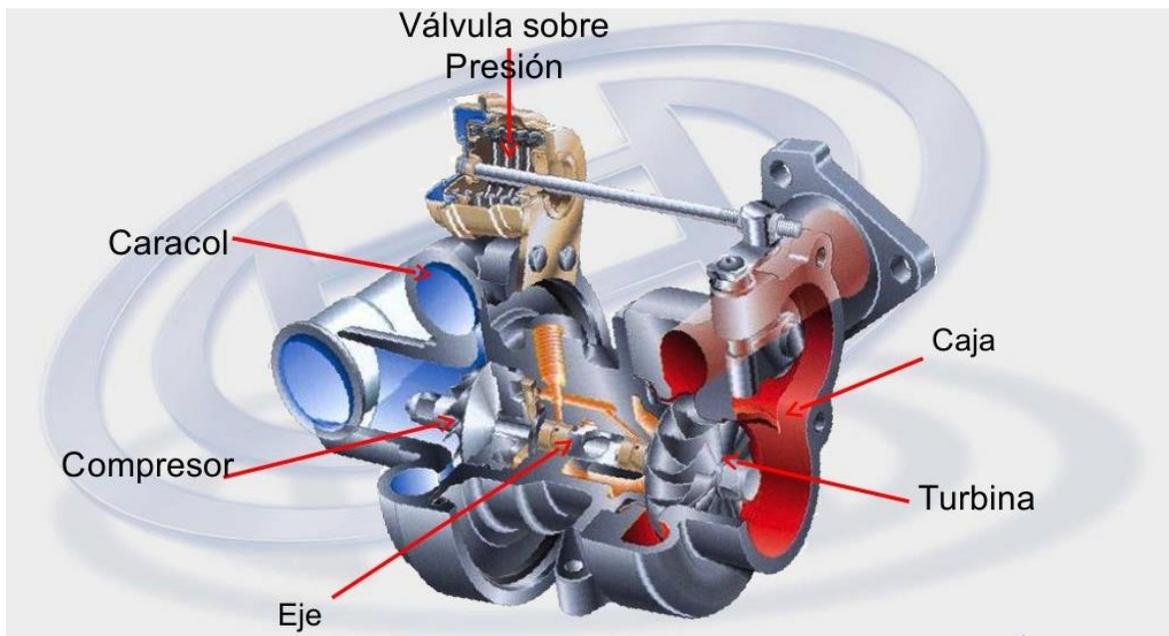


Figura 8: Partes de un turbo-compresor (Megaturbo , 2015)

3.5 Adquisición de señales de CO, CO2 y temperatura

En la adquisición de señales se utilizó una Raspberry Pi junto el software Thony, con el cual, se adquirirían los valores de voltaje arrojados por los 3 sensores, teniendo 16 bits en el convertidor analógico digital (ADC) y teniendo un valor máximo de 3.3 V. La descripción del código se representa en el diagrama de bloques siguiente, donde al correr el código desde la PC en el software Thony se activa la Raspberry para que esta comience a leer los datos de los sensores, está a su vez los muestra en la pantalla del computador y registra los datos obtenidos

en un block de notas, este block de notas es almacenado en una tarjeta micro SD de la Raspberry, donde después es introducida en la computadora para así lograr su análisis e interpretación de los datos.

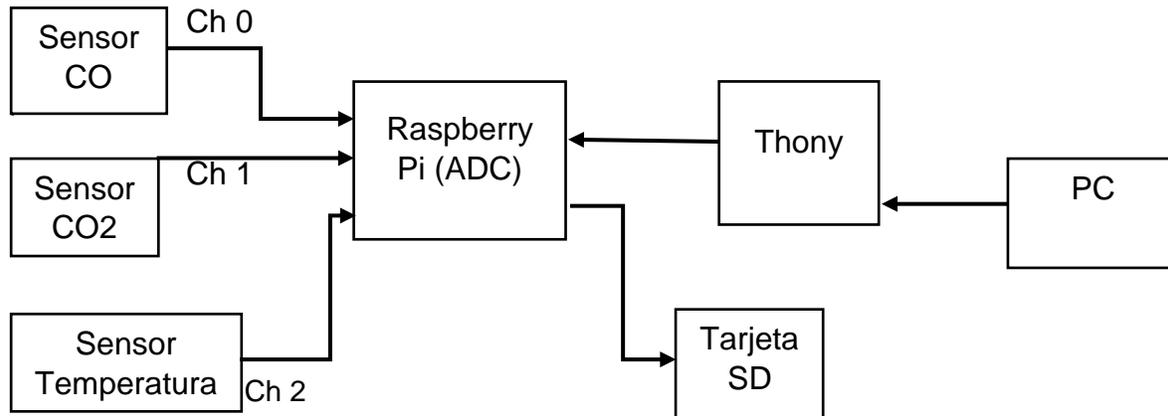


Diagrama de adquisición de señales

Se realizaron 6 pruebas de 20 minutos cada una arrancando el motor desde frío y dejándolo calentar 10 minutos, teniendo el motor en dos estados distintos; las 3 primeras con el motor en óptimas condiciones y los 3 restantes induciéndole la falla en el turbocompresor.

3.6 Análisis de señales

El análisis de señales se llevó a cabo mediante un programa en Matlab, en donde se realizó el descifrado de los datos obtenidos del programa Thony, los cuales se guardaban en un block de notas para así poder abrir las lecturas por medio de Matlab, se tomó la interpretación de Excel para así graficar de manera más eficaz los valores leídos por los sensores en contra de los valores permisibles dados por las normas que se encuentran en la tabla 3.

Capítulo 4

4. Resultados

A continuación, se abordarán los resultados obtenidos de la interpretación de los datos de los sensores, así como las pruebas realizadas en el motor, las cuales fueron utilizadas para adquirir el análisis de las señales configuradas con los datos alcanzados por los sensores de los gases contaminantes producidas por el motor.

4.1 Revisión del motor

En base a la metodología y su aplicación en cuestión de la puesta en marcha del motor se encontraron algunos desperfectos que podrían afectar el funcionamiento del mismo esto se resolvió mediante los conocimientos adquiridos durante la carrea además de la ayuda del personal del taller, algunas cosas fueron el cambio de mangueras y ajuste de abrazaderas, además de la instalación de un banco de pilas para lograr el encendido.



Figura 9: Motor turbo-Diésel Ford de 7.3L (Propia)



Figura 10: Motor en revisión (Propia)
(Propia)



Figura 11: Banco de pilas

4.2 Instrumentación de sensores

En cuanto a la instrumentación de sensores, estos al ser puestos en la placa fenólica, para su comprobación, fueron alimentados por una fuente de voltaje entregando 5 volts a la salida de la fuente y con ayuda de un osciloscopio se fueron tomando las lecturas de los cambios realizados por los sensores. Además que con esto se comprobó su correcto funcionamiento de ambos sensores para así poder utilizarlos correctamente.

Para este caso los sensores quedaron adaptados a recibir las emisiones de manera que pueden ser utilizados en algún otro motor conectando la sonda de verificación al escape de este.



Figura 12: salida de los sensores (Propia)

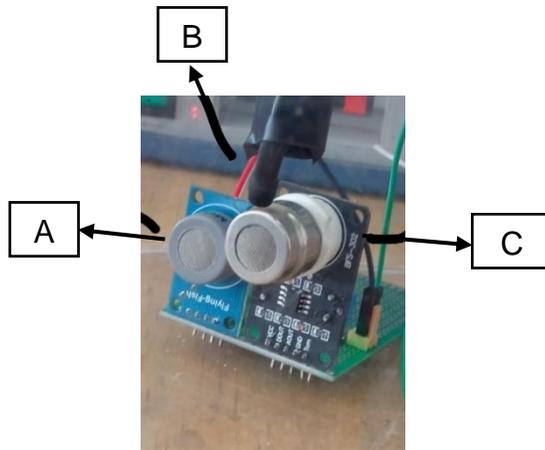


Figura 13: Instrumentacion de sensores A)sensor CO, B)sensor CO2, C)sensor Temperatura (Propia)



Figura 14: Escape con sonda (Propia)

4.4 Caracterización de los sensores

Siguiendo la metodologóa para calibrar los sensores, se logro la detección de varios datos para así poder comparar ambas salidas, entre mas datos obtenidos mayor será la precision de ambas lecturas.

Se fueron registrando los datos tanto de los sensores como las lecturas del medidor, esto para poder comparar los datos y así lograr obtener una ecuación que pudiera asemejar de manera más concreta la interpretación del voltaje.



Figura 15: Valor en partes por millón (PPM) (Propia)
sensores



Figura 16: Valores voltaje de ambos
(Propia)

Despues con los datos registrados de ambas partes, se utilizo la ayuda de excel con la finalidad de utilizar algunas de sus operaciones y obtener una ecuacion que otorgara la facilidad de la interpretacion en PPM.

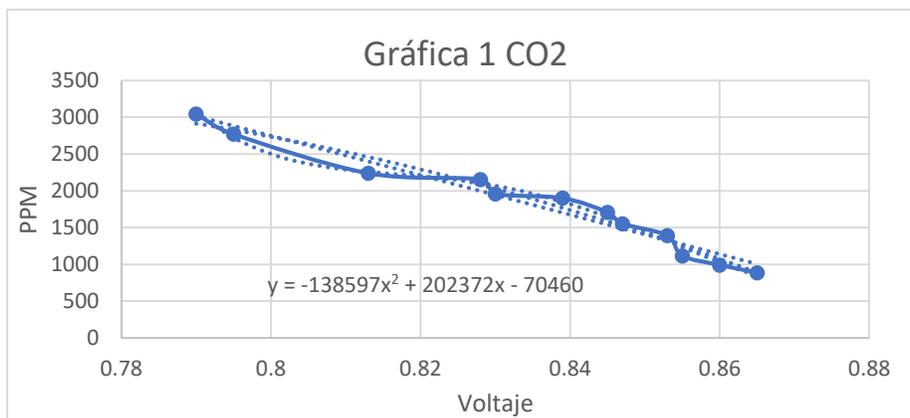


Figura 17: Gráfica CO2 (Propia)

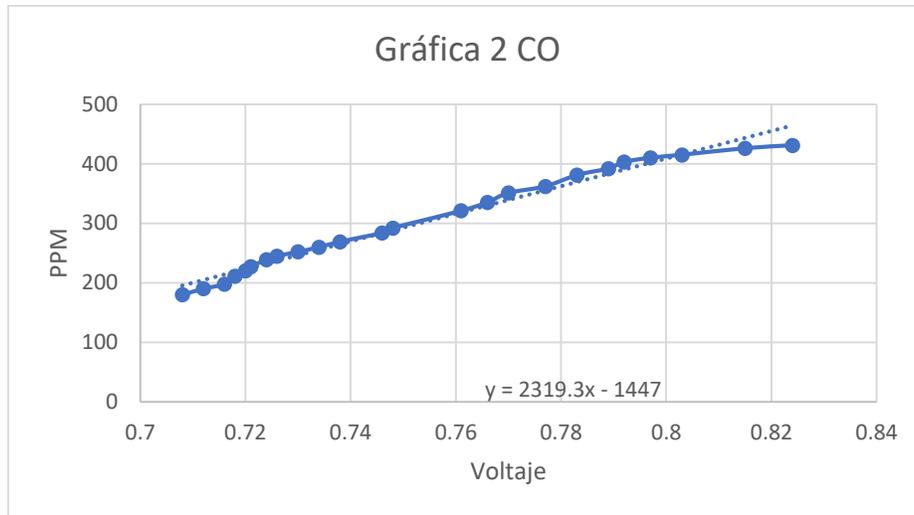


Figura 18: Gráfica CO (Propia)

Se muestran gráficas obtenidas de ambos sensores. Para el sensor de temperatura no fue necesaria dicha calibración ya que tenemos en los datos del sensor que cada 10 mv corresponden a 1° C de temperatura.

4.3 Pruebas del motor

Para la obtención de estas pruebas se necesitó estar en dos condiciones distintas al encendido del motor, así como los sensores en funcionamiento para poder captar los valores, además de con ayuda de la raspberry para poder hacer llegar los datos a una computadora. Para cada condición del motor se realizaron 3 pruebas, siendo así que en total se realizaron 6 pruebas.

4.3.1 Motor sano

Para el motor sano, únicamente se puso en marcha y se obtuvieron los datos, obteniendo 3 pruebas con una duración de 20 minutos cada una y dejando un lapso de 10 minutos de descanso a los sensores entre cada prueba.

4.3.2 Fallo por disminución de compresión en la sobrealimentación

Con la ayuda de la pieza de aluminio se logró detener completamente la turbina del turbo compresor para lograr la simulación de un fallo en el turbocompresor, se repitieron los pasos de las pruebas obteniendo los siguientes resultados:



Figura 19: Turbina detenida (Propia)

Para estas pruebas también se realizaron 3 con una duración de 20 minutos cada una y un descanso de 10 minutos entre cada prueba.

4.5 Adquisición de las señales

4.5.1 señal sin calibración de sensores

Para estos primeros datos no se realizó la implementación en Matlab de la ecuación adquirida en la calibración de los sensores, esto con la finalidad de comparar ambos datos obtenidos. A continuación se muestran las gráficas obtenidas en Matlab:

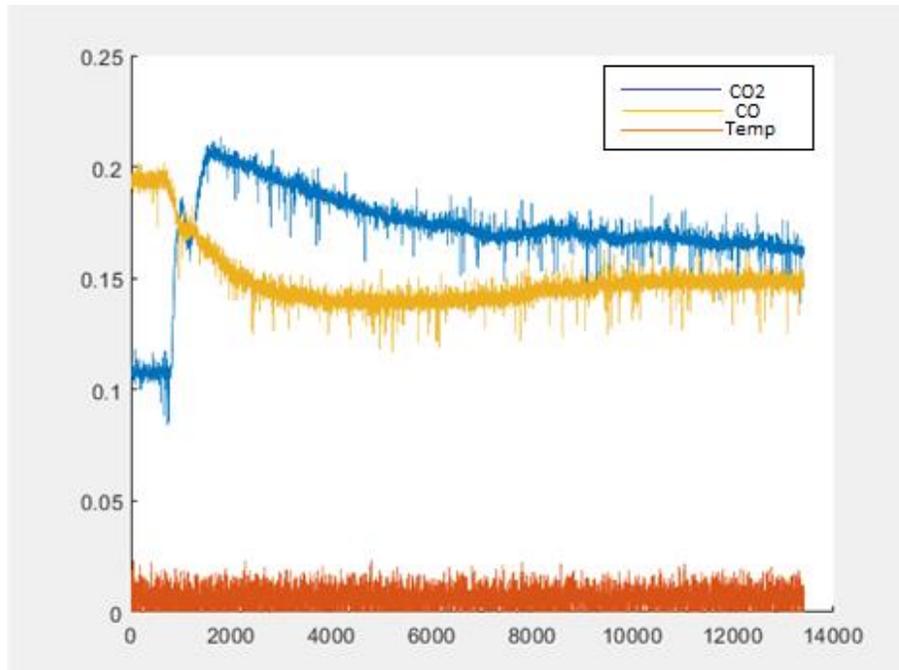


Figura 20: Gráfica de primer prueba (Propia)

En la figura 16 se observa la interpretación de datos obtenidos de la raspberry a matlab, en donde se observa que el los datos en color naranja corresponden a la temperatura, los datos en color amarillo al CO y los datos en color azul al CO2, esta interpretación es sin calibrar los sensores ya que cuentan como primeras pruebas para ver el funcionamiento correcto tanto del programa como de los sensores.

4.5.2 Señal con sensores calibrados

Utilizando los datos finales obtenidos y con ayuda de las herramientas de Excel se logro adquirir de manera adecuada la interpretación en Partes Por Millón de cada valor correspondiente al voltaje alcanzado, también en cuestion de temperatura y tiempo medido de las pruebas teniendo así la siguiente grafica:

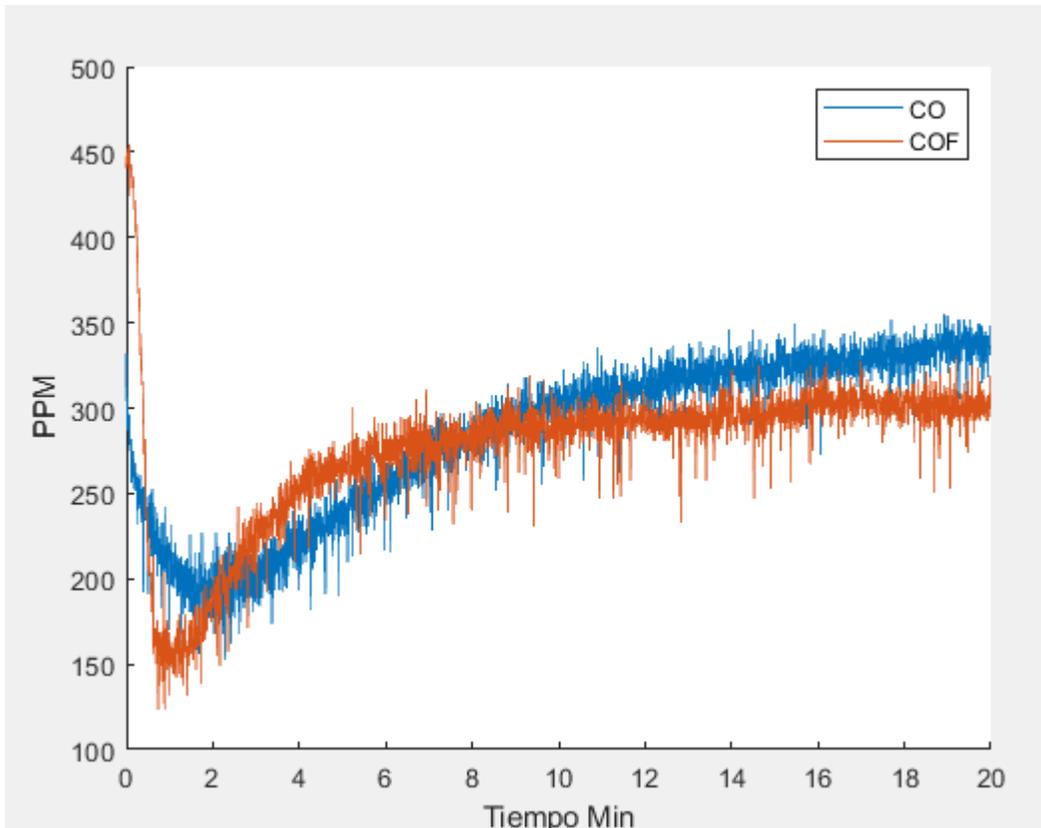


Figura 21: Prueba de CO (Propia)

Como se muestra en la figura 17 se observan los valores de partes por millon en contra del tiempo transcurrido de la prueba, esto ya con ayuda de la ecuacion adquirida de excel.

4.6 Análisis de la señal

Para llegar al análisis de las señales se tomo como base los valores de la tabla 3 de donde se tomo como referencia los siguientes datos:

Tabla 4 (sección de tabla 3)

Monóxido de Carbono (CO)	ppm	100...450
Dióxido de Carbono (CO2)	Vol.%	0.3-0.5

Para el caso de la temperatura no se tomó el rango de la tabla, ya que el sensor fue colocado a la salida de la manguera de verificacion y nodirectamente en el escape del motor en donde si se observa un incremento de temperatura

considerable, pero aun así fue posible captar un cambio considerable en la temperatura de los gases emitidos.

Ambas pruebas, tanto con el motor sano y el motor con la falla inducida, fueron tomadas con el motor en relenti, interpretando así que en el monóxido de carbono (CO) en relenti corresponde un rango de entre 100 y 450 partes por millón.

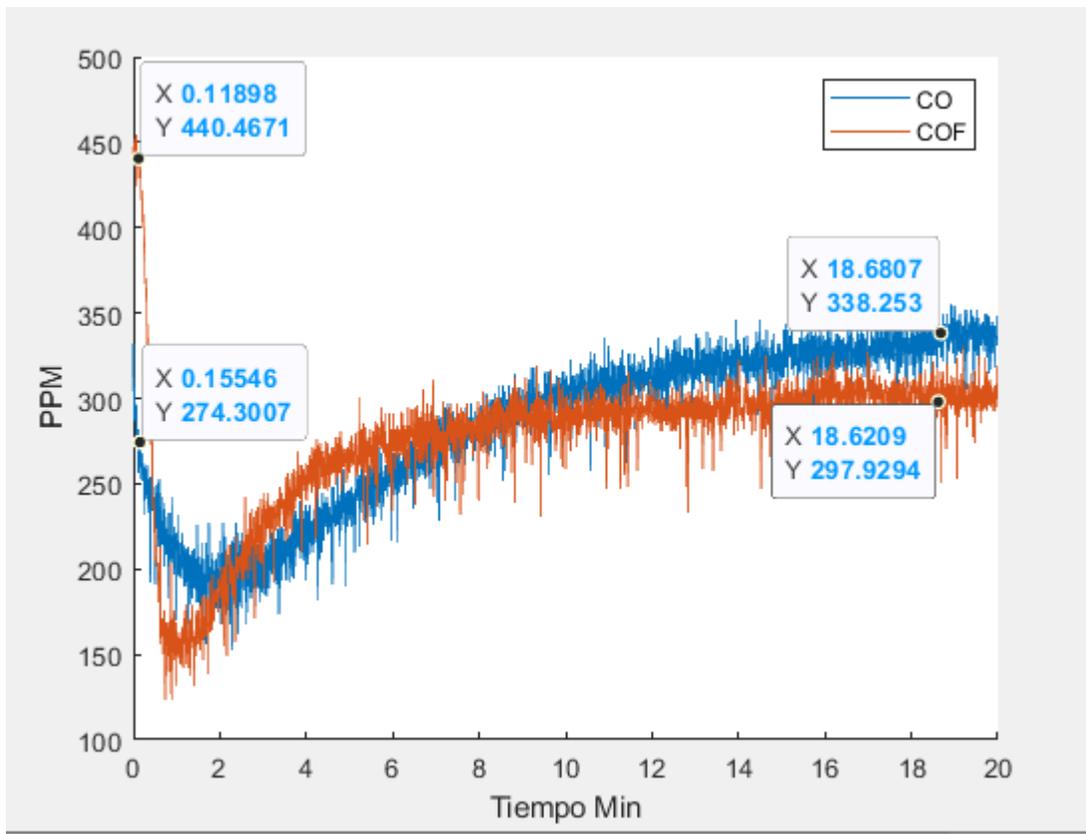


Figura 22: CO (Rango monóxido de carbono: 100 a 450 PPM) (Propia)

Para la gráfica de la figura 18 tenemos la comparación de las pruebas con el motor sano (CO) y el motor con la falla (COF) aunque en esta gráfica no es tan visible el aumento de COF al final del tiempo ya que el CO mantiene un valor de 328 PPM mientras que el COF mantiene un valor de 297 PPM, pero se observa además que en el arranque con el COF este se dispara hasta un valor de 440 PPM casi llegando al límite del rango permitido en relenti.

En el caso de la medición de CO2 también se realizaron ambas pruebas con el motor en relenti y tomando como base los datos de la tabla 13, teniendo que en el rango de 0.3% a 0.5% siendo el porcentaje de volumen de partes por millón.

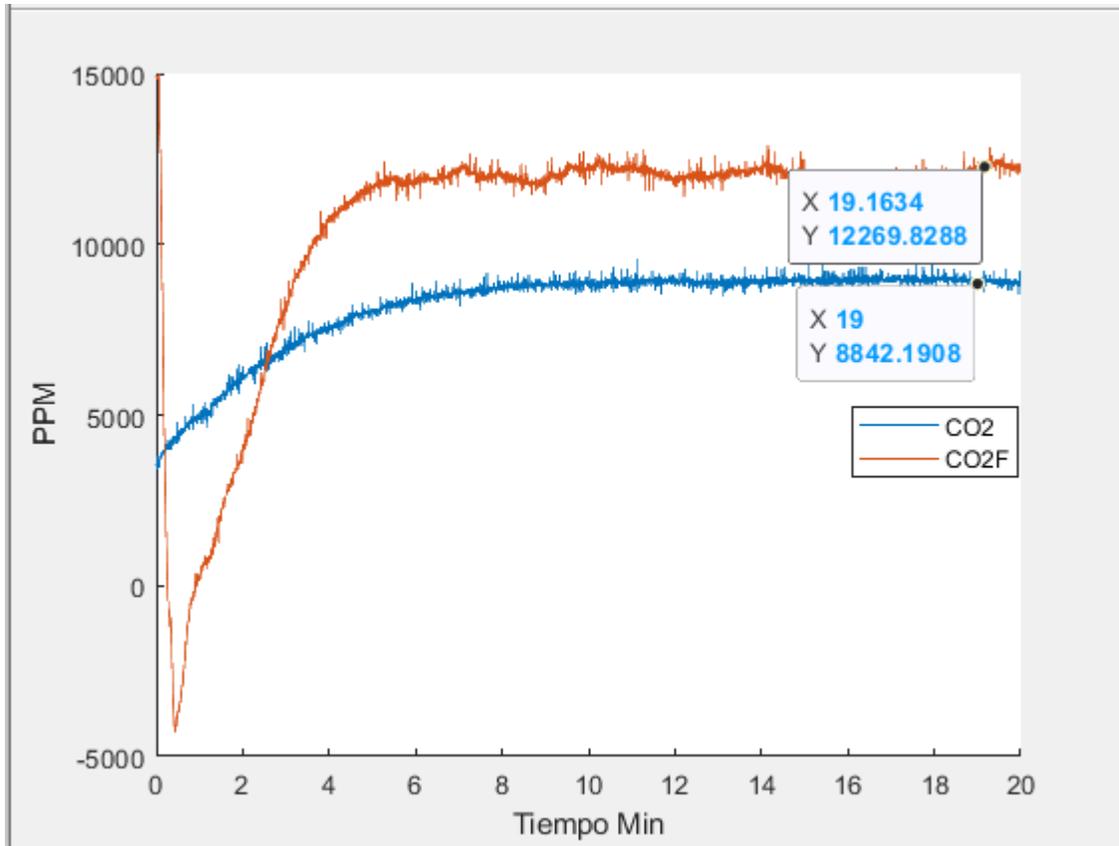


Figura 23: CO2 (Rango dióxido de carbono: 0.3% a 0.5% Volumen de PPM) (Propia)

Nota: Para este caso se aprecian valores negativos, esto corresponde a la caracterización de sensores en donde la ecuación no nos permite interpretar valores menores a 0.625 V.

En base a la figura 19 se observa un cambio más considerable, tomando en cuenta que la prueba con el motor sano corresponde a CO2 y la prueba con el motor con la falla indicada corresponde a CO2F, teniendo los valores correspondientes a que en CO2 tenemos 8842.19 PPM a los 19 minutos y en CO2F 12269.82 PPM a los 19 minutos, esto en cuestiones de porcentaje de volumen se interpreta como

$$8842.19 / 1000000 = 0.008842 \times 100 = 0.8\% \text{ CO}_2$$

$$12269.82 / 1000000 = 0.012269 \times 100 = 1.22\% \text{ CO2F}$$

Superando así ambas pruebas el valor correspondido a los límites de los valores permitidos en relenti. En esta ocasión se ve un cambio considerable con la falla.

Llegando así al análisis de las señales obtenidas de la temperatura en donde se utilizo el mismo procedimiento de tener el motor en relenti. Recordando que esta prueba se realizo a la salida de la manguera de verificacion y asi descartando los valores de referencia de la tabla 3.

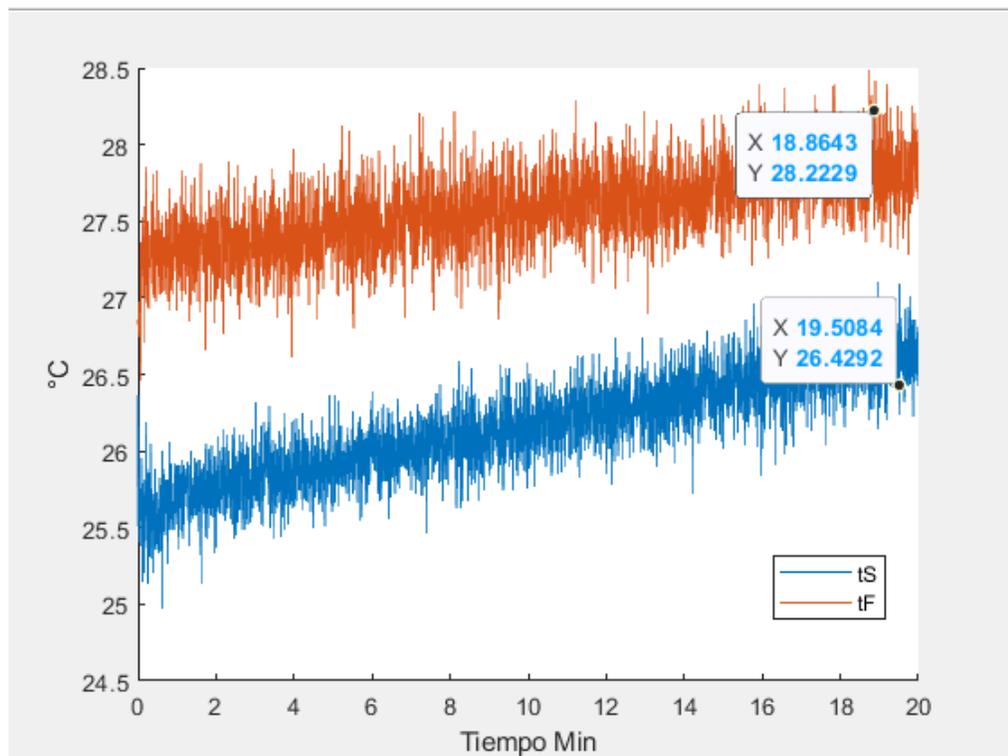


Figura 24: Cambio de temperatura (Propia)

Se puede observar también un cambio considerable en la figura 20, en donde tS corresponde a los valores de temperatura obtenidos con el motor sano y tF con el motor con la falla inducida, siendo así que tS tiene un valor de 26.4 °C en los 19 Minutos y tF un valor de 28.2 °C en los 18 minutos transcurridos de la prueba.

Capítulo 5

5. Conclusiones

Se logró adquirir los resultados deseados desde la instrumentación de los sensores en donde se pudo acondicionar un lugar de recepción cómoda para adquirir todos los datos provenientes de las pruebas.

Además de la instrumentación de los sensores con ayuda del medidor de calidad en donde también se logró el manejo adecuado en la recepción de datos junto con los sensores, se logró calibrar los sensores de manera correcta, esto para tener una interpretación correspondiente a las partes por millón que se utilizan en los rangos permitidos de las emisiones contaminantes para motores diesel. Al igual que gracias a estos datos se puede obtener una ecuación para facilitar las equivalencias de voltaje a PPM.

Con los resultados adquiridos se puede deducir que se nota un cambio considerable en las partes por millón leídas, comparando cuando el motor está sano y cuando al motor se le induce la falla, la diferencia más notable es en el CO₂ donde hay una diferencia del 0.4% de volumen teniendo que es un cambio bastante considerable, al igual que en el CO en el arranque cuando el motor presenta la falla, este se dispara a casi el límite de las partes por millón permitidas.

Gracias a esto se puede decir que la falla en la compresión del turbocompresor afecta considerablemente a los gases contaminantes, teniendo que puede llegar a ser crítico en cuestiones de trabajo pesado, ya que estas pruebas fueron realizadas con el motor sin revolucionar ni aplicar algún esfuerzo extra. Además de que si se incluyera más sensores para las pruebas para los gases contaminantes como lo son los hidrocarburos no quemados (HC), el Oxígeno (O) y los óxidos de nitrógeno (Nox) y también si a las pruebas se agregara que el motor fuera revolucionado o exponiéndolo a un esfuerzo mayor, podríamos ver con mayor veracidad los efectos producidos de esta falla en las emisiones del motor. También no hay que dejar de lado que se pueden realizar más pruebas con

distintas fallas para observar los efectos producidos en las emisiones, algunas de ellas podrian ser fugas por rotura de las mangueras del sistema de alimentación de aire, filtro aire obstruido, conducto del escape incorrecto o deteriorado etc. Así mismo tambien se podrian utilizar los resultados para un analisis a la inversa donde al verse afectados las emisiones producidas por el motor, si se encuentran dentro del rango medido por la falla, podriamos identificar de manera mas eficiente la averia en algun turbocompresor.

Bibliografía

20 palabras. (s.f.). Obtenido de <https://20palabras.com/que-son-los-motores-de-combustion-interna/>

- Arenas, L. M. (abril de 2016). *pdf*.
- Augeri, F. (10 de Enero de 2011). *cise electronica*. Obtenido de <http://www.cise.com/portal/notas-tecnicas/item/302-an%C3%A1lisis-de-los-gases-de-escape-de-los-motores-de-combusti%C3%B3n-interna.html>
- Barahona, J. G. (2013). *seleccion e implementacion de un sistema de sobrealimentacion para un vehiculo Hyundai H100 motor diesel 2.6*.
- bosch. (s.f.). *manualslib*. Obtenido de <https://www.manualslib.es/manual/118508/Bosch-Bea-150.html?page=6#manual>
- Bosch, R. (2000). *Automotive Handbook*.
- Calle, F. J. (2014). *Evaluación Teórico - Práctica Del Rendimiento Mecánico y Análisis Ambiental Del Motor Diesel Nissan FD6-T*. la paz.
- Clavero, D. (6 de Febrero de 2020). *Diario motor*. Obtenido de <https://www.diariomotor.com/como/averias/diesel-turbo/>
- FD6-T, P. d. (2014).
- Garcia, F. V. (15 de marzo de 2004). *Efecto de la recirculacion del gas de escape en el proceso de la renovacion de la carga en motores turbo-sobrealimentados*.
- Geek factory. (s.f.). Obtenido de <https://www.geekfactory.mx/tienda/sensores/mq-7-sensor-de-monoxido-de-carbono/#:~:text=El%20sensor%20MQ-7%20es%20un%20sensor%20para%20la,entre%20%20a%202000%20partes%20por%20mill%C3%B3n%20%28ppm%29>
- Hetpro. (s.f.). Obtenido de <https://hetpro-store.com/TUTORIALES/lm35/>
- Historia de la informatica*. (18 de diciembre de 2013). Obtenido de <https://histinf.blogs.upv.es/2013/12/18/raspberry-pi/>
- ingenieria, U. f. (2011). *Sobrealimentación en motores*.
- Lillo, J. C. (22 de abril de 1997). *Acuerdo de Reforma de Nomenclatura de las Normas Expedidas*. Obtenido de <http://siga.jalisco.gob.mx/Assets/documentos/normatividad/nom045semarnat1996.htm>
- Megaturbo*. (27 de 09 de 2015). Obtenido de <http://megaturbos.com/informacion.htm>
- Mercedes Yolanda Rafael Morales, A. H. (2014). *CARACTERIZACIÓN DE UN MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA CON DOS*.
- Micro jpm*. (s.f.). Obtenido de <https://www.microjpm.com/products/mg811-co2-sensor-dioxido-carbono/>
- Morales, F. J. (2014). *Evaluación Teórico - Práctica Del Rendimiento Mecánico y Análisis Ambiental Del Motor Diesel Nissan FD6-T*.

Output. (s.f.). Obtenido de <https://eloutput.com/productos/gadgets/raspberry-pi-pico-precio-caracteristicas/>

Propia, A. (s.f.).

Ramirez, F. (s.f.). *Mquinas termicas*. Obtenido de Madrid, Educa:
https://www.educa2.madrid.org/web/framirez/maquinas-termicas/-/book/maquinas-termicas?_book_viewer_WAR cms_tools_chapterIndex=1f0ee945-8011-497d-95de-49fa6933bf68

Santivañez, A. L. (abril de 2016). *EVALUACIÓN EXPERIMENTAL DEL CONSUMO DE COMBUSTIBLE Y LAS EMISIONES GASEOSAS DE UN MOTOR*.

Smith, G. M. (9 de marzo de 2020). *Dewesof*. Obtenido de <https://dewesoft.com/es/daq/que-es-un-sensor>

Sole, R. (18 de Julio de 2021). *Profesional review*. Obtenido de <https://www.profesionalreview.com/2021/07/18/que-es-raspberry-pi/>