



E.T.S. de Ingeniería de
Caminos, Canales y Puertos
y de Ingeniería de Minas



Universidad
Politécnica
de Cartagena

UNIVERSIDAD POLITÉCNICA DE CARTAGENA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería de
Caminos, Canales y puertos y de Ingeniería de
Minas

Estudio de la sustitución del Gasóleo por Gases combustibles en un micro-generador eléctrico con motor dual diésel-gas

TRABAJO FIN DE GRADO

GRADO EN INGENIERÍA DE RECURSOS MINERALES Y
ENERGÍA

Autor: Manuela Marín Morote
Director: José Hernández Grau
Codirector: José Miguel Paredes Parra

Cartagena, 9 de Octubre de 2018

ÍNDICE

1	INTRODUCCIÓN.....	5
2.	ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA TÉCNICA.....	6
3.	OBJETIVO.....	9
3.1	Fases del trabajo	10
4.	INFRAESTRUCTURA DE ENSAYO.....	11
4.1	Servicio de banco de ensayos.....	11
4.2	Grupo electrógeno de ensayo.....	12
4.3	Medida de parámetros del motor.....	13
4.4	Medida de las condiciones ambientales.....	15
4.5	Medida de presiones aire de admisión, gases de escape y gas antes de medidor.....	16
4.6	Medida de temperaturas.....	17
4.7	Sistema de medida de energía eléctrica.....	22
4.8	Sistema de suministro, control y medida de consumo diésel.....	23
4.9	Sistema de suministro, control y medida de consumo de gas combustible.....	25
4.9.1	Central de suministro de gas.....	26
4.10	Venturi- mezclador.....	27
4.11	Analizador de gases.....	29
4.12	Medida de opacidad de los gases de escape.....	30
4.13	Sistema de toma de muestras.....	31
4.14	Sistemas de procesado de señales de parámetros motor- alternador, consumo de combustibles y analizadores de gases.....	32
4.15	Tabla resumen de instrumentación.....	35
5.	PROGRAMA DE ENSAYOS, ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS.....	36
5.1	Procedimiento de ensayo.....	36
5.2	Adquisición de datos.....	40
5.2.1	Software plc-sismatic y registro datos compactrio – labview.....	40
5.3	Uso de la aplicación en el programa de ensayos.....	47
5.4	Tratamiento de datos.....	49

6.	RESULTADOS DE ENSAYOS.....	51
6.1	Ensayos de funcionamiento en modo diésel.....	51
6.2	Ensayos de funcionamiento en modo dual.....	56
7.	ESTUDIO COMPARATIVO RESULTADOS DE PRESTACIONES Y EMISIONES DIÉSEL GASOLEO Vs DUAL DIESEL GASOLEO MÁS METANO.....	64
8.	CONCLUSIÓN.....	66
9.	REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS.....	66
10.	ANEXOS.....	67
10.1	Grupo electrógeno de ensayo.....	67
10.2	Hoja de cálculo mostrando los resultados obtenidos a partir de los datos obtenidos de los ensayos.....	75

AGRADECIMIENTOS

Este tradicional capítulo de los Trabajos Fin de Grado, implica a todas las personas que han formado parte de este documento desde su génesis hasta su desenlace final, a través del cual pongo fin a mi primera etapa universitaria.

Me gustaría hacer una mención especial al codirector de este trabajo José Miguel Paredes Parra, al que agradezco doblemente su esfuerzo al guiarme en este trabajo, en primer lugar, por el profundo interés y dedicación, que sin duda ha servido de base fundamental a la hora de abordar el tema. Además, también quiero darle las gracias a él y a todo el equipo de CETENMA, de haberme dado la oportunidad de realizar prácticas donde he aprendido mucho en el área de motores.

También quiero agradecer la dedicación de D. José Hernández Grau mi director de trabajo, quien me ha cedido su tiempo y conocimiento para que la realización de este trabajo fin de grado sea posible.

Si a alguien le tengo que dar gracias de poder haber llegado hasta aquí es a mi madre, quien ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de mi carrera y la finalización de ésta. Por estar conmigo en todo momento, su comprensión, por su apoyo incondicional y constante en la lucha, sus ánimos en momentos difíciles y porque siempre ha confiado en mí para seguir adelante con mis objetivos, es de justicia que sin ella nada habría sido posible.

Mi querida abuela Pepa, que, aunque no ha podido llegar a terminar esta etapa conmigo, le doy las gracias por haberme ayudado a crecer, por todos sus consejos, por el amor que me ha dado y por estar preocupada siempre por mí.

Por otro lado, y no menos importante a mis amigos su interés y aportación directa o indirectamente para el éxito del proyecto.

Por último, quiero dedicarle este trabajo a mi padre, le siento conmigo, sé que me da ánimos desde el cielo y fuerza en la vida, por eso quiero compartir con él la alegría de ponerle fin a esta etapa universitaria, que sé que estará orgulloso de mí. Nunca te olvidaré.

GRACIAS A TODOS.

1. INTRODUCCIÓN

Los motores diésel son los motores primarios más eficientes por tanto desde el punto de vista de la protección del medio ambiente a nivel mundial y las preocupaciones por la seguridad energética a lo largo plazo, se hace necesario desarrollar combustibles obtenidos a partir del petróleo. La demanda en la UE de combustibles diésel es bastante mayor a la de la gasolina; por lo tanto, la búsqueda de una alternativa al diésel obtenido del petróleo es la opción más oportuna.

Para conseguir ser respetuosos con el medio ambiente y satisfacer las necesidades de la seguridad energética, los combustibles alternativos deben estar fácilmente disponibles y tener un bajo costo. Es importante que el uso de combustibles alternativos no afecte de manera significativa al rendimiento operativo del motor y a la formación de emisiones contaminantes. Combustibles como el bioetanol y biodiesel, son algunos de los combustibles alternativos para motores de combustión interna.

Otra de las alternativas que se están estudiando para minimizar el impacto ambiental de este tipo de motores es el empleo de la configuración dual. Un motor dual diésel-gas es un motor de encendido por compresión que consume simultáneamente un combustible líquido que realiza el autoencendido y un combustible gaseoso que es introducido junto al aire de combustión. En este tipo de motores es necesaria siempre una inyección piloto de gasóleo pudiendo llegar el grado de sustitución por gas combustible a máxima carga entre un 60 % y un 80 % de la energía total aportada por ambos combustibles.

El objetivo de este proyecto es realizar un estudio sobre el efecto de la sustitución parcial de un combustible diésel por gases combustibles en un motor dual diésel-gas de un grupo electrógeno de muy baja potencia, en referencia a: la estabilidad de la combustión, la emisión de contaminantes por el escape, la eficiencia energética y la reducción en la emisión de CO₂.

El trabajo se ha realizado utilizando la infraestructura de ensayo disponible por el CETENMA y el Laboratorio de Medida en Motores de Combustión de la UPCT, ésta es, un banco de ensayos de grupos electrógenos con motor adaptado para funcionar con motor dual diésel-gas.

2. ANTECEDENTES Y ESTADO DE LA TÉCNICA [1]

En la Región se ubican empresas líderes en la producción de grupos electrógenos, como Himoinsa S.L, Pramac Iberica, Inmesol etc con una gama de productos que abarca desde las 3 a 2500 kVA.

Actualmente la gran mayoría de los grupos electrógenos disponibles en el mercado para las aplicaciones de emergencia, de reserva y de funcionamiento en isla se basan en motores diésel (encendido por compresión) que funcionan con gasóleo. El encarecimiento e influencia en el efecto invernadero de los combustibles derivados del petróleo plantean la necesidad recurrir a combustibles alternativos y de baja eco-toxicidad.

Entre los combustibles alternativos que se están utilizando en motores de encendido por compresión podemos encontrar:

- Biodiesel: Derivados de aceites vegetales, grasas animales, aceites biodiesel (derivados de aceites vegetales, grasas animales, aceites reciclados o aceite producido por algas).
- Combustibles sintéticos: F-T combustibles y DME procedentes de la gasificación de biomasa.
- Etanol y butanol: Si se resolvieran los problemas que supone el autoencendido).
- Gases Combustibles: Gas Natural, Biogás y gases obtenidos de procesos de gasificación y pirólisis.

En cuanto al uso de gases combustibles, su uso en motores diésel sin modificar solo es posible sí se inyecta gas en el aire de admisión y se mantiene una mínima inyección de gasóleo para iniciar la ignición de la mezcla de aire y gas combustible, este tipo de configuración de motor se conoce como operación en modo dual.

Un motor dual es un motor diésel que consume simultáneamente combustible gas como combustible primario que es introducido junto al aire de combustión y gasóleo que realiza el autoencendido.

El término motor dual se refiere a motores de ignición por compresión alimentados por una mezcla de homogénea de aire y de un combustible gaseoso. La fuente de ignición es la inyección de una pequeña cantidad de combustible diésel siendo la combustión total similar a la de un motor diésel convencional.

En este tipo de motores es necesaria siempre una inyección piloto de gasóleo. La inyección de diésel se le conoce como “inyección piloto”, ya que su fin es producir la ignición de la mezcla en la cámara de combustión del cilindro.

Si bien uno de los objetivos de esta técnica es la reducción de las problemáticas emisiones de humos y de óxidos de nitrógeno (NO_x) de los motores diésel, la principal motivación es económica ya que se consigue un ahorro importante en combustible ya que en la actualidad el precio de la energía primaria en Gas Natural es menor que el del gasóleo pudiendo llegar el grado de sustitución por gas combustible a máxima carga entre un 60% y un 80% de la energía total aportada por ambos combustibles.

El grado de sustitución de combustible gaseoso (Gas Natural) se define como:

$$Sustitución_{GN} = \frac{H_{Gas}}{H_{Gas} + H_{Gas-oil}}$$

Siendo, H_{GN} la energía aportada por el combustible gaseoso y $H_{Gas-oil}$ la energía aportada por el combustible diésel, de forma que $0 \leq Sustitución_{GN} \leq 0,85$.

Como desventaja aparece el aumento de emisiones de monóxido de carbono (CO) y de hidrocarburos inquemados (HC) y un posible derating (se puede establecer un derating del 0-10% de la potencia nominal del motor).

En el gráfico se representa el posible derating y nivel de sustitución energética a definir en cada porcentaje de carga del motor frente al que se podría llegar a conseguir en un funcionamiento con mínimo consumo de combustible diésel. Este gráfico se ha hecho en base a la información disponible en la bibliografía sobre estudios de combustión y prestaciones en motores duales.

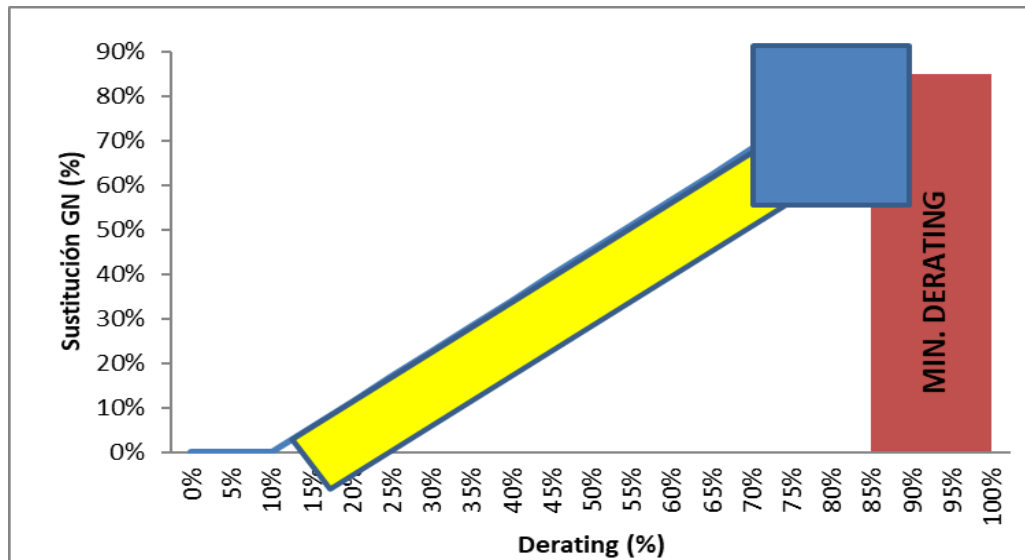


Ilustración 1. Porcentaje de sustitución energética típica en motores duales diésel-gas con gas natural.

El motor dual diésel-gas será objeto de este trabajo. Un motor dual diésel-gas es un motor de encendido por compresión que consume simultáneamente un combustible líquido que realiza el autoencendido y como combustible gaseoso, metano que es introducido junto al aire de combustión. En este tipo de motores es necesaria siempre una inyección piloto de gasóleo pudiendo llegar el grado de sustitución por gas combustible a máxima carga entre un 60 % y un 80 % de la energía total aportada por ambos combustibles.

La conversión de motores convencionales diésel en duales es relativamente sencilla. Como principal transformación destaca la incorporación de un dispositivo mezclador de gas-aire basado en un Venturi.

El dispositivo mezclador se ubica en el colector de admisión justo después del filtro de aire y antes de compresor de turbo-alimentación a aproximadamente una distancia de mínimo 6 diámetros de este último. La conversión a dual también suele incluir un cambio de inyector, se sustituye por otro más adecuado para caudales de inyección menores. De forma resumida los cambios implican:

- *Derating* del 90%
- Incorporación de la línea del combustible gaseoso en la admisión
- Cambio de inyector de gas-óil si fuese necesario

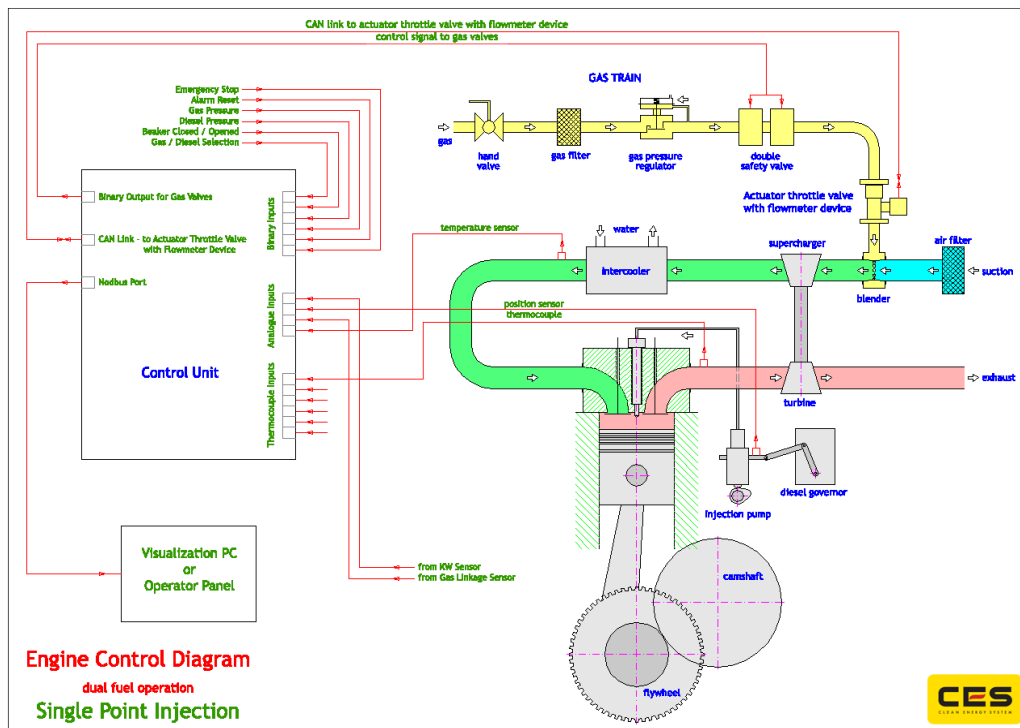


Ilustración 2. Esquema instalación de un motor dual diésel-gas comercial.

En cuanto al tipo de combustibles gaseosos admitido por estos motores, el metano que permite mayores niveles de sustitución. Por otro lado, los menores niveles de emisiones de NO_x y humos se alcanzan con el propano, mientras que el butano es que peor resultados ofrece en cuanto a emisiones de NO_x y humos de estos tres combustibles gaseosos primarios.

3. OBJETIVO

El objetivo del trabajo es realizar un estudio sobre el efecto de la sustitución parcial de un combustible diésel por un gas combustible en un motor dual diésel-gas de un grupo electrógeno de baja potencia.

Se va a realizar un programa de ensayos a máxima carga en un grupo electrógeno de 13 kVA en base a un motor YANMAR 3TNV88 de encendido por compresión (MEC) funcionando en modo “diésel-dual”, consumiendo combustible diésel junto a diferentes mezclas de gases combustibles características del Gas Natural, aunque los ensayos se han realizado por el componente mayoritario que es el metano.

Las mediciones se realizarían con motor operando en condiciones de velocidad de sincronismo y máxima carga. El motor está completamente instrumentado. En las pruebas de banco de ensayos se van a medir: el consumo de los combustibles, las emisiones de gases contaminantes, monóxido de carbono (CO) y óxidos de nitrógeno (NOx), así como partículas (PM) a partir de la opacidad de los humos. En estos ensayos el motor funcionará inicialmente solo con Gasóleo A (Gasóleo de automoción con especificación EN 590 que cumple R.D. 1088/2010 sin aditivos), y posteriormente con dicho Gasóleo A (GA) e inyectando mezcla de gases combustibles características del Gas Natural (GN) en el aire de admisión del motor. El tipo de GN que vamos a utilizar el gas de referencia G20 con un 99'99% CH₄.

Esta investigación será muy útil para especificar el ajuste del avance de la inyección y las estrategias de control de emisiones en el modo de funcionamiento "diésel-dual". Además, esta información servirá para comparar los costes de operación con gasóleo y en modo "diésel-dual", así como, definir especificaciones de diseño que permitan prevenir problemas de deterioro del motor.

3.1 FASES DEL TRABAJO

- 1) Realizar ensayos a plena carga para comprobar el estado del motor y las prestaciones de este comparadas con los datos del fabricante del motor.
- 2) Desarrollar un programa de ensayos a máxima carga, haciendo diferente proporciones de sustitución de combustible diésel por gases combustibles de diferentes especificaciones.
- 3) Estudiar a partir de los resultados experimentales la sensibilidad a la eficiencia energética del motor motivada por la sustitución energética por Metano del combustible diésel.
- 4) Definir que niveles de emisión de gases contaminantes NOx, CO y CO₂ y partículas PM que se obtienen en los gases de escape con la sustitución del combustible diésel por gas combustible, en el caso de este proyecto el gas combustible es el metano.
- 5) Redactar el Trabajo Fin de Grado a partir de toda la documentación elaborada en las fases anteriores

4. INFRAESTRUCTURA DE ENSAYO

El trabajo se ha realizado utilizando la infraestructura de ensayo disponible por el CETENMA y el Laboratorio de Medida en Motores de Combustión de la UPCT, ésta es, un banco de grupos electrógenos con motor adaptado para funcionar con motor dual diésel-gas.

A continuación, se describen los diferentes elementos que componen esta infraestructura:

4.1 SERVICIO DE BANCO DE ENSAYOS

Para la realización de los ensayos para la validación de los mismos en condiciones adecuadas de seguridad, se ha construido una celda de ensayos donde se han realizado los ensayos se encuentra en las instalaciones del CETENMA. Esta celda permite el análisis de las condiciones de funcionamiento, y operación de grupos electrógenos industriales hasta de 75 kVA y, que consta de:

- Grupo de carga de resistencias eléctricas que absorbe la potencia que el alternador desarrolla en cada momento.
- Sistema de alimentación de combustible del motor con instrumentos de medida de consumo.
- Sistema de evacuación de los gases de escape.
- Sistema de ventilación de la sala de ensayos, para evitar el sobrecalentamiento por el calor desprendido por el motor y el resto de equipos.

La celda de ensayos posee unas dimensiones de 5x5 m y están dotadas de un sistema de renovación de aire de la sala por medio de un ventilador de extracción de 0,55 kW y un caudal de 10500 m³/h adecuado para atmosferas explosivas y una compuerta de entrada de aire con regulación manual.

En exterior de la sala está instalado un electro-aspirador para los gases de escape con un caudal máximo de 4100 m³/h que se ha conducido hacia el interior de la sala mediante tubo de chapa y se conecta a la escape del grupo con una manguera de vidrio aluminio que soporta 400°C y un boquerel de conexión en acero inoxidable.

Anexa a la celda de ensayos está instalada la zona de control y medida, comunicada visualmente con la celda mediante un vidrio de seguridad.

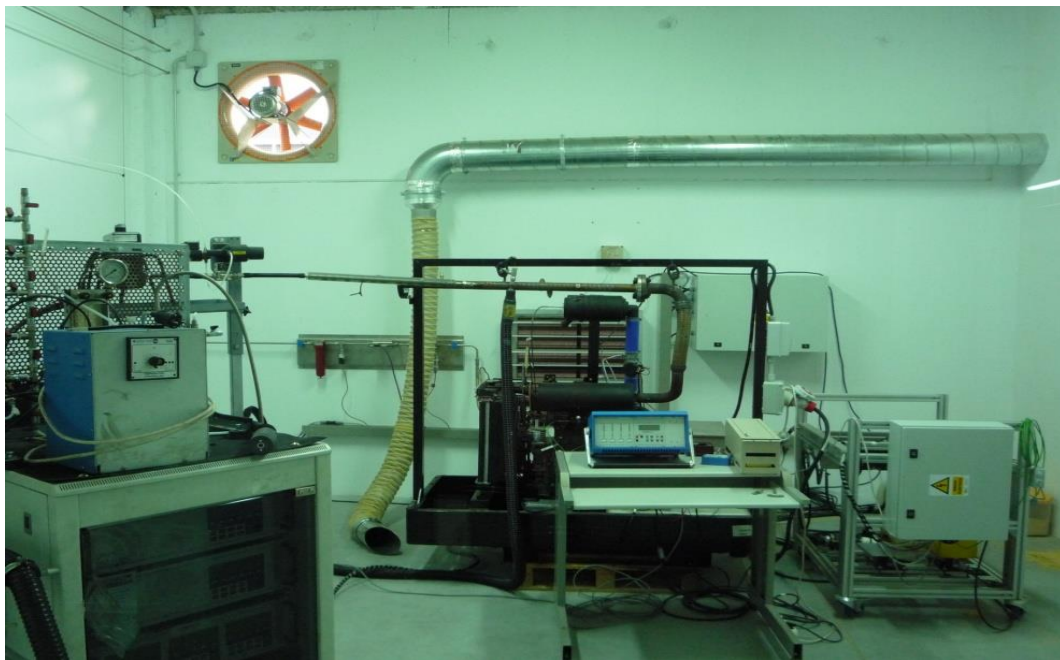


Ilustración 3. Celda de Ensayos desde sala de control.

4.2 GRUPO ELECTRÓGENO DE ENSAYO

El grupo de ensayo es un grupo electrógeno HYW-13 M5 de 13 kW de potencia con un motor YANMAR 3TNV88 y un alternador BCI 184 E de potencia 13 kW.

Modelo de motor	3TNV88
Versión	CL
Peso de motor (en seco) con carcasa del	161 kg
Orden de encendido	1-3-2-1 (Cilindro nº1 en el lado del volante).
Sentido de giro	Antihorario, visto desde el volante
Sistema de refrigeración	Refrigerado por agua con radiador
Sistema de lubricación	Lubricación forzada con bomba de aceite
Presión normal del aceite a baja	2,9 – 3,9 bar
Sistema de arranque	Arranque eléctrico
	Alternador. Puede variar dependiendo de la aplicación.
	Capacidad recomendada de la batería: 12V. 60 Amp-hora (5h nominal).
Dimensiones (L x W x H)	589 x 486 x 622 mm
Capacidad del cárter de	6,7 / 3,9 L (límite superior / límite inferior de la varilla).
Capacidad del refrigerante	2.0 L solo motor (caudal bomba: 25 l/min)

Tabla1. Especificaciones del motor

4.3 MEDIDAS DE PARÁMETROS DEL MOTOR

En los ensayos a realizar en banco de pruebas se lleva a cabo un registro de las mediciones de los distintos parámetros de operación del motor del banco, en el cual se tienen instalados una serie de sensores y otra instrumentación para el registro de valores de los parámetros de interés durante los ensayos. Algunos de estos son esenciales para el cálculo de emisiones en los gases de escape, mientras que otros lo son para conocer las condiciones de operación del motor (prestaciones) y su comportamiento.

El sistema de medida consta de:

- Medida de las características de la energía eléctrica generada por el grupo electrógeno y parámetros de funcionamiento del motor de encendido por compresión.

- Medida del consumo de los combustibles líquidos o gaseosos.
- Análisis de los gases de combustión y partículas emitidas en el escape.
- Monitorización de toda la información adquirida sobre un sistema SCADA propio, que incorpora una aplicación de generación de alarmas sobre todas las variables adquirida y de generación de informes del ensayo.

Y permite realizar las medidas en base a la normativa de aplicación:

- Medición de prestaciones del motor, potencia y consumo específico combustible, según ISO 8528-1/-3 e ISO 3046-1.
- Medición de emisiones de contaminantes en gases de escape según ISO 8178-1/-3/-4/-9.
- Caracterización de la potencia eléctrica generada ISO 8528-3.

La instrumentación y procedimientos de ensayos cumplirán con la ISO 8528-1/-3 e ISO 3046-1 y la medición de emisiones según ISO 8178-1/-3/-4/-9.

PARÁMETRO MOTOR	UNIDAD	EXACTITUD
Velocidad del motor	%	+/-2
Par	%	+/-2
Potencia	%	+/-2
Consumo de combustible	%	+/-2
Caudal de gases de escape	%	+/-4
Temperatura del refrigerante	K	+/-2
Temperatura del aceite lubricante	K	+/-2
Presión de los gases de escape	%	+/-5
Depresión en el colector de admisión	%	+/-5
Temperatura de los gases de escape	K	+/-15
Temperatura del aire de admisión	K	+/-2
Presión atmosférica	%	+/-0,5
Presión del aire de admisión	%	+/-3
Temperatura del combustible	K	+/-2
Emisiones	%	+/-3,5
	ppm	+/-4

Tabla 2. Precisión requerida por el sistema de medida de acuerdo a la normativa ISO 3046-1 e ISO 8178

Para obtener una buena medida, los instrumentos requieren estar correctamente calibrados en el momento de la realización del ensayo. Por lo tanto, deben compararse periódicamente conforme a las indicaciones del procedimiento de registro general de instrumentos con patrones de medida conocidos y ajustarse convenientemente.

4.4 MEDIDA DE LAS CONDICIONES AMBIENTALES

Las condiciones ambientales (presión barométrica, temperatura y humedad relativa) del aire de admisión, es necesario conocerlas, para poder llevar a cabo una adecuada caracterización del motor, y que no solo caracterizan el aire de combustión, sino que además se utilizan para llevar a cabo la corrección de potencia.

Para la medida de la presión ambiente, se utiliza un sensor de presión atmosférica, el cual se ubica dentro de la celda de ensayo para que la lectura corresponda con las condiciones del aire de admisión.



Ilustración 4. Sensor presión atmosférica.

Ahora bien, para la medida de la temperatura y humedad ambiente de la celda de ensayo, se ha utilizado un higrómetro digital, Marca E+E modelo EE21, con sensor de humedad relativa y NTC para la medida de temperatura.

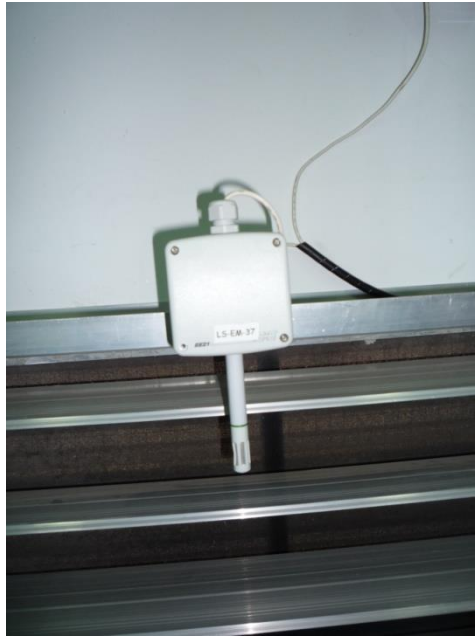


Ilustración 5. Termo-higrómetro EE21.

4.5 MEDIDAS DE PRESIONES AIRE DE ADMISIÓN, GASES DE ESCAPE Y GAS ANTES DEL MEDIDOR

Los elementos que componen la cadena de medida de presiones son el sensor/transductor, que puede ser un diafragma o una membrana sobre la que se encuentra adherido el elemento deformable (galgas extensiométricas metálicas, galgas semiconductoras) o bien puede ser un sensor de efecto piezoeléctrico. La señal de salida requiere un acondicionamiento (amplificación, filtrado, etc.) que es realizado mediante una electrónica asociada.

Se han medido presiones en el colector de admisión y tanto a la entrada como a la salida del medidor de caudal y con el objetivo de controlar el punto de funcionamiento del sistema.



Ilustración 6. Sensor Presión Escape.

4.6 MEDIDA DE TEMPERATURAS

Para la medida de temperaturas se utilizan termopares tipo K, un sensor tipo T y sensores Pt100 dependiendo del rango de temperaturas y de la exactitud requerida en cada medida.

El software desarrollado permite modificar los parámetros de calibración de las sondas de temperatura.

La aplicación desarrollada permite medir:

- Temperatura ambiente
- Temperatura filtro del aire.
- Temperatura colector admisión.
- Temperatura después de compresor (en caso de motores turbo).
- Temperatura de gases por cilindro (hasta 4 cilindros)
- Temperatura gases de escape
- Temperatura gases de escape después del turbo (en caso de motores turbo)
- Temperatura lubricante
- Temperatura agua motor
- Temperatura entrada agua radiador.
- Temperatura salida agua radiador.
- Temperatura de refrigerante a la entrada y a la salida del intercambiador
- Temperatura del combustible diésel en el depósito de medida.

Tal y como hemos visto anteriormente, el grupo objeto de ensayo es un motor de tres cilindros, aspiración natural, y refrigerado por aire.



Ilustración 7. Temperatura de lubricante.



Ilustración 8. Temperatura de admisión.

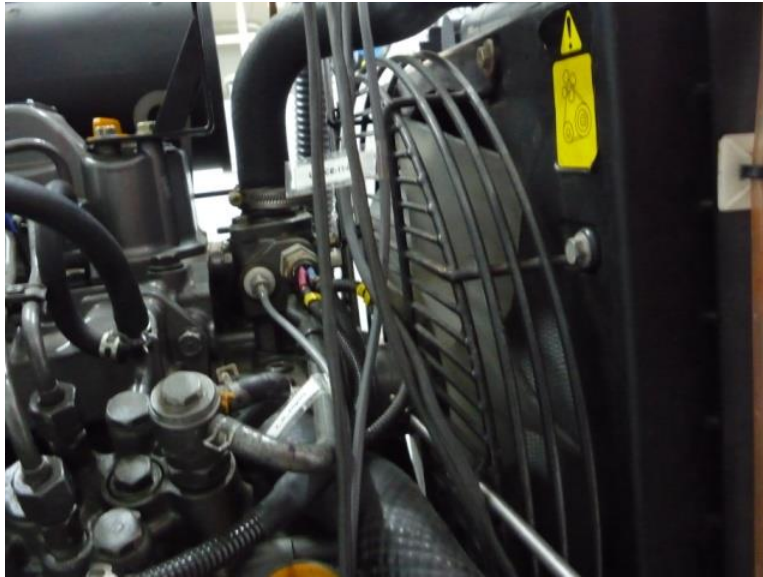


Ilustración 9. Temperatura de Aire Refrigerante.

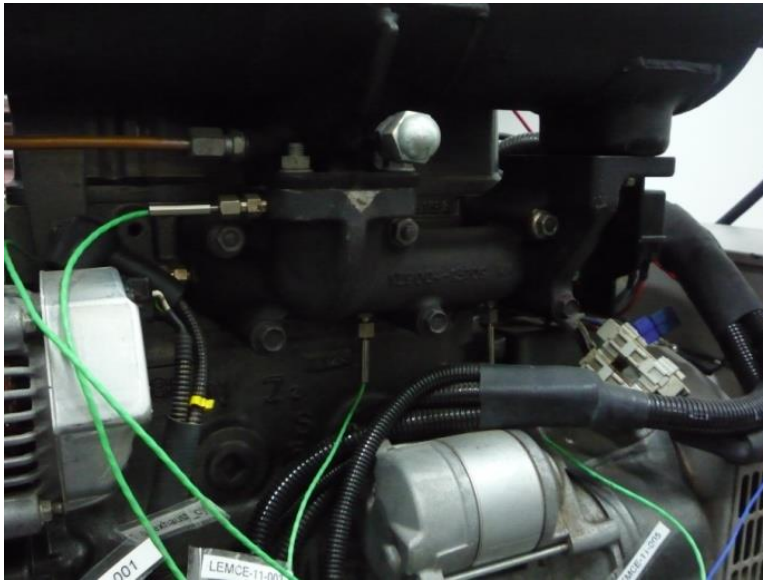


Ilustración 10. Temperatura de gases de escape cilindros.



Ilustración 11. Temperatura del Aire a la Salida del Intercambiador.

Estas sondas han sido calibradas y se ha implementado la recta de calibración en el sistema de adquisición de datos.

Nomenclatura UPCT	Posición en PLC		Posición en MOTOR	Canal SCADA	Recta de Calibracion
	Módulo	Canal			
LEMCE-11-005	TC HF 1 plc general	2	Temperatura de gases de escape del tercer cilindro	1	$y = 1,0228x + 4,5611$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-003	TC HF 2 plc general	2	Temperatura de gases de escape del segundo cilindro	3	$y = 1,0112x + 3,3810$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-002	TC HF 3 plc general	1	Temperatura de gases de escape del primer cilindro	4	$y = 1,0130x + 3,2604$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-001	TC HF 3 plc general	2	Temperatura gases de escape en el colector de escape	5	$y = 1,0112x + 3,3062$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-013	TC HF 4 plc general	1	Temperatura lubricante	6	$y = 0,9979x + 0,9872$ $R^2 = 0,9999$
LEMCE-11-014	TC HF 1 plc camo combustible	1	Temperatura combustible diesel en depósito medida	0	$y = 0,9930x + 1,4361$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-007	RTD 1 plc general	1	Temperatura en el colector de admisión	8	$y = 1,0147x + 0,3302$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-008	RTD 1 plc general	2	Temperatura después compresor	9	$y = 1,0222x - 0,0396$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-010	RTD 2 plc general	2	Temperatura agua motor en la entrada al intercambiador	11	$y = 0,9845x + 1,7877$ $R^2 = 0,9997$
LEMCE-11-011	RTD 3 plc general	1	Temperatura agua motor	12	$y = 0,9822x + 2,1256$ $R^2 = 0,9996$
LEMCE-11-012	RTD 3 plc general	2	Temperatura agua motor en la salida del intercambiador	13	$y = 0,9844x + 1,7127$ $R^2 = 0,9997$
LEMCE-11-017	RTD 4 plc general	1	Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posición 1. (Sonda situada a las 3 horas)	14	$y = 1,0124x - 0,5586$ $R^2 = 1,0000$
LEMCE-11-016	RTD 4 plc general	2	Temperatura en filtro de aire	15	$y = 1,0241x - 1,0778$ $R^2 = 0,9997$

Ilustración 12. Tabla Resumen sondas de temperatura conectada.

4.7 SISTEMA DE MEDIDA DE ENERGÍA ELÉCTRICA

El sistema de medida de energía eléctrica integra un analizador de red SENTRON PAC3200 de Siemens.

El SENTRON PAC3200 es un multímetro tipo central de medida para la visualización de todos los parámetros de red relevantes en la distribución de energía eléctrica en baja tensión. Puede realizar mediciones monofásicas, bifásicas y trifásicas, y puede utilizarse en redes (sistemas) en esquema TN, TT e IT de dos, tres o cuatro conductores.

Este módulo se instala en un cuadro eléctrico que alberga la aparamenta necesaria para la realización de las medidas eléctricas con dos grupos de transformadores de intensidad de diferentes características.



Ilustración 13. Cuadro SENTRON PAC3200.

La energía generada por el grupo electrógeno es disipada en un banco de resistencias (cargas trifásicas).



Ilustración14. Sistema de Cargas Trifásicas.

4.8 SISTEMA DE SUMINISTRO, CONTROL Y MEDIDA DE CONSUMO DE DIÉSEL

El sistema de medida de consumo de combustible se encuentra integrado sobre una estructura de perfiles de aluminio y controlado mediante un PLC que se comunica con el PC instalado en la sala de control.



Ilustración15. Banco de medición del consumo de combustible.

El depósito de combustible se coloca sobre un sistema de pesada de precisión y se controla el tiempo transcurrido entre medidas consecutivas. Los datos de peso del depósito de combustible se envían al módulo correspondiente del PLC donde es analizado para la obtención del gasto de combustible. El software instalado en el PC de la sala de control permite la visualización en tiempo real del peso y un cálculo promedio del consumo en un tiempo determinado de 100, 200 o 400 segundos. Además el software permite la calibración de la célula de carga.

Para la medida de peso se utiliza una célula de carga con galgas extensiométricas conectada a un módulo electrónico de adquisición que captura datos con un periodo fijado por un microprocesador propio. Los datos de peso del depósito de combustible se envían al PC de medida donde, posteriormente, deberán ser analizados para la obtención del gasto de combustible instantáneo. Existen dos células de carga, una de 6 y otra de 3 kg, que trabajan en el rango de 0 a 4500 g y de 0 a 2000 g respectivamente.

La segunda es usada para el ensayo para medir el consumo de combustible, ya que dispone de mayor sensibilidad. Asimismo se dispone de un software instalado en el PC de la sala de control que permite la visualización en tiempo real del peso y un cálculo promedio del consumo en un tiempo determinado, con posibilidad de configurarlo, además de permitir la calibración de la célula de carga.

Fabricante y modelo	DINACELL
Campo de medida lineal	0 a 4500 g
Incertidumbre de calibración	± 0,2 %

Tabla 2. Especificaciones de la célula de carga de 6 kg

Fabricante y modelo	DINACELL
Campo de medida lineal	0 a 2000 g
Incertidumbre de calibración	± 0,2 %

Tabla3. Especificaciones de la célula de carga de 3 kg

El carro de combustible a su vez, está dotado de un sistema de medida de temperatura del combustible mediante un termopar, así como de un sistema de refrigeración conectado con el retorno del combustible del motor. Dicho sistema de refrigeración consta de un intercambiador aire-combustible y de una batería de ventiladores conectados al PLC para que cuando la temperatura del combustible aumente demasiado se pongan en funcionamiento los que sean necesarios.

4.9 SISTEMA DE SUMINISTRO, CONTROL Y MEDIDA DE CONSUMO DE GAS COMBUSTIBLE

Se dispone del medidor-controlador F202AV de Bronkhorst High-Tech, calibrado a diferentes rangos de caudal dependiendo del gas de trabajo. Mediante el PLC Combustible se realiza la adquisición y el registro de los datos con el hardware y software desarrollado para el proyecto.

Se ha decidido emplear un Venturi-mezclador como elemento de adición de gas combustible que se va a acoplar en el conducto de admisión a continuación del filtro de aire.

El sistema de media y control de inyección de gas (llamado “rampa de gas”) se compone de un filtro de partículas, un sensor de presión aguas arriba del medidor, el medidor-controlador y un sensor de presión diferencial. Tanto el filtro, los sensores de presión como el medidor se instalan sobre una placa de montaje y esta a su vez se fija a la pared de la celda de ensayos en un punto próximo al punto de inyección de gas, tal y como podemos ver en la imagen adjunta.



Ilustración16. Rampa de Gas.

4.9.1 Central de suministro de gas

Se trata de botellas a presión (B50, 200bar) suministradas por CARBUROS METÁLICOS, quien a su vez realiza dicha instalación.

La instalación se compone de una central de regulación de CH₄, una válvula neumática para el corte automático de la línea de gas, un manorreductor instalado sobre la botella de N₂ (gas de inertización), válvulas antirretorno y válvulas de seguridad reguladas a diferentes niveles de presión. Todo el conjunto se instala sobre un panel de montaje y fijado a la pared. La instalación queda conectada a la rampa de gas a través de una manguera flexible de acero inoxidable AISI316.

La central de suministro gas es diseñada de forma que ante un corte en la alimentación eléctrica a la válvula neumática de suministro de CH₄ o una presión inferior a 1,1 bar en la botella de gas, o un fallo en el suministro eléctrico, de forma automática todo el sistema es llenado con gas inerte (N₂).

La válvula neumática se cierra en las situaciones siguientes:

1. A través de un selector situado en la sala de control.
2. Si se produce una falta eléctrica.



Ilustración 17. Central de suministro de GAS.

4.10 VENTURI-MEZCLADOR

En los motores diésel, el combustible se mezcla con el aire hacia el final de la carrera de compresión del motor al ser rociado en la cámara de combustión a alta presión (200 bar) y el combustible se enciende de inmediato cuando entra en contacto con el aire comprimido caliente.

En la operación dual del combustible el sistema de inyección sigue suministrando una cierta cantidad de combustible diésel, sin embargo, el motor aspira y comprime una mezcla de aire y gas combustible que se a de preparar en un dispositivo de mezcla externo, que se enciende con el combustible diésel inyectado.

Este dispositivo de mezcla tiene que cumplir los siguientes requisitos:

- Proporcionar una mezcla homogénea de aire y gas combustible.
- Variar el flujo de gas combustible de acuerdo con el rendimiento requerido.
- Ser capaz de suministrar suficiente aire y el combustible para el funcionamiento a carga máxima, bajo la consideración de las presiones reales de gas y aire y mantener un exceso de aire suficiente asegurar la combustión completa de gas combustible y piloto.

Dentro de los diferentes sistemas de mezcla, se ha seleccionado para esta aplicación un mezclador tipo Venturi. En este tipo de mezcladores, el suministro de gas se realiza a través de varios agujeros al alrededor de la circunferencia de la garganta lo que facilita la mezcla homogénea de gas y aire.

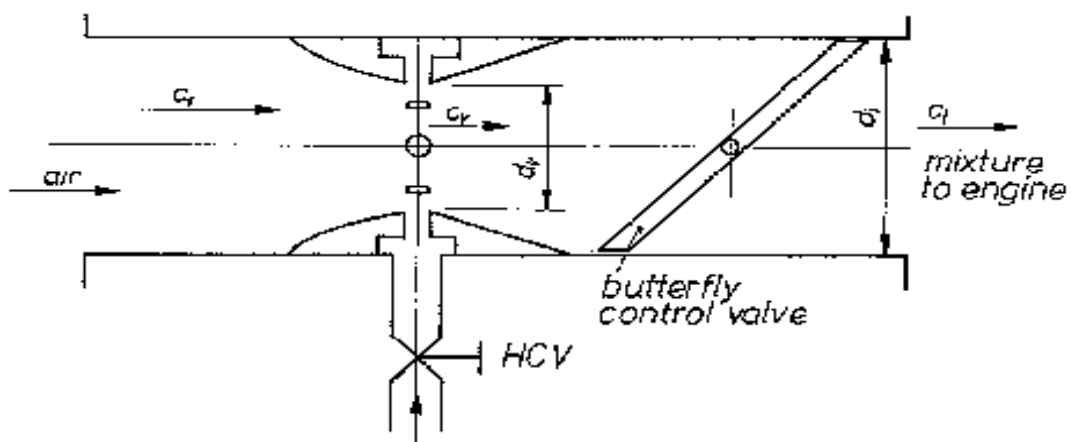


Ilustración 18. Diagrama Válvula Venturi-Mezclador.

Un mezclador Venturi utiliza el mismo principio fluido-mecánico que un carburador normal, es decir, el cambio en la cantidad y la velocidad del flujo de aire produce un cambio en la presión en garganta del Venturi que a su vez afecta un cambio en el flujo del gas combustible mezclar este con el flujo de aire principal en la proporción requerida.

El Venturi mezclador utilizado es un Woodward, LC-50 de la familia de L-Series. El diseño modular se compone de un cuerpo de aluminio fundido a presión, donde se integra el mezclador Venturi con una válvula de mariposa controlada digitalmente. Este sistema está disponible en para motores de 5 a 100 KW, con diferentes tamaños con estos datos se selecciona un sistema LC50 con un diámetro nominal de 50 mm y una garganta de 29 mm.



Ilustración 19. Mezclador integrado LC50.

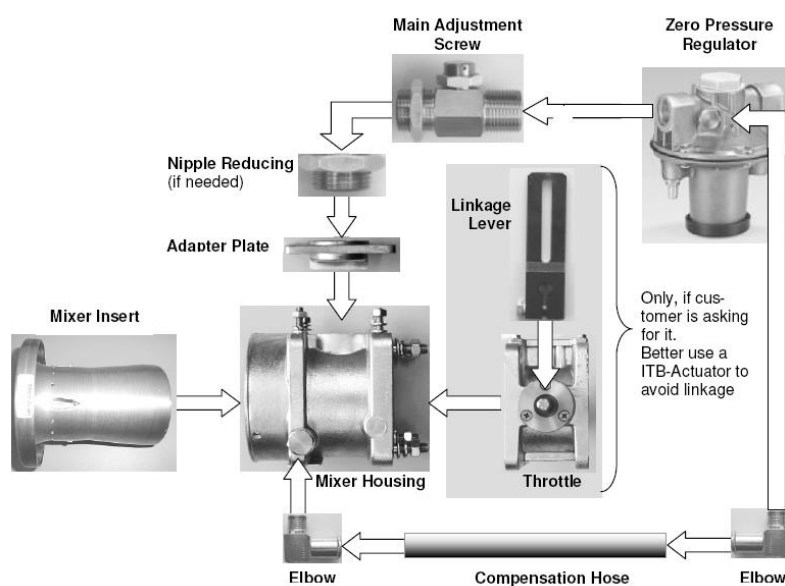


Ilustración 20. Esquema de la instalación.

Dado que el sistema de control y medida de adición de CH₄ de medida de gas combustible permite la regulación del caudal requerido de gas para las diferentes opciones del plan de ensayos, se optó por realizar la regulación mediante este sistema y no emplear el regulador de presión Zero y manteniendo abierto el tornillo de ajuste.

El sistema queda integrado entre el filtro del aire y el colector de admisión del motor, manteniendo una distancia de 3 diámetros para favorecer aún más la mezcla. El montaje se puede observar en la Ilustración 21.

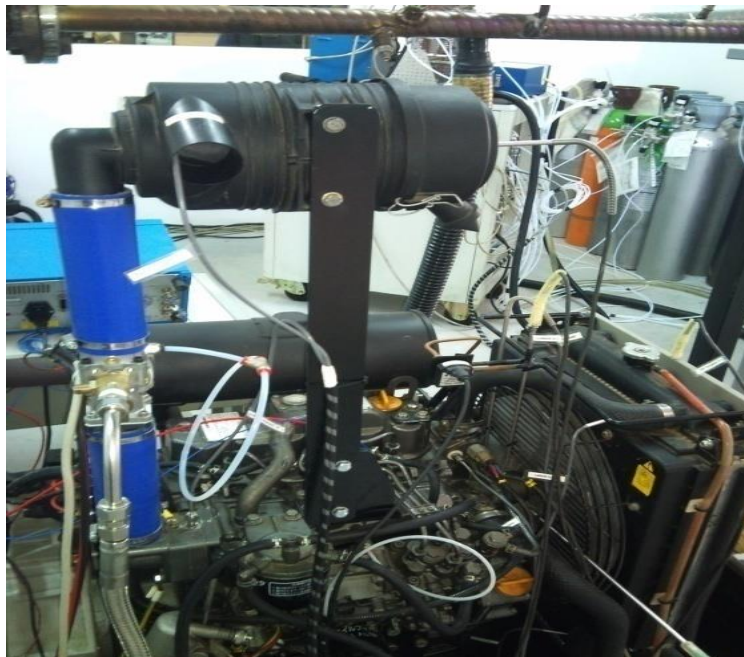


Ilustración 21. Instalación del sistema en la admisión.

4.11 ANALIZADOR DE GASES

Para la medida de emisiones del motor se ha empleado un analizador de gases de combustión testo 350-XL equipado con sensores de O₂, CO, NO y NO₂, SO₂, CXHY, NO_x, CO₂.

	RANGO	EXACTITUD	RESOLUCIÓN	TIEMPO RESPUESTA
O2	0 – 25 % Vol	±5 ppm (0 hasta +99 ppm)	1 ppm	30 s
CO	0 – 10000ppm	±10 ppm (0 hasta +199 ppm)	1 ppm	40 s
CO2	0 - 50 % Vol.	±0,3 % Vol. + 1 % del v.m. (0 hasta 25 % Vol.) ±0,5 % Vol. + 1,5 % del v.m. (25 hasta 50 % Vol.)	0,01 % Vol. (0 hasta 25 % Vol.) 0,1 % Vol. (> 25 % Vol.)	10 s
NO	0 – 300 ppm	±2 ppm (0 hasta +39,9 ppm)	±0,1 ppm	30 s
NO2	0 – 500ppm	±5 ppm (0 hasta +9,99 ppm)	0,1 ppm	40 s
SO2	0 – 5000ppm	±5 ppm (0 hasta +99 ppm)	1 ppm	30 s

Tabla 4. Rangos de medida del analizador de gases Testo 350-XL



Ilustración 22. Testo 350-XL.

4.12 MEDIDA DE OPACIDAD DE LOS GASES

Se ha utilizado un opacímetro portátil Motorsens M-170, que estima el nivel de opacidad a partir del coeficiente de absorción luminosa de una muestra de los gases de escape. Esta metodología ha permitido registrar la opacidad en unidades de % y en índice de absorción m-1. Mediante el método de cálculo descrito [2] se ha calculado la cantidad de materia particulada (PM) en los gases de escape a partir de la medida de la opacidad en humos.

El opacímetro ha sido calibrado atendiendo a la normativa ISO 11614. Las especificaciones del opacímetro se muestran en la Tabla 5. La adquisición de datos del opacímetro Motorsens se realiza automáticamente mediante un software propio instalado en el PC de la sala de control.

Marca y modelo	Motorsens M-170
Rango de medida	0 a 16 m ⁻¹
Exactitud	± 0,01 m ⁻¹

Tabla 5: Especificaciones del opacímetro



Ilustración23. Opacímetro Motorsens M-170 usado en la experimentación.

4.13 SISTEMA DE TOMA DE MUESTRAS

Se han dispuesto sondas de toma de muestras de gases de escape en el conducto de escape. En la sección de tomas de muestras de gases se ha dispuesto las sondas de extracción gas del analizador de gases y la sonda que conduce los gases al opacímetro portátil, y además se ha previsto la sonda para la medida de la opacidad por índice de ennegrecimiento de papel (índice Bosch o FSN) y para la colocación de otro analizador de gases de escape.

La colocación de estas sondas se ha llevado a cabo en tres secciones próximas tras un tramo recto del conducto de escape.

4.13 SISTEMA DE PROCESADO DE SEÑALES DE PARÁMETROS MOTOR-ALTERNADOR, CONSUMO DE COMBUSTIBLES Y ANALIZADORES DE GASES

Este sistema está compuesto por dos subconjuntos el sistema de autómatas programables y el sistema HMI. La instalación cuenta con dos autómatas programables:

- PLC principal que se compone de : 1 CPU, 1 fuente de alimentación, 1 módulo de comunicaciones profibus, 2 módulos de entradas/salidas digitales, 4 módulos de termopares, 5 módulos de termoresistencias, 5 módulos de entrada analógica de tensión y 1 módulo de entrada analógica 4-20 mA.
- PLC Combustible que se compone de: 1 CPU, 1 fuente de alimentación, 1 módulo de comunicaciones profibus, 2 módulos de entradas/ salidas digitales, 1 módulo Siwarex, 1 módulo de termopares y 1 módulo de entradas analógicas en tensión.

El PLC Principal conecta el PLC con la cRIO para almacenar los datos de los ensayos y en el PLC Combustible conecta el PLC con el sistema de medida y control de gas.

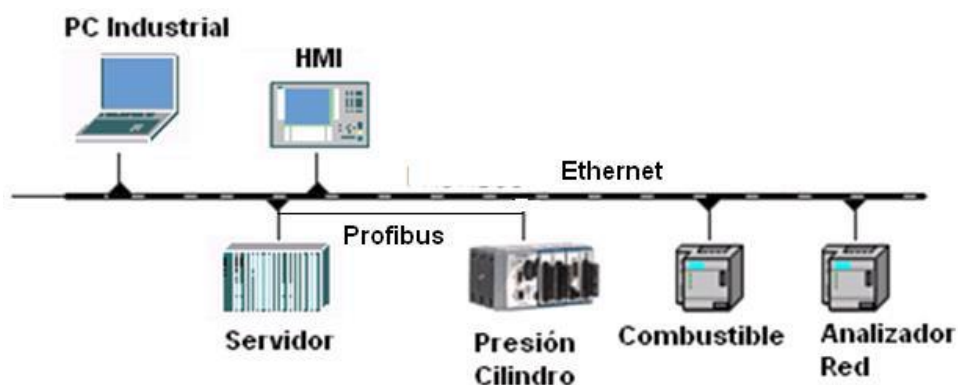


Ilustración 24: Esquema de procesamiento de señales.

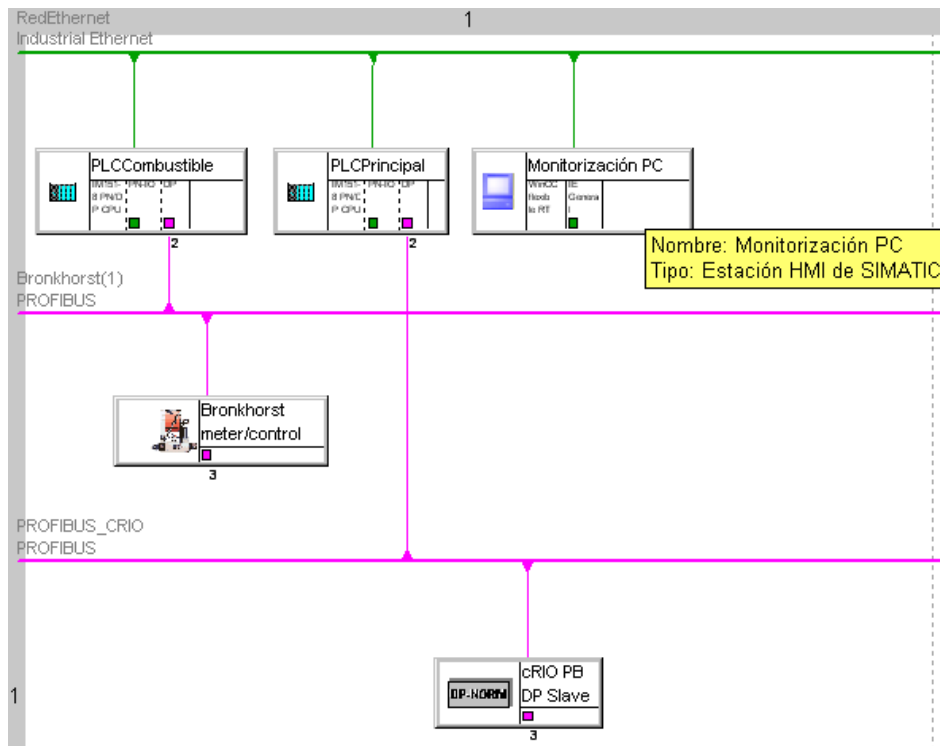


Ilustración 25: Red de comunicaciones

Para el desarrollo de la aplicación se utilizó el paquete de software de Siemens conocido como SIMATIC WinCC.

SIMATIC WinCC es un sistema de supervisión sobre PC ejecutable bajo Microsoft Windows y está concebido para la visualización y manejo de procesos, líneas de fabricación, máquinas e instalaciones.

La aplicación cuenta con un menú inicial desde el que podemos tener acceso a las diferentes secciones en las que se ha dividido el programa y desde las que se visualizan las variables de interés como: temperaturas, presiones, variables eléctricas, parámetros, motor y hojas de características del motor y del alternador del grupo electrógeno monitorizado.

La aplicación nos va a permitir visualizar variables, activar avisos de alarma cuando algún parámetro se salga de los límites establecidos y generar donde tendremos el registro de datos obtenidos durante el ensayo del grupo. Una vez que disponemos de estos datos, podemos usar una hoja de cálculo para conocer otros parámetros que sean de nuestro interés.

4.14 TABLA RESUMEN DE INSTRUMENTACIÓN

En la siguiente tabla se resume la instrumentación instalada en el banco de ensayo.

PARAMETRO A MEDIR	Ud.	ERROR ADMISIBL E (R 49 ECE)	ERROR ADMISIBLE (80/1269/CE)	EXACTITUD DE LA CALIBRACIÓN	EQUIPO DE MEDIDA	RANGO INSTRUMENTO	RANGO CALIBRACIÓN
Condiciones ambientales celda							
Presión atmosférica	mbar	± 0,5%	± 1%	± 0,5%	Estación meteorológica	749 a 1050	750 a 1050
Temperatura	°C	± 2	± 2	± 1,5	Termohigrómetro EE21	-5 a 55	-5 a 55
Humedad relativa	%	n/e	n/e	± 3 % HR	Termohigrómetro EE21	0 a 99,9	0 a 99,9
Combustible							
Temperatura combustible	°C	± 2	± 2	± 2	Termopar tipo K	-200 a 1100	120 a 600
Consumo de combustible	g/min.	± 2%	± 1%	± 0,5%	Célula de carga 6 kg	0 a 6000 g	0 a 4500 g
Consumo de combustible	g/min.	± 2%	± 1%	± 0,5%	Célula de carga 3 kg	0 a 3000 g	0 a 2000 g
Potencia y velocidad motor							
Velocidad de giro del motor	rpm	± 2%	± 0,5%	± 0,5%	Freno dinamométrico API FR-250	100 a 12000	100 a 12000
Par efectivo observado	Nm	± 2%	± 2%	± 1%	Freno dinamo. API FR-250	0 a 800	0 a 150
Gases de escape antes/después turbo							
Temperatura antes turbina	°C	± 15	n/e	± 15	Termopar tipo K	-200 a 1100	120 a 600
Temperatura después turbina	°C	± 15	n/e	± 15	Termopar tipo K	-200 a 1100	120 a 600
Contrapresión escape después turbina	mbar	± 5%	± 2%	± 2 %	Sensor OMEGA	-350 a 350	0 a 350
Presión escape antes turbina	mbar	± 5%	± 2%	± 2%	Sensor OMEGA	0 a 2000	0 a 2000
Temperatura antes compresor	°C	± 2	± 2	± 0,5	Pt100	-257 a 650	0 a 140

Temperatura después compresor	°C	± 2	± 2	± 1	Pt100	-257 a 650	0 a 140
Presión después compresor	mbar	± 3%	± 0,5%	± 0,3%	Sensor OMEGA	0 a 2000.	0 a 2000
Presión antes compresor	mbar	± 5%	± 0,5%	± 2,5%	Sensor OMEGA	0 a -70	0 a -70
Sistema de lubricación							
Temperatura lubricante	°C	± 2	n/e	± 0,2	Pt100	-257 a 650	0 a 140
Sistema de refrigeración							
Temperatura entrada refrigerante primario	°C	± 2	n/e	± 1	Pt100	-257 a 650	0 a 120
Temperatura salida refrigerante primario	°C	± 2	n/e	± 0,5	Pt100	-257 a 650	0 a 120
Temperatura entrada agua secundario	°C	± 2	n/e	± 0,5	Pt100	-257 a 650	0 a 120
Temperatura salida agua secundario	°C	± 2	n/e	± 0,2	Pt100	-257 a 650	0 a 120
Temperatura ent. refrigerante colector escape	°C	± 2	n/e	± 0,1	Pt100	-257 a 650	0 a 120
Temperatura sal. refrigerante colector escape	°C	± 2	n/e	± 0,1	t100	-257 a 650	0 a 120
Caudal de agua de refrigeración	l/min.	n/e	n/e	± 1,5	Caudalímetro	4 a 100	4 a 100
Aire de admisión							
Temperatura aire en colector de admisión	°C	± 2	± 2	± 0,8	Pt100	-257 a 650	0 a 100
Temperatura gases de escape en sonda	°C	± 15	n/e	± 0,8	Termopar tipo K	-200 a 1100	120 a 600
Sistema Inyección de Gas							
Presión diferencial	mbar				Sensor OMEGA	0 a 70	0 a 60
Presión antes de MFC	bar				Sensor KRISTAL Ceraline-S	0 a 5	0 a 4
Medidor/Controlador másico de efecto térmico (MFC BHT)	IN/min				Medidor/Controlador de efecto térmico (MFC).	0 a 250	1 a 75 (CH4)

Tabla 6. Tabla resumen de instrumentación motor.

5. PROGRAMA DE ENSAYOS, ADQUISICIÓN Y TRATAMIENTO DE DATOS

5.1 PROCEDIMIENTO DE ENSAYO

Protocolo de ensayo

El objetivo del protocolo de ensayo debe ser el de definir la secuencia de operaciones a realizar para obtener las medidas deseadas en el ciclo de ensayo definido con la exactitud requerida y un correcto y seguro funcionamiento de todos los sistemas.

Puesta en operación servicios de banco de ensayo

Abrir ventilación y conectar el extractor de gases. Los interruptores de maniobra están en la sala de control ensayos, en el cuadro eléctrico, en una esquina de la sala.

Verificar el estado de la válvula de corte combustible gaseoso (Manual-0-Auto), en el cuadro de interruptores.

Puesta en marcha de la instrumentación

Antes de la medida, la instrumentación debe ser puesta en marcha siguiendo el procedimiento que especifique el fabricante. Hay que prever que ciertos instrumentos requieren de un tiempo de calentamiento considerable, como los analizadores de gases, si el fabricante no lo especifica se recomienda un tiempo mínimo de dos horas.

Verificación de la instrumentación

Para la realización de un ensayo se requiere que toda la instrumentación esté convenientemente calibrada y en perfecto funcionamiento. Por tanto antes del ensayo debe verificarse que, al menos en posición de reposo la medida de todos los instrumentos esté dentro de un rango coherente.

Condiciones de ensayo

Previo al ensayo debe verificarse que las condiciones de presión y temperatura ambiente se mantienen fijas dentro de la tolerancia admisible al instrumento de medida por la norma de ensayo.

Ciclo de calentamiento del motor

Previo del arranque del motor deben ponerse en marcha todos los servicios de banco, como el sistema de ventilación, el sistema de escape, alimentación de agua de refrigeración y el sistema de diagnóstico. Para evitar saltos bruscos en la velocidad del motor deben regularse al mínimo los controles del acelerador y del freno antes de arrancar el motor.

Con el fin de alcanzar unas condiciones operativas estabilizadas se somete al motor a un ciclo de calentamiento definido, aumentando progresivamente la potencia disipada en el freno y regulando el sistema de refrigeración hasta alcanzar las temperaturas definidas sobre condiciones de ensayo en la normativa. De acuerdo con las prescripciones técnicas se establece un rango de temperaturas del refrigerante a la salida del motor de 75 ± 5 °C.

Ajuste de modo de ensayo

Mediante un accionamiento iterativo de las resistencias de carga se ajusta la potencia del motor, debe mantenerse de forma que el valor medio en el período durante el que se efectúan las mediciones, se sitúe a $\pm 2\%$ de la potencia de ensayo.

Operación en la central de suministro de gas

La instalación de suministro de gas en líneas generales se compone de una central de regulación de gas combustible con una válvula neumática con control por electroválvula para el corte automático de la línea de gas, que hay que abrir para poder introducir gas combustible en el motor. La instalación está conectada a través de un manorreductor instalado sobre la botella de N₂ (gas de inertización) de forma que ante un corte en la válvula de suministro de gas combustible o una presión inferior a 2 bar en la botella de gas, automáticamente todo el sistema es llenado con gas inerte (N₂)

Registro de datos en cada modo de ensayo

Para proceder al registro de datos, las medidas deben estar completamente estabilizadas. Una vez ajustado el modo de ensayo, las variables de operación del motor tienden hacia el valor característico del nuevo punto de funcionamiento. Esta tendencia requiere de un tiempo hasta la estabilización, que depende fundamentalmente del tipo de variable. Así, las temperaturas son los parámetros que necesitan más tiempo para evolucionar, siendo por tanto las variables críticas que determinan el tiempo de espera necesario antes de la toma de datos.

Se recomienda un tiempo de estabilización de, al menos, diez minutos. No obstante, gracias al sistema de adquisición de datos se puede observar la evolución temporal de las temperaturas, permitiendo ajustar de forma más precisa el tiempo de espera.

Como ya se ha comentado durante la descripción de la instrumentación, se dispone de un sistema de adquisición de datos al que se han conectado diversos aparatos, y de distintos sistemas que poseen su propio software de adquisición, como son el analizador de gases, el opacímetro, el sistema de inyección de gas y la balanza de combustible. Además hay ciertas medidas que debieron ser tomadas manualmente.

Debido a la utilización de diversos sistemas independientes de adquisición de datos se hace necesario un procedimiento de sincronización de las medidas registradas. No obstante, los posibles errores en la sincronización o en los periodos de muestreo no tendrán mayor importancia cuando todas las variables de medida se hayan estabilizado.

Parada del motor

Una vez que se ha completado el ciclo de ensayo, se cierra la electroválvula de gas combustible y se deja circular nitrógeno gas durante unos 15 minutos para asegurar la inertización del sistema.

Comprobación de analizadores de gases

Después de los ensayos de emisiones se deberá repetir la comprobación de los analizadores de gases utilizando un gas cero y el mismo gas patrón que en la primera verificación. El resultado se considerará aceptable si la diferencia entre las dos mediciones resulta inferior al 2%.

Parada de la instrumentación

A continuación, se procede a la parada de la instrumentación y del sistema de adquisición de datos, que debe hacerse conforme al procedimiento especificado por el fabricante de cada aparato. Mención especial en este punto merecen los analizadores, cuyos fabricantes normalmente exigen que antes de la desconexión se introduzca durante cierto tiempo aire limpio en la cámara de gases con objeto de eliminar los restos de gases de escape.

Modo de ensayos

El ciclo de ensayo a realizar, que dependerá del objetivo que se persiga en cada momento, se entiende que es la secuencia de los modos de ensayo, es decir, los puntos de funcionamiento del motor caracterizados por una potencia.

La instrumentación y procedimientos de ensayos cumplirán con la ISO 8528-1/-3 e ISO 3046-1 y la medición de emisiones según ISO 8178-1/-3/-4/-9

Ciclo de ensayo

Se entiende por ciclo de ensayo a los puntos de funcionamiento del motor caracterizados por una potencia, y en nuestro caso por una sustitución de energía de combustible diésel y máxima carga.

Para poder realizar la comparación de las prestaciones del motor funcionando en modo dual se ha definido un programa de ensayos en el que en primer lugar se realiza un análisis de las prestaciones del motor funcionando únicamente con diésel a diferentes cargas hasta alcanzar el 100% para posteriormente, a una carga del 100% ir alimentando progresivamente el combustible gaseoso en la admisión hasta la máxima sustitución energética posible.

Se limita la inyección de gas natural a valores que no provoquen una excesiva inestabilidad en la combustión.

MODOS DE ENSAYO Combustible- %carga	RÉGIMEN (rpm)	Potencia (kW)	CH₄ (IN/min)
EN590 - ralentí	1500	0	0
EN590-10%	1550	1,9	0
EN590-25%	1538	3,5	0
EN590-50%	1528	6,9	0
EN590-75%	1514	10	0
EN590-100%	1498	13,4	0
GA + CH ₄ – 100% 30 % de sustitución GA	1515	13,4	20
GA + CH ₄ – 100% 45 % de sustitución GA	1525	13,4	30
GA + CH ₄ – 100% 75 % de sustitución GA	1557	13,4	45

Tabla 7. Modos de ensayo del programa de ensayos

5.2 ADQUISICION DE DATOS

5.2.1 Software PLC-SISMATIC y registro datos COMPACTRIO-LABVIEW

Hacemos click en el icono del escritorio HIMOINSA para ejecutar la aplicación software PLC-SISMATIC, y la primera pantalla que visualizamos es la indicada en la ilustración 26.

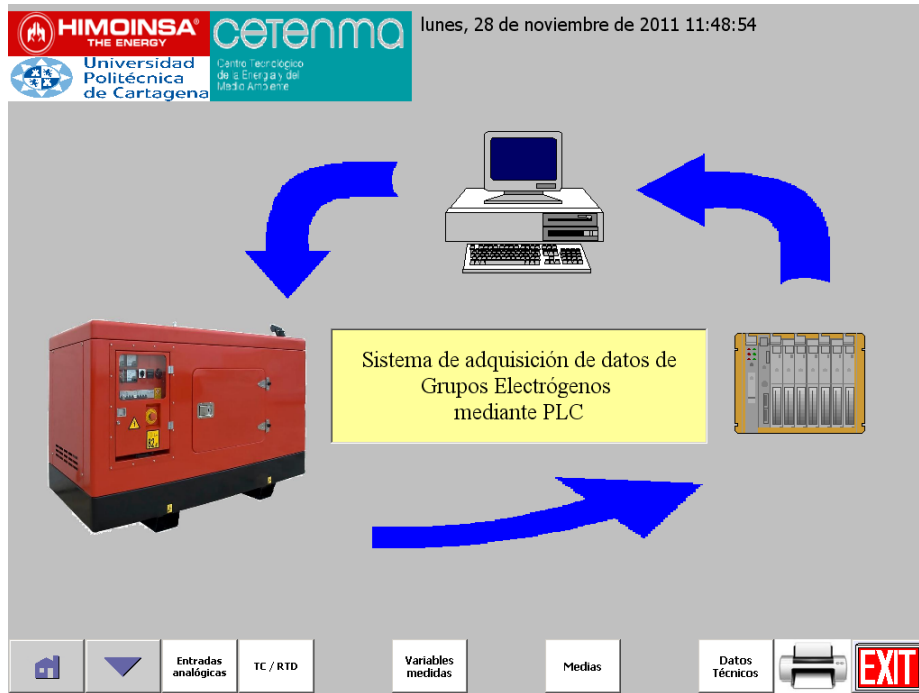


Ilustración 26. Pantalla inicial.

Ahora, para ir a la pantalla principal del programa pinchamos en “Variables medidas”, y en la ilustración 27 se puede observar la utilidad de cada uno de los botones.

Fecha: viernes, 13 de enero de 2012 12:14:58

Botones: MEDIDA, Presión atmosférica

Sección: Aplicación preparada

Control de la inyección de gas (BRONKHORST)

Sección: GASES DE ESCAPE

Sección: ENERGÍA

Sección: PRESIONES

Sección: TEMPERATURA

Menú: Entradas analógicas, TC / RTD, Variables medidas, Medias, Datos Técnicos, EXIT

Callouts: 1, 2, 3, 4, 5, 6, 7, 8, 9, 10, 11, 12, 13, 14, 15, 16, 17, 18, 19, 20, 21, 22, 23, 24

Ilustración 27. Pantalla principal control y visualización de parámetro

Definición de todos los puntos:

1. “ID” Identificador del ensayo, cuando creamos el archivo el primer número es el del ID.
2. “Carga” Carga eléctrica que le metemos al motor.
3. “Nota” Nota aclaratoria sobre el ensayo.
4. “Botón guardar”. Este botón es bueno para guardar los datos cuando no estamos ensayando, por si pasa alguna anomalía o algo por el estilo, cuando pulsamos para parar, y le volvemos a dar poniendo el mismo ID de donde estábamos guardando antes, continua guardando en la línea siguiente.
5. “Medida” Botón para cuando vayamos a realizar alguna medida.
6. “Parada de emergencia” es un relé que está conectado en serie con la alimentación del motor en la centralita del grupo.
7. “Setpoint” es el porcentaje de apertura de válvula que queremos para que pase el combustible.
8. Desglose de los diferentes atajos y opciones de este apartado.



Ilustración 28. Desglose atajos BRONKHORST.

9. “Cerrar” cerrar válvula bruscamente.
10. “Normal” pulsar este botón necesariamente para empezar a abrir la válvula, es decir, que después de pulsar el botón te vas a la casilla setpoint y metes el porcentaje de apertura que vayas buscando. Es conveniente meter estos porcentajes en valores por ejemplo de 5 en 5.
11. “Control” Numero del atajo.
12. Peso mínimo, peso máximo, calibrar báscula.
 - < Valores medidos
 - ^ Pantalla Inicial
 - > Datos Técnicos

En la ventana correspondiente a la calibración de la báscula, se marca el 0 y el peso con pesas patrón y a la derecha para poner el peso mínimo y máximo de la báscula, para cuando se llene automáticamente marcarle inicio y fin.



Ilustración 29. Calibración de la báscula.

13. “Tiempo muestreo” para ensayo aconsejable 100 segundos de ensayo seleccionamos.
 - 0.5 (1 dato cada 0.5 segundo), para 200 segundos de ensayo seleccionamos 1(1dato cada 1 segundo), y para ralenti aconsejable 400 segundos, para ello seleccionamos 2 (1 dato cada 2 segundos).

14. "Llenado manual" Llenado del depósito antes de que llegue al mínimo.
15. "Gráficos" Muestra los gráficos de los porcentajes y partes por millón de gases, etc.

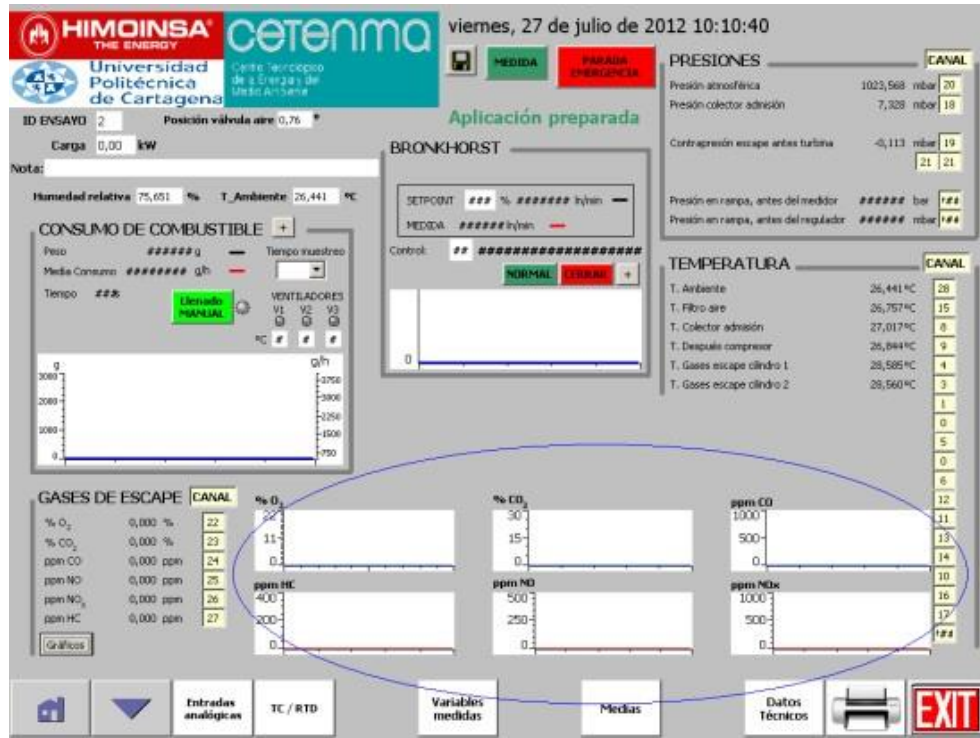


Ilustración 30. Gráficos.

16. Variables eléctricas, para ver más opciones de voltaje e intensidad que tiene el programa.

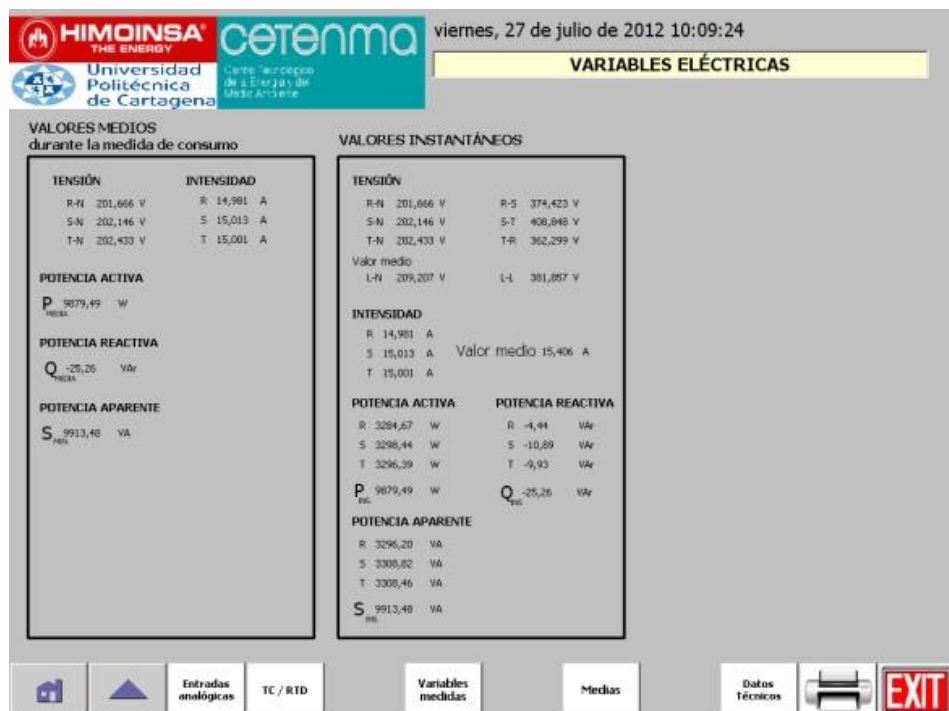


Ilustración 31. Variables eléctricas.

17. Volver a la página de inicio.

18. Te manda a la pestaña de “medias.

19. “Entradas analógicas” (V/I) Rectas de calibración que corresponden con el canal del sensor. Dicha recta tiene que coincidir con la recta que hay en su correspondiente excell. Dichos excell están en la carpeta banco de ensayos, en el MS Excell de instrumentación te dice lo que es el canal que estamos observando y ya te vas al archivo excell del instrumento y lo compruebas.

viernes, 27 de julio de 2012 10:37:00

ENTRADAS ANALOGICAS

PLC GENERAL

Rectas de calibración: $y=Ax+B$

y	A	B
AIY18 7,3276	+32,7536	-83,3387
AIY19 -0,1130	+257,2475	-259,1470
AIY20 1023,5680	+212,7362	+873,3724
AIY21 0,7587	+17,6400	-12,4100
AIY22 0,0000	+2,5000	+0,0000
AIY23 0,0000	+2,0000	+0,0000
AIY24 0,0000	+50,0000	+0,0000
AIY25 0,0000	+400,0000	+0,0000
AIY26 0,0000	+400,0000	+0,0000
AIY27 0,0000	+40,0000	+0,0000

PLC COMBUSTIBLE

y	A	B
AII28 26,4988	+6,2500	-45,0000
AII29 75,3906	+6,2500	-25,0000
AII30 4,0000	+1,0000	+0,0000
AII31 4,0000	+1,0000	+0,0000

Entradas analógicas TC / RTD Variables medidas Medias Datos Técnicos EXIT

Ilustración 32. Entradas analógicas.

20. “TC/RTD”(Termopares y PT100). La misma función que la anterior pero con termopares y PT100, la mayoría son TIPO K excepto el del aceite.

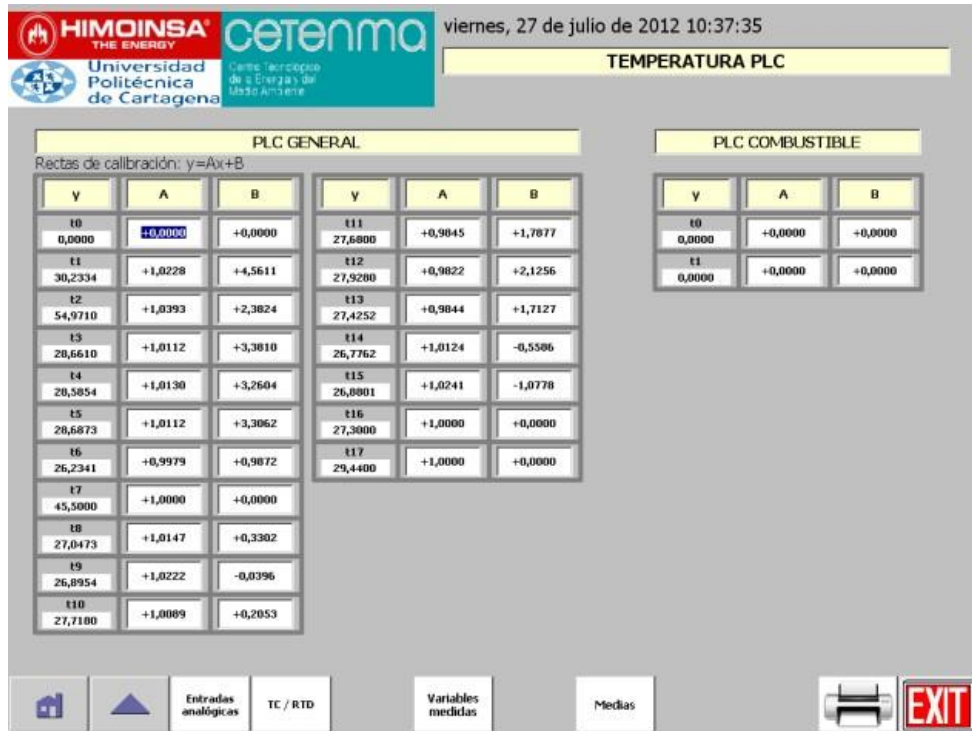


Ilustración 33. TC/RTD.

21. *Medias* son las medias del último ensayo, pulsamos en media y nos calcula la media del ensayo actual y en instantánea es lo que está midiendo en el momento el sensor.

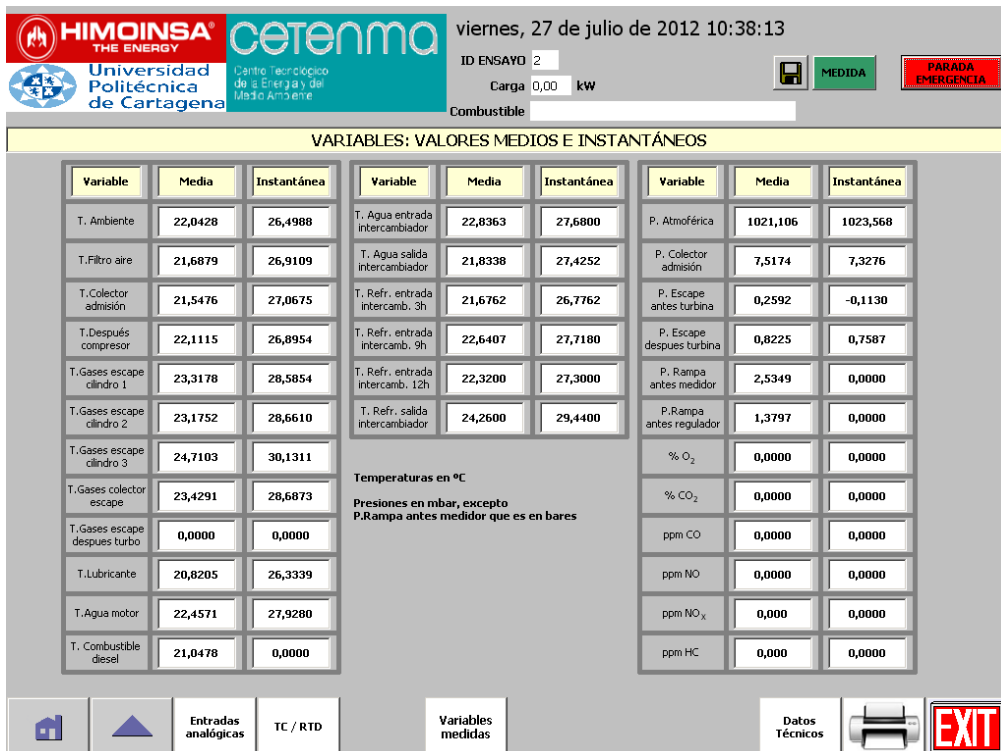


Ilustración 34. Promedios.

22. “*Datos técnicos*” especificación técnica del motor, pudiendo meter varios motores para poder usar el mismo programa para todos ellos y no tener un programa para cada uno.

HIMOINSA THE ENERGY cetenma viernes, 27 de julio de 2012 10:39:01
 Universidad Politécnica de Cartagena Centro Tecnológico de la Energía del Medio Ambiente

DATOS TÉCNICOS

CARACTERÍSTICAS MOTOR		CARACTERÍSTICAS ALTERNADOR	
FABRICANTE	VANMAR	FABRICANTE	STAMFORD
MODELO	3TNV88-GGE	MODELO	BCI 184 E1
POTENCIA NOMINAL	12,2 kW a 1500 rpm	NÚMERO DE POLOS	4
POTENCIA EMERGENCIA	13,2 kW a 1500 rpm	TIPO DE CONEXIÓN	ESTRELLA-SERIE
VÁLVULAS POR CILINDRO	2	TIPO ACOPLAMIENTO	SAES-7.1/2
TIPO MOTOR	Diesel 4 tiempos	AISLAMIENTO	CLASE H
TIPO INYECCIÓN	Inyección Directa	GRADO DE PROTECCIÓN	IP23
TIPO DE ASPIRACIÓN	0	FASE	3+N
REGULADOR		EXCITADOR	A.V.R. (ELECTRÓNICO)
FILTRO DE AIRE		CORRIENTE MANTENIDA	3In
NÚMERO DE CILINDROS	3	PRECISIÓN DE TENSIÓN	+1.5% fdp 0.8
DIÁMETRO x CARRERA	88 x 90 mm		
CILINDRADA TOTAL	1642 cc		
REFRIGERACIÓN			
RATIO DE COMPRESIÓN	19,1		

Selección MOTOR
SELECCIÓN ALTERNADOR

Entradas analógicas
TC / RTD
Variables medidas
Medias
Datos Técnicos
EXIT

Ilustración 35. Datos técnicos.

23. IMPRESORA imprime .pdf con los valores medios del ensayo.

24. “Exit” salida del programa.

5.3 USO DE LA APLICACIÓN EN EL PROGRAMA DE ENSAYOS.

Seguidamente pinchamos sobre el icono de la aplicación, cuando salga la pantalla inicial pinchamos en “*Variables medidas*” y estaremos en la pantalla principal de nuestro ensayo.

Una vez aquí lo primero que tenemos que hacer es comprobar que todo está correcto, los sensores conectados en su canal correspondiente, que la báscula esté calibrada y llena de combustible para que no se tenga que hacer el ciclo de llenado durante el tiempo de registro de datos en el ensayo.

Ahora arrancamos el motor y para observar si ocurre alguna anomalía es aconsejable ir guardando los instantes en los que no estemos ensayando y el motor este encendido, para ello un ejemplo sería poner el número del ID “0” y darle al icono del

disquete y ya se estará creando un archivo .csv guardándose en él todo lo que hace el motor mientras estamos en los trabajos preparatorios del ensayo. A la hora de ensayar ponemos otro ID cualquiera, por ejemplo, el “1”, abrimos la válvula hasta el porcentaje que deseemos y pinchamos en “medida”, ahora el programa ha creado otro .csv guardando el ensayo que estamos efectuando.

Una vez finalizado el ensayo volvemos a poner el ID “0” y el programa sigue guardando en la fila siguiente donde se había quedado anteriormente. Una vez hecho el ensayo, paramos de guardar, creándose un archivo .csv.

Para encontrar dicho archivo, nos tenemos que ir al escritorio y pinchar en Filezilla Client, metemos la IP donde pone “Servidor” 192.168.1.165 y buscamos el archivo en la ventana derecha (1), su nomenclatura es ID_FECHA. Seleccionamos el archivo y lo arrastramos a la ventana sitio local (2) a la carpeta en la cual lo queramos guardar. Finalmente nos dirigimos a dicha carpeta en la que ha sido guardado y cambiamos el formato a *libro de excell*. En los .csv el estado del ensayo siempre va a estar en estado 1 y el número de ensayo es el *ID* que le hemos puesto en el programa.

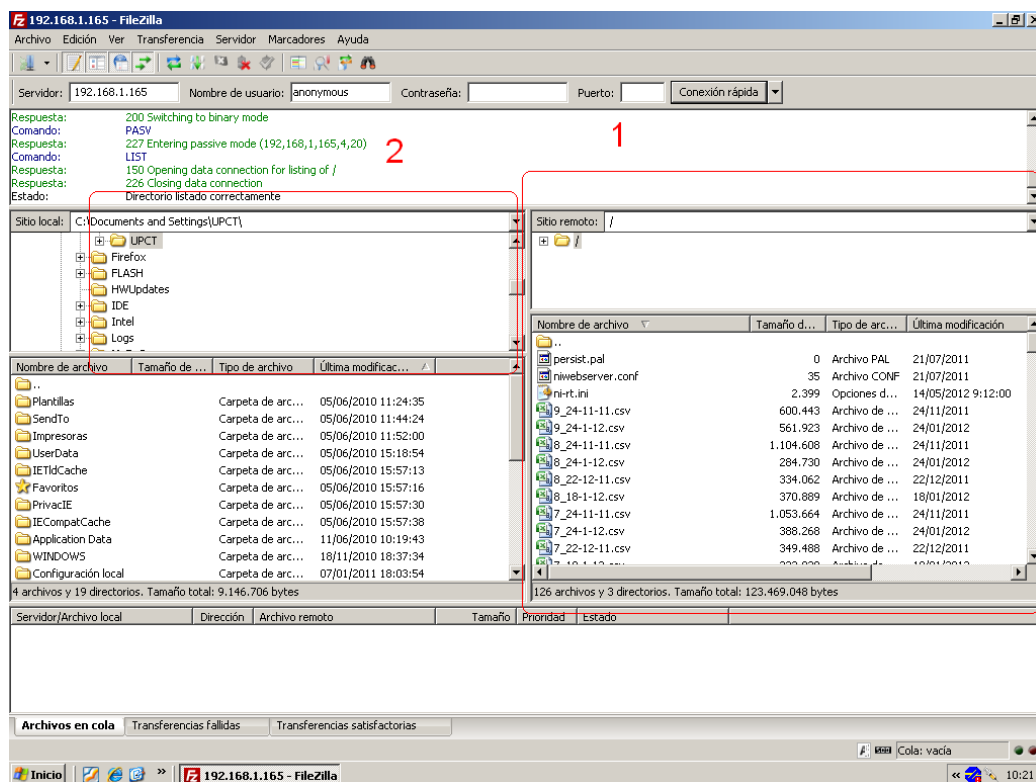


Ilustración37: Ventana de ubicación del excell resultante.

En MSEXcel podemos hacer un análisis estadístico de los datos, nosotros requerimos el valor medio, para el posterior cálculo de los parámetros motor.

Para generar un documento en *.pdf* con los valores medios de los variables registradas tenemos que pinchas sobre el icono *IMPRESORA*.

5.4 TRATAMIENTO DE DATOS

A partir de las medidas realizadas una vez promediadas han sido introducidas en la hoja de cálculo de las referencias **[2]** y **[3]** para calcular los parámetros de motor, dichas horas de cálculo se recogen en los anexos correspondientes.

A la hora de realizar el “data reduction”, se realizará el promedio de los datos en el momento en el que estos se estabilicen, no en todo el intervalo medido en cada modo de funcionamiento, tal y como se observa en el gráfico.

Por último deberemos realizar un tratamiento de datos para la adquisición de los registros del PLC de consumo combustible, los pasos a seguir han sido:

1. Identificación de los puntos del ensayo mediante la hora. Los relojes de ambos sistemas de adquisición de datos estarán sincronizados PLC's.
2. En cada intervalo de tiempo correspondiente a cada punto del ensayo graficamos el tiempo en minutos frente al peso en gramos, en un gráfico de dispersión xy.
3. Se ajusta una recta de regresión lineal a los datos.
4. En el caso del registro del peso del combustible se obtiene una línea de tendencia con pendiente negativa que representa el consumo de combustible. Dicha pendiente saldrá negativa, ya que el peso de la báscula disminuye con el tiempo, pues bien, dicho valor de pendiente, cambiado de signo, será el consumo promediado en (g/h) en el punto ensayado.

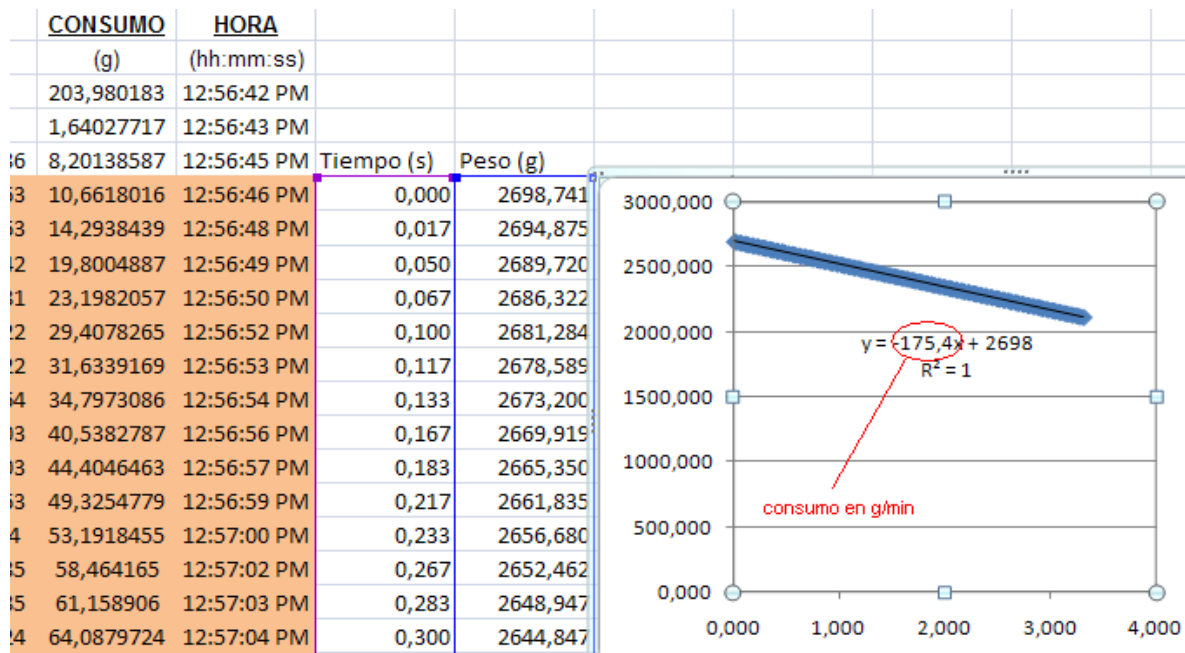


Ilustración 38. Determinación del consumo de combustible diésel.

En el siguiente gráfico podemos observar el consumo del combustible diésel en el ensayo realizado que se ha representado con el registro del peso del combustible.

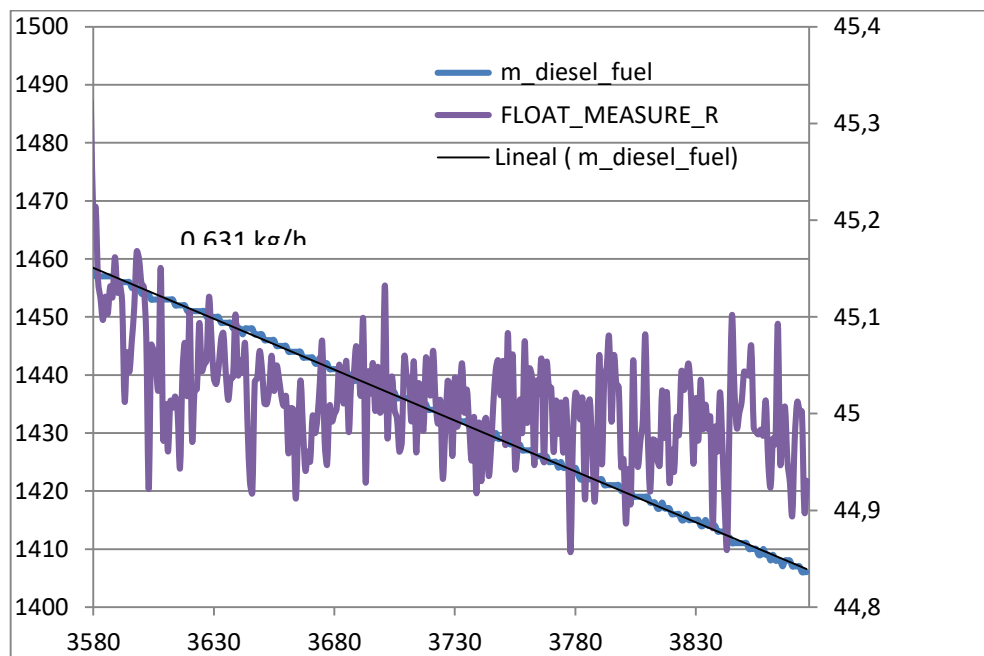


Gráfico 1. Consumo de combustible Diésel

A continuación, observamos en la siguiente ilustración cómo evoluciona de forma comparativa el consumo del combustible diésel con el consumo gas combustible en el ensayo con funcionamiento en modo dual diésel-gas.

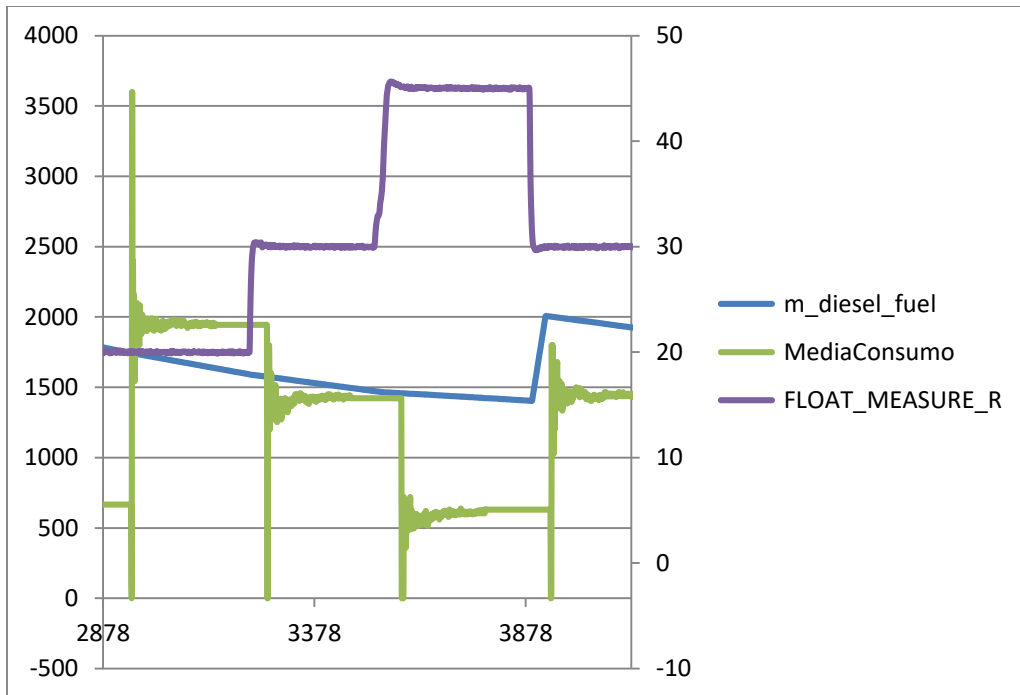


Gráfico 2. Consumo de combustible diésel con el gas en modo dual diésel-gas.

6. RESULTADOS DEL ENSAYO

En este apartado se resumen los resultados obtenidos en los ensayos definidos en el apartado anterior

6.1 ENSAYOS DE FUNCIONAMIENTO EN MODO DIÉSEL

TABLA DE PROPIEDADES DEL GA

PROPIEDAD		Gasóleo A	
PARÁMETRO	MÉTODO DE ENSAYO	Especificación GOA (R.D. 1088/2010))	Analíticas GOA
Densidad (15°C)	UNE EN 3675	820 - 845 kg/m ³	840 kg/m ³
Viscosidad cinemática (40°C)	UNE EN 3104	2 - 4,5 mm ² /s	2,67 mm ² /s
Destilación pto. inicial 50% recogido pto. Final	UNE EN 3405	<360 °C	162 °C 251 °C 309 °C
Índice de cetano	UNE EN 4264	>46	50
Azufre	UNE EN 24260	<10 mg/kg	7 mg/kg
Agua	UNE EN 12937	<200 mg/kg	109 mg/kg
Cenizas	ASTM D 482	<0,01 % m/m	0,001 % m/m
Contenido C			86,6 %m/m
Contenido H			13,4
PCS (MJ/kg)			45,64 MJ/kg
PCI (MJ/kg)			42,82 MJ/kg

Tabla 8. Propiedades del gasóleo.

En cuanto a las condiciones de ensayo comentar que la temperatura del aire en el ensayo con las diferentes muestras de gasóleo EN-590 era aprox. 26, la presión atmosférica fue de 103 kPa. La temperatura del combustible se mantenía en 30°C, la temperatura del agua del refrigerante del motor se mantuvo en 72 °C y la temperatura del lubricante en 84°C; en los ensayos.

EN-590	
Condiciones de ensayo	Valor medio (°C)
Temperatura aire ambiente	26,1
Temperatura agua motor	71,8
Temperatura lubricante	83,9
Temperatura combustible	30,0

Tabla 9. Puntos del ciclo de ensayos para EN-590

Se ha estimado la potencia en el eje del cigüeñal del motor a partir del rendimiento del alternador. Esta potencia además ha sido corregida a condiciones de ensayo ISO del aire de admisión (298k y 99kPa de presión de aire seco). En la Tabla 10 se muestra la correspondencia entre el valor de potencia ajustado en el ensayo.

		Combustible EN590	
% Carga referencia	Potencia referencia (kW)	Potencia ensayo(kW)	% Carga ensayo
10%	1,90	1,9	14,7%
25%	3,53	3,5	27,3%
50%	6,85	6,9	53,1%
75%	10,05	10,0	77,9%
100%	13,38	13,4	103,7%

Tabla 10. Puntos del ciclo de ensayos Combustible EN590 definidos a 1500rpm

La velocidad de giro del motor a la carga más baja es de 1550 rpm y en la máxima carga de 1498 rpm, esto es debido al comportamiento de la acción de control del regulador mecánico de sincronismo del grupo motor-alternador. Al ser las revoluciones constantes para cada modo de ensayo par efectivo sigue el mismo patrón que la potencia. El par efectivo del motor varía desde una la mínima carga de 90 kPa una presión media efectiva (pme) a una presión a una carga máxima de 653 kPa de pme para EN590.

% Carga referencia	rpm (rpm)	EN590	
		Par (Nm)	pme(kPa)
10%	1550	11,7	89,4
25%	1538	21,9	167,5
50%	1528	42,8	327,7
75%	1514	63,4	485
100%	1498	85,3	652,5

Tabla 11. Par y pme motor en los diferentes modos de ensayo para EN-59

Los parámetros calculados del ensayo con funcionamiento diésel EN-590 se presentan a continuación

Modo de ensayo	-	10%	25%	50%	75%	100%
Velocidad de giro del motor, n	rpm	1550	1538	1528	1514	1498
Par, potencia, presión media efectiva y consumo específico de combustible		10%	25%	50%	75%	100%
Par efectivo, M _e	Nm	11,7	21,9	42,8	63,4	85,3
Potencia, W _e	kW	1,9	3,5	6,9	10,0	13,4
Presión media efectiva, p _{me}	kPa	89,37	167,49	327,68	485,00	652,48
Consumo específico equivalente a EN-590, g _{ef}	g/kWh	465,34	316,58	239,05	216,79	216,65
Consumo específico, V _{ef}	l/kWh	0,56	0,38	0,29	0,26	0,26
Potencia y par corregidas, y consumo específico corregido		10%	25%	50%	75%	100%
Presión vapor saturado, p _{s,ens}	mbar	28,50	30,17	33,60	36,30	42,43
Presión vapor, phi*p _{s,ens}	mbar	8,85	8,92	9,31	9,40	9,94
Presión aire seco, p _{ens-phi*p_{s,ens}}	mbar	1022,45	1022,70	1022,88	1022,96	1023,07
caudal unitario de combustible, q _c	mg/ciclo-l	12,57	16,02	23,67	31,77	42,71
fa	-	0,969	0,973	0,982	0,989	1,002
fm	-	0,2	0,2	0,2	0,2	0,4
Factor de corrección, alfa-a	-	0,994	0,995	0,996	0,998	1,001
Potencia corregida, W _{e,corr}	kW	1,88	3,51	6,83	10,02	13,39
Par corregido, M _{e,corr}	Nm	11,60	21,77	42,66	63,23	85,32

Tabla12. Prestaciones y consumo para ensayo con Gasóleo EN-590

Los resultados obtenidos del balance energético se presentan a continuación.

Balance energético		10%	25%	50%	75%	100%
Potencia térmica de la combustión de combustible, m _f H _f	kW	10,49	13,27	19,48	25,91	34,47
	%	100%	100%	100%	100%	100%
Potencia efectiva del motor, We	kW	1,90	3,53	6,85	10,05	13,38
	%	18,07%	26,56%	35,17%	38,78%	38,81%
	%	18,07%	26,56%	35,17%	38,78%	38,81%
Calor sensible de gases de escape, H _{esc,w}	kW	2,97	3,74	5,59	7,54	10,31
	%	28,35%	28,16%	28,70%	29,09%	29,90%
	%	46,42%	54,71%	63,87%	67,87%	68,71%
Energía debida al contenido de inquemados es escape, H _{inq}	kW	0,534	0,547	0,601	0,648	0,447
	%	5,091%	4,120%	3,084%	2,500%	1,297%
	%	51,51%	58,83%	66,95%	70,37%	70,01%
Calor disipado en sistema refrigeración, Q _{ref} +Q _{lub}	kW	5,59	23,42	10,33	13,20	18,22
	%	53,29%	176,39%	53,03%	50,97%	52,84%
	%	104,80%	117,56%	119,98%	121,34%	122,85%
Otros flujos de energía, E _{otras}	kW	0,50	28,88	3,89	5,53	7,88
	%	4,80%	217,56%	19,98%	21,34%	22,85%
	%	100%	100%	100%	100%	100%

Tabla 13. Balance energético del ensayo con Gasóleo EN-590

De los diferentes ensayos con el combustible EN-590 se ha obtenido un consumo específico de combustible promedio para los diferentes grados de carga del motor. En el gráfico siguiente veremos como el consumo específico en g/kWh del combustible EN-590 va disminuyendo a medida que aumenta el grado de carga en el ensayo.

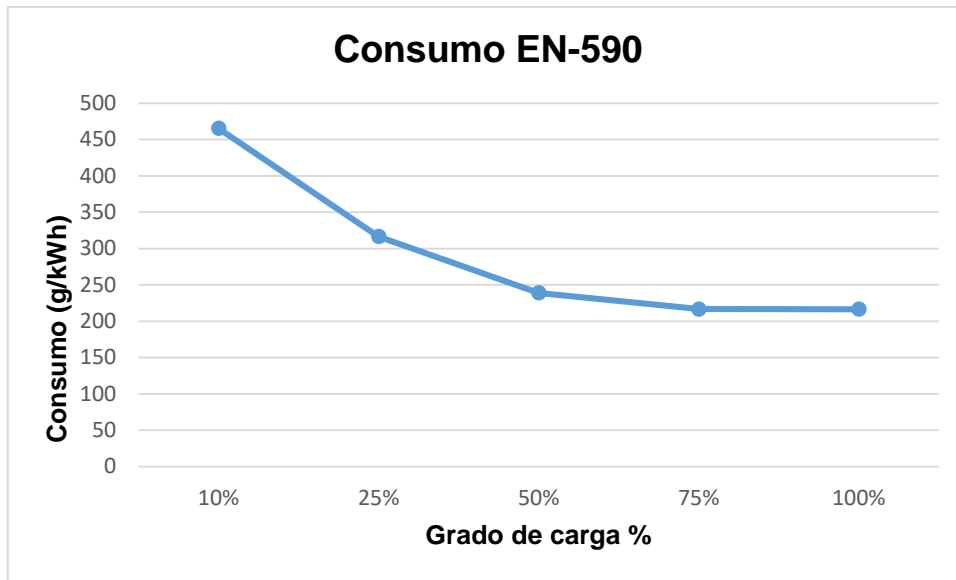


Gráfico3. Consumo en el ensayo Gasóleo EN-590

En la siguiente tabla se muestra las emisiones específicas de gases contaminantes de CO y NOx en g/kWh. Las emisiones de NOx son las que menos van disminuyendo con el grado de carga%.

Carga del motor		10%	25%	50%	75%	100%
CO	g/kWh	12,19	7,24	3,31	2,05	2,36
NOx	g/kWh	9,25	6,46	5,57	5,51	5,37

Tabla 14. Emisiones específicas de gases contaminantes en el ensayo con Gasóleo EN-590

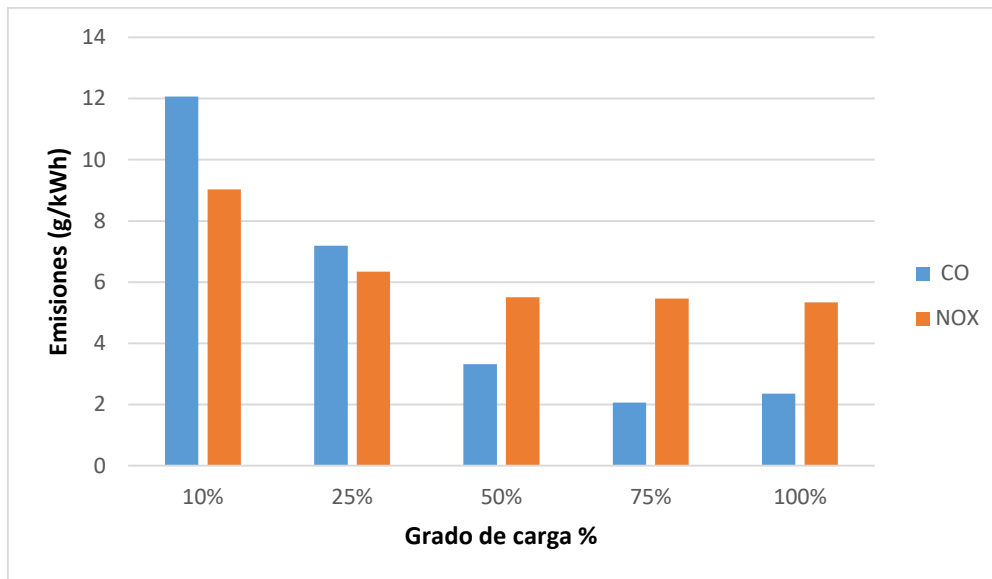


Gráfico 4. Emisiones específicas CO, NOX, del combustible EN-590

6.2 ENSAYOS DE FUNCIONAMIENTO EN MODO DUAL

En cuanto a las condiciones de ensayo comentar que la temperatura del aire en el ensayo con las diferentes muestras de era aprox. 39°C, la presión atmosférica fue de 103 kPa. La temperatura del combustible se mantenía en 40°C, la temperatura del agua del refrigerante del motor se mantuvo en 74 °C y la temperatura del lubricante en 93°C; en los ensayos.

Ensayo dual	
Condiciones de ensayo	Valor medio (°C)
Temperatura aire ambiente	39,1
Temperatura agua motor	73,6
Temperatura lubricante	92,6
Temperatura combustible	39,9

Tabla 15. Puntos del ciclo de ensayos de funcionamiento en modo dual

La potencia eléctrica promedio calculada en el ensayo es de 12 kW y la frecuencia de la energía eléctrica es aproximadamente 50 Hz. Se ha calculado la potencia en el eje del cigüeñal del motor a partir del rendimiento del alternador obteniéndose una potencia de 13,4 kW. El ensayo en dual se hizo a la misma potencia del motor (100% de carga) y diferentes % de sustitución.

Se ha estimado la potencia en el eje del cigüeñal del motor a partir del rendimiento del alternador. Esta potencia además ha sido corregida a condiciones de ensayo ISO del aire de admisión (298k y 99kPa de presión de aire seco). Aunque la potencia del motor permanece invariable en 13.4 kW, la velocidad de giro no es exactamente constante ya que depende de la regulación de velocidad del motor en base al control de la cantidad inyectada de combustible, en el caso de motor dual el gas inyectado provoca que la cantidad a inyectar de gasóleo sea equivalente a la de bajas cargas por lo cual el régimen de giro es el característico de estas cargas algo mayor de 1500 rpm. En consecuencia al ser el régimen de giro algo superior en comparación con el funcionamiento diésel el par motor, o lo que es lo mismo la presión media efectiva, es inferior ya que los ensayos son a igualdad de potencia.

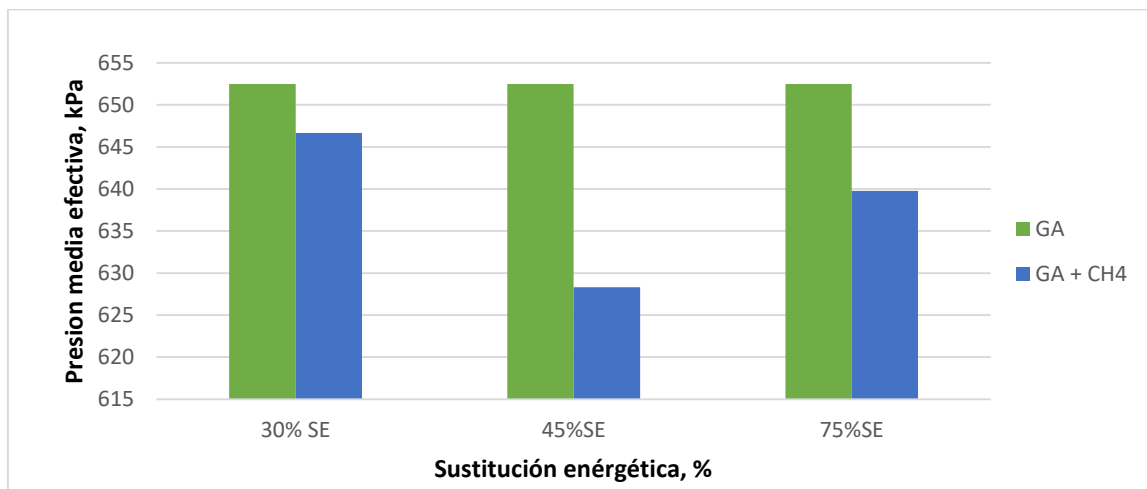


Gráfico 5. Presión media efectiva

Los parámetros calculados del ensayo con funcionamiento diésel se presentan a continuación.

Modo de ensayo	-	100%	100%	100%
Velocidad de giro del motor, n	rpm	1515	1525	1557
Par, potencia, presión media efectiva y consumo específico de combustible		100%	100%	100%
Par efectivo, M _e	Nm	83,6	83,6	82,1
Potencia, W _e	kW	13,4	13,4	13,4
Presión media efectiva, p _{me}	kPa	646,67	639,77	628,32
Consumo específico equivalente a EN-590, g _{ef}	g/kWh	221,14	220,12	216,18
Consumo específico, V _{ef}	l/kWh	0,17	0,13	0,05
Potencia y par corregidas, y consumo específico corregido		100%	100%	100%
Presión vapor saturado, p _{s,ens}	mbar	61,54	69,22	70,34
Presión vapor, $\phi \cdot p_{s,ens}$	mbar	32,65	31,49	32,65
Presión aire seco, $p_{ens} - \phi \cdot p_{s,ens}$	mbar	996,45	997,64	996,58
caudal unitario de combustible, qc	mg/ciclo-l	28,37	20,87	8,34
fa	-	1,054	1,064	1,067
fm	-	0,2	0,2	0,2
Factor de corrección, alfa-a	-	1,011	1,013	1,013
Potencia corregida, W _{e,corr}	kW	13,55	13,52	13,56
Par corregido, M _{e,corr}	Nm	85,40	84,65	83,17

Tabla 16. Potencia y consumo en el ensayo con motor dual diésel- gas

En la tabla siguiente se indican los resultados balance energético.

Balance energético		100%	100%	100%
Potencia térmica de la combustión del combustible, $m_f H_f$	kW	35,26	34,96	34,43
	%	100%	100%	100%
Potencia efectiva del motor, We	kW	13,40	13,35	13,39
	%	38,02%	38,19%	38,89%
	%	38,02%	38,19%	38,89%
Calor sensible de gases de escape, $H_{esc,w}$	kW	9,83	10,26	10,06
	%	27,90%	29,33%	29,22%
	%	65,91%	67,53%	68,11%
Energía debida al contenido de inquemados es escape, H_{inq}	kW	0,384	0,444	0,427
	%	1,090%	1,269%	1,242%
	%	67,00%	68,80%	69,36%
Calor disipado en sistema refrigeración, $Q_{ref}+Q_{lub}$ + Calor radiado Q_{rad}	kW	11,63	10,91	10,55
	%	33,00%	31,20%	30,64%
	%	100%	100%	100%

Tabla 17. Balance energético del ensayo del motor en funcionamiento dual diésel-gas

Para los diferentes niveles de sustitución energética utilizados, no se ha observado prácticamente pérdida de eficiencia energética.

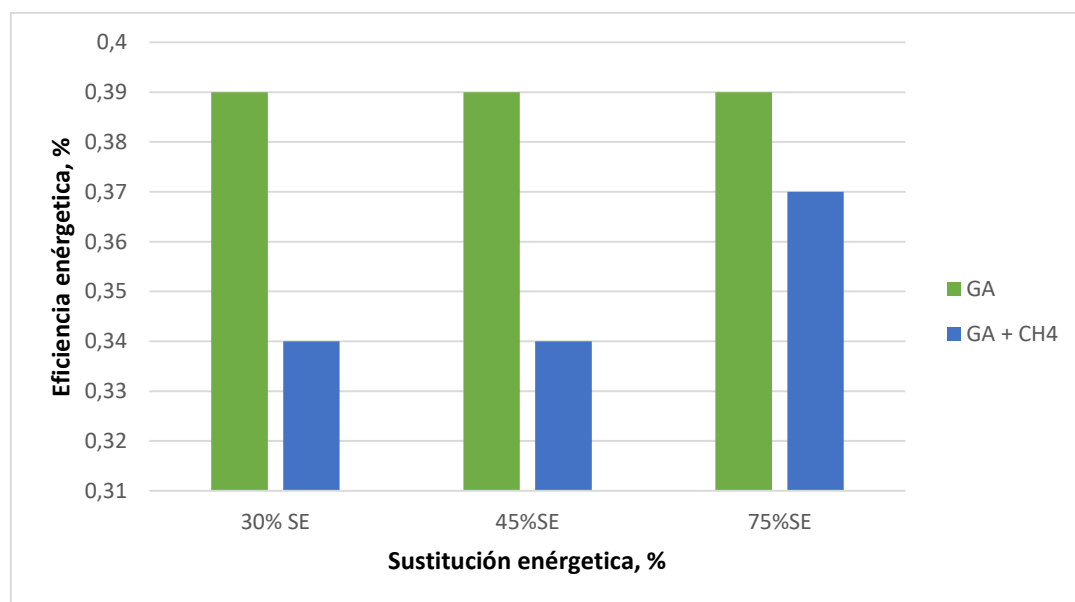


Gráfico 6. Eficiencia energética

Otra forma de indicar la eficiencia energética es mediante el consumo específico de combustibles equivalente a Gasóleo A, lo que permite una comparación más directa con la forma habitual de expresar el consumo en los motores diésel.

Carga del motor	100%	100%	100%	100%
% sustitución energética	0	30	45	75
Consumo específico promedio equivalente a GA	216,65	221,14	220,12	216,18

Tabla 18. Consumo específico (g/kWh) y % sustitución energética en dual

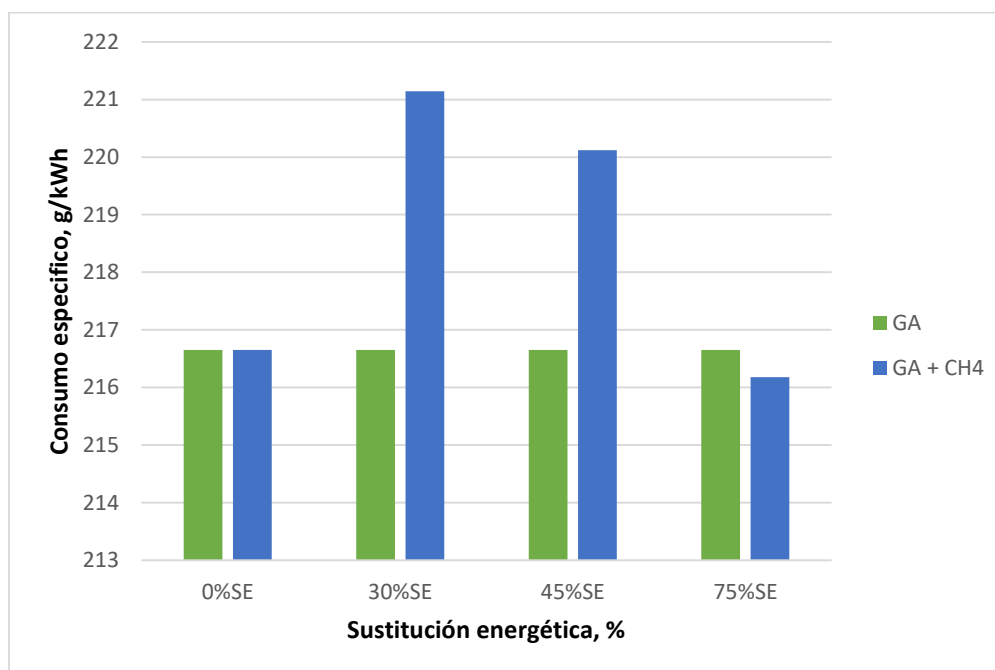


Gráfico 7. Consumo específico equivalente a gasóleo

La emisión de dióxido de carbono a la atmósfera se ha obtenido a partir de la analítica de CO₂ en los gases de escape. La emisión específica en g/kWh se ve reducida con el incremento de la sustitución energética del Gasóleo ya que el contenido total en carbono del combustible es menor.

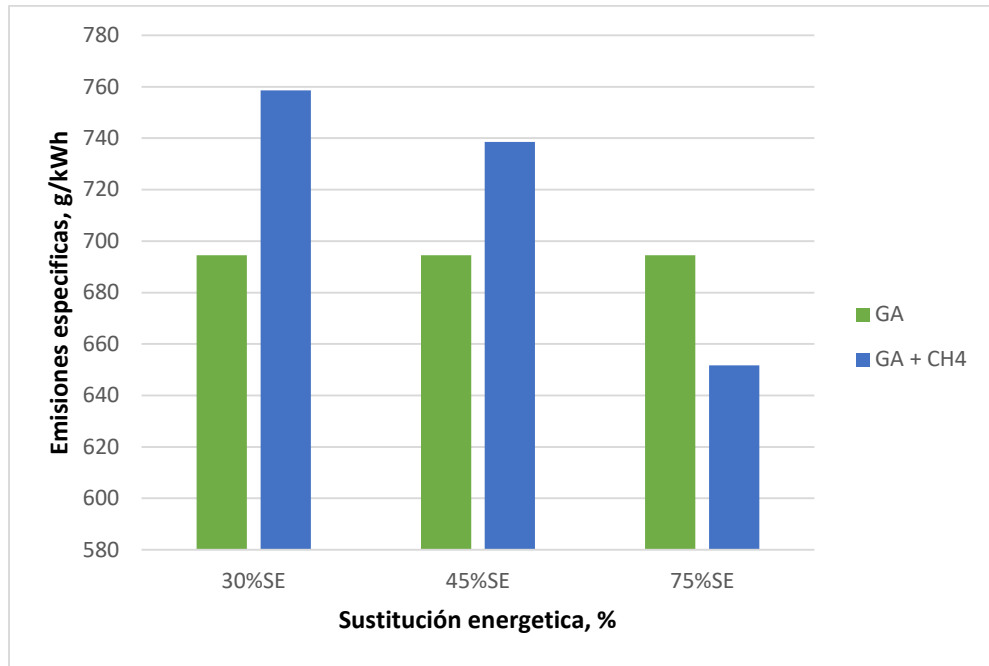


Gráfico 8. Emisiones específicas CO2

En funcionamiento en “diésel-dual” la temperatura de los gases de escape medida en la salida de la válvula de escape del cilindro 1 (cilindro donde se ha realizado el análisis de la combustión) es inferior al funcionamiento diésel. Conforme se incrementa la sustitución energética por combustible gaseoso, la temperatura de los gases es menor, llegando a descensos de 25 °C con sustituciones energéticas del 75%.

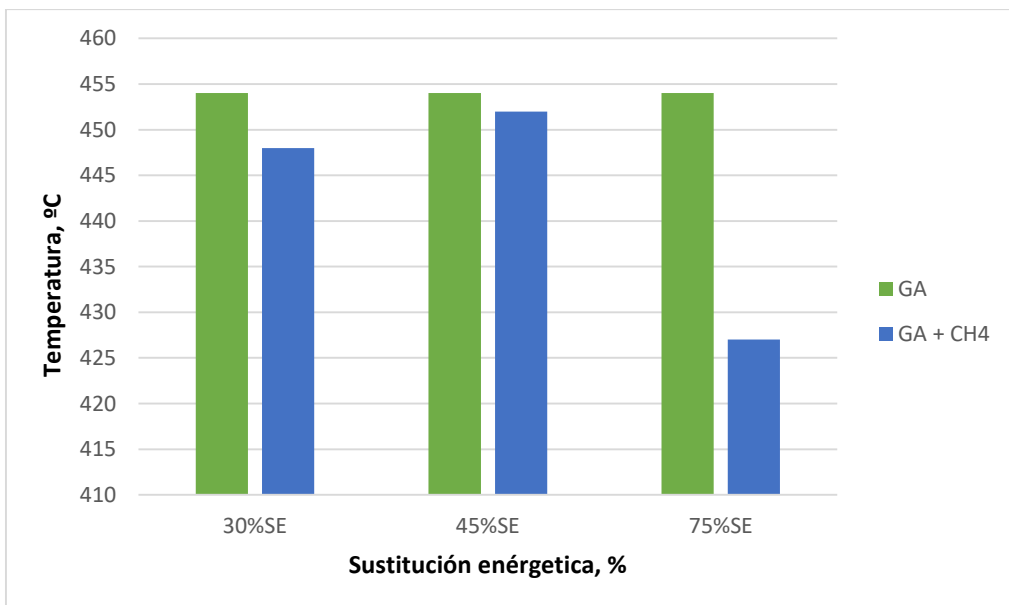


Gráfico 9. Temperatura gases de escape cilindro 1

En la siguiente tabla se muestra las emisiones específicas de CO y NOx en g/kWh.

Carga del motor	100%	100%	100%
% Sustitución energética	30	45	75
CO g/kWh	6,56	7,21	6,37
NOx g/kWh	4,60	5,02	5,14

Tabla 19. Emisiones específicas en modo dual gasóleo

En funcionamiento motor dual, las emisiones de NOx aumentan ligeramente, no superando en ningún caso los 0'5. Este incremento se da en el caso de CH4 y CH4. A alto nivel de sustitución energética (75%) se observa un ligero descenso con respecto a los otros niveles de sustitución.

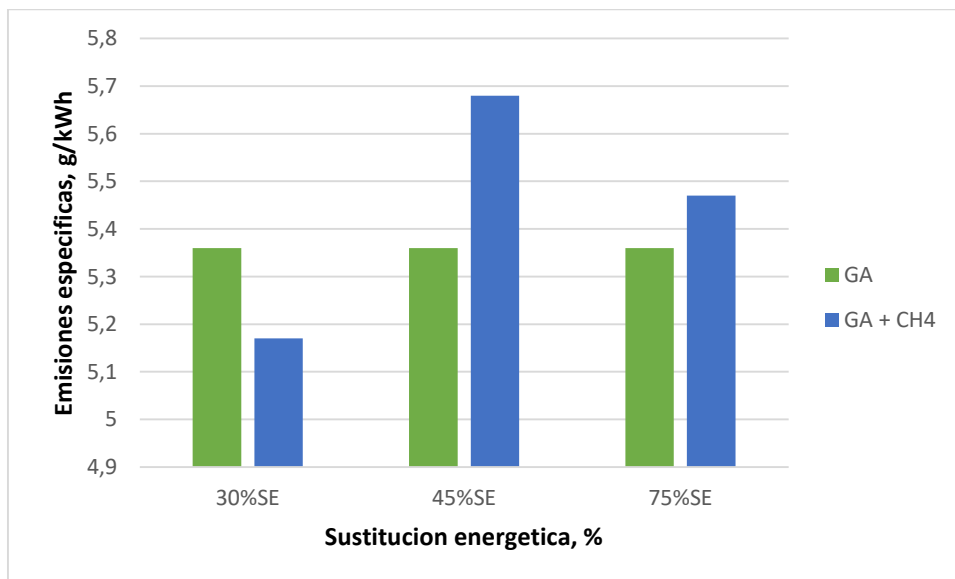


Gráfico 10. Emisiones específicas NOx.

La formación de monóxido de carbono se ve altamente incrementada en el modo “diésel-dual”, incluso con bajos niveles de sustitución energética.

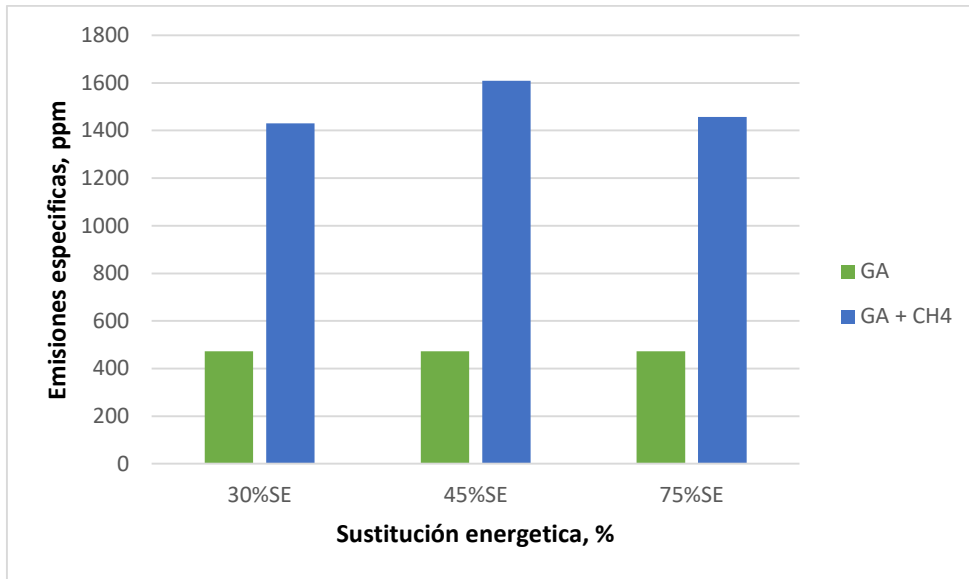


Gráfico 11. Emisiones CO en ppm.

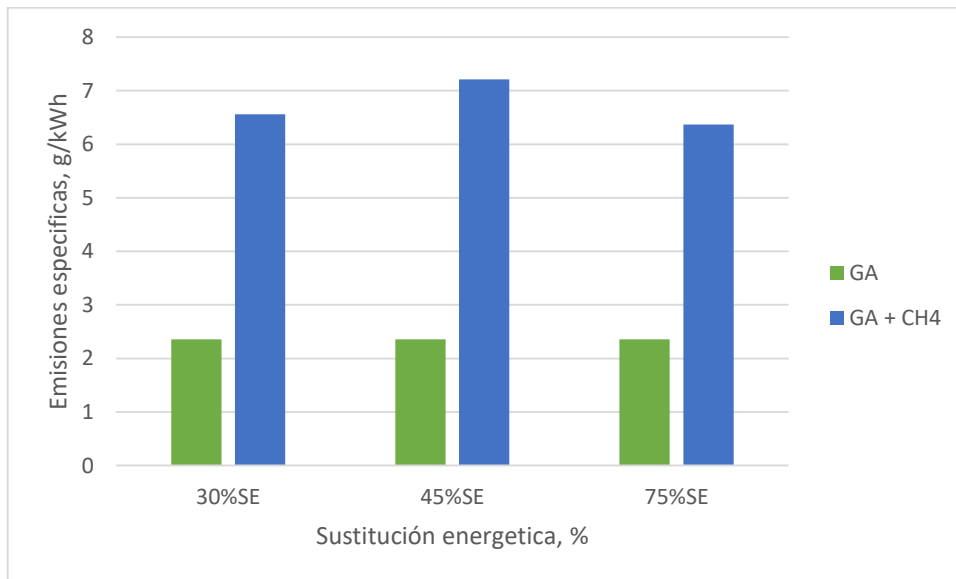


Grafico 12: Emisiones específicas CO en g/kWh

Como resultado más significativo se observa una reducción en la opacidad de los gases de escape, nivel de ennegrecimiento de los gases de escape, esta reducción es muy significativa para porcentaje de sustitución energética del 75%.

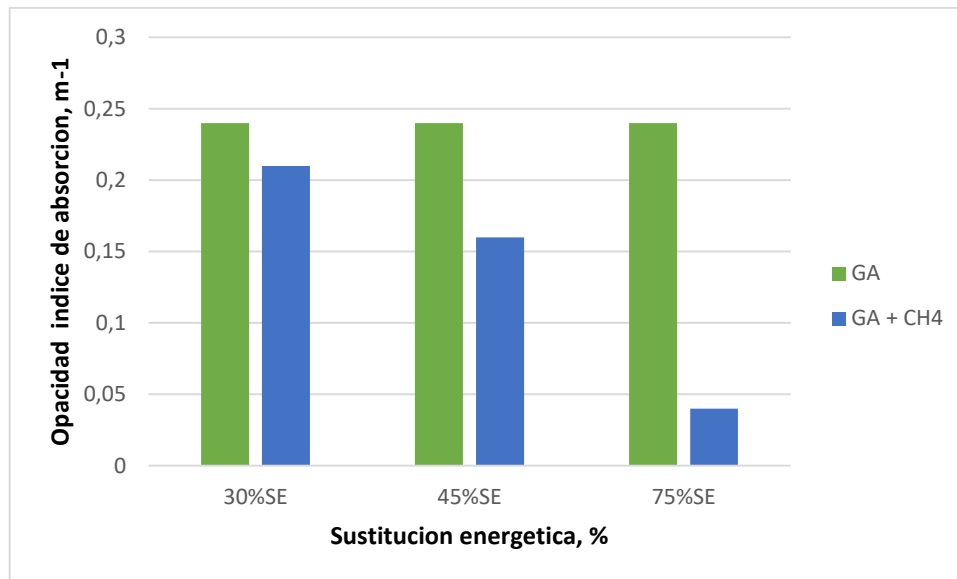


Gráfico13. Opacidad en humos. m-1

7. ESTUDIO COMPARATIVO RESULTADOS DE PRESTACIONES Y EMISIONES DIÉSEL GÁSOLEO VS DUAL DIESEL GASOLEO MAS METANO

De los ensayos realizados en modo dual (con inyección de gas natural en la admisión), se resumen en este apartado los resultados obtenidos en los ensayos del grupo electrógeno funcionando al 100% de carga del motor con la mayor sustitución de combustible alcanzada sin que afecte de forma significativa a la estabilidad de la combustión.

En el funcionamiento del motor en modo “diesel-dual” se ha ensayado con diferentes sustituciones del combustible diésel por gas combustible y manteniendo constante la potencia del motor. Se ha definido esta sustitución como el cociente entre la energía aportada por el combustible gaseoso y la energía total combinada aportada por ambos combustibles, y se ha expresado en forma porcentual como %SE.

Con estos resultados se puede realizar una primera evaluación del comportamiento del motor funcionando en modo dual tanto con combustible diésel, comparando el resultado al 100% de carga en diésel con la mayor sustitución energética

en modo dual comparando el resultado al 100% de carga en diésel con la mayor sustitución energética en modo dual.

Los resultados son los siguientes:

MODOS DE ENSAYO	% SE ¹	Consumo Especifico (gr/kWh) Ecu.Diesel	CO (g/kWh)	Eficiencia %	CO ₂ (gr/kWh)	NO _x (gr/kWh)	PM (gr/kWh)
GA 100	0%	216,65	2,36	38,81%	690,7	5,34	0,00
GA + CH4 75% de sustitución	73,7 5%	229,55	6,82	36,62%	651,72	5,48	0,09

Los resultados pueden haberse visto influenciados porque la temperatura del aire en el caso del ensayo con motor dual es 10°C mayor.

Como se observa en los resultados, se ha alcanzado porcentajes de sustitución energética del 74% para funcionamiento dual, no afectando de forma significativa a la eficiencia energética, ya que tenemos el mismo consumo específico equivalente al GA.

Se observa un aumento importante en inquemados representados por el CO y es debido a que se produce una combustión incompleta. Es de suponer un incremento en la emisión de hidrocarburos por la no combustión del gas inyectado pero esto requiere el análisis en los gases de escape de los HC.

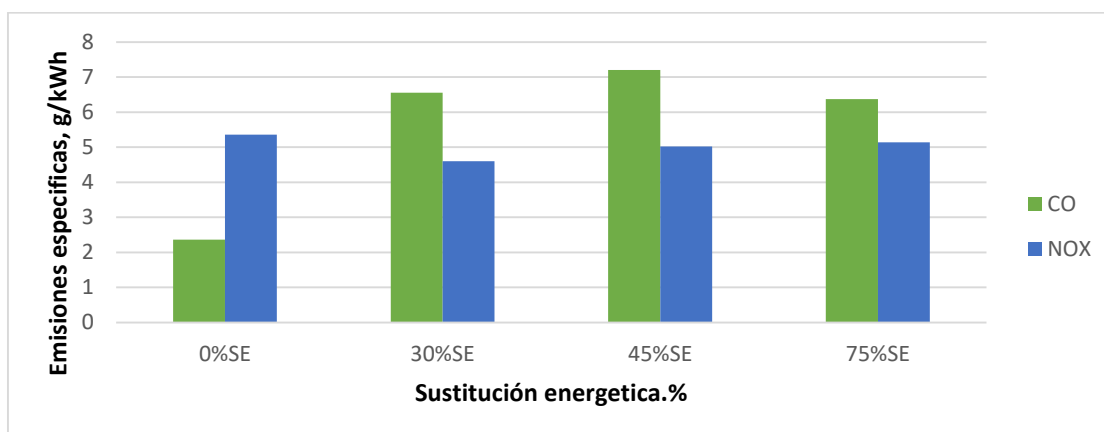


Gráfico 14. Las emisiones específicas de CO y NOx en modo dual.

8. CONCLUSIONES

Con el motor a plena carga se ha llegado a niveles de sustitución energética del gasóleo por metano del 75 % manteniéndose la eficiencia energética en el 38 %, muy superior a los que se obtendría con un motor a gas de encendido provocado.

Las emisiones específicas de dióxido de carbono (CO₂) se reducen conforme se incrementan la cantidad de metano como combustible debido al menos contenido de carbono en el combustible y que se mantiene el rendimiento efectivo del motor.

La formación de NO_x se reduce ligeramente y la formación de inquemados de monóxido de carbono (CO) se incrementa en el modo de funcionamiento “diésel-dual”. Como resultado más significativo en cuantos a emisiones es la disminución de la opacidad de los gases de escape.

La conversión de un motor diésel a un motor dual no supone una transformación compleja del motor, sino más bien la instalación de una serie de sistemas complementarios, lo que convierte a este motor en una opción económica frente a otras transformaciones posibles. Otra ventaja de este sistema dual es que el motor puede funcionar únicamente con gasóleo, de la misma manera que lo hacía antes de la conversión. funcionar únicamente con gasóleo, de la misma manera que lo hacía antes de la conversión.

9. REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

[1] J. Hernández Grau, J. M. Paredes, M. Ramírez Andreu; Informe Proyecto FUELGEN: Desarrollo y aplicación de un sistema para estudiar las prestaciones y análisis de la combustión en motores para grupos electrógenos diesel que utilicen combustibles alternativo; Ed. Centro Tecnológico de la Energía y Medio Ambiente (CETENMA), 2011.

[2] J. Hernández Grau, Apuntes de prácticas de la asignatura de Tecnología y Gestión Energéticas del Máster en Ingeniería Industrial de la UPCT, 2017.

[3] Hernández Grau, J.; Alarcón García, M.; Prácticas de Ingeniería Térmica. Ed. Diego Marín, 2005.

10. ANEXOS

10.1 GRUPO ELECTROGENO DE ENSAYO



H-YW
YANMAR

HYW-13 M5

Powered by:

3TNV 88 GGE

14,3 kVA at 50 Hz

Generating Set Performance		50 Hz	
SERVICE		Continuous Service	Intermittent Service
Rated output	kVA	13,0	14,3
Active power output *	kW	10,4 (0,8) - 10,0 (1)	11,4 (0,8) - 11,0 (1)
Rated speed	r.p.m.	1.500	
Standard Voltage	V	230	

Performance data refers to Standard Reference Conditions of ISO 8528: + 25 °C , 100 m ALT, relative humidity 30 %
During running-in period the output increases by approx. 5 % which is taken into consideration at delivery.
* Considering cos phi= 0,8 - 1

Prime Mover Performance		1.500 r.p.m.	
SERVICE		Continuous Service	Intermittent Service
Rated output	kW (CV)	12,2 (16,6)	13,2 (17,9)
Manufacturer		YANMAR	
Engine model		3TNV 88 GGE	
4 stroke Diesel Engine - Injection type		DIRECT	
Aspiration type		NATURAL	
Cylinders, number and arrangement		3 - L	
Bore x stroke	mm	88 x 90	
Total displacement	L	1,642	
Cooling system		WATER	
Lube oil specifications		CD, CE, CF	
Specific fuel consumption	gr/kW.h	-	
Specific oil consumption (at full load)		-	
Compression ratio		19,1	
Lube oil maximum capacity	L	6,7	
Lube oil minimum capacity	L	2,8	
Speed governor	Type	mechanical	
Air filter	Type	DRY light duty	

PRIME POWER (P.R.P.): The prime power is the maximum power available with varying loads for an unlimited number of hours. The average power output during a 24h period of operation must not exceed 80% of the declared prime power between the prescribed maintenance intervals and at standard environmental conditions. A 10% overload is permissible for 1 hour every 12 hours of operation.

STAND BY POWER: Is the maximum power available for a period of 500 hours/year with a mean load factor of 90% of the declared stand-by power. No kind of overload is permissible for this use.

Synchronous Generator *		
Póles	Nº	4
Winding connections (standard)		Star - serie
Frame mounting		SAE 4 7 ^{1/2} "
Insulation	class	H
Enclosure (according to IEC-34-5)		IP 23
Phases		1 + N
Voltage regulator		A.V.R. (electronic)
Steady voltage precision		within ± 1,5% from no load to full loading with cosφ=0,8+1

*Alternator used by HIMOINSA Generators meet the requirements of following Standard: IEC 34-1; CEI 2-3; ; VDE 0530; BS 4999-5000/NF 51-100,11

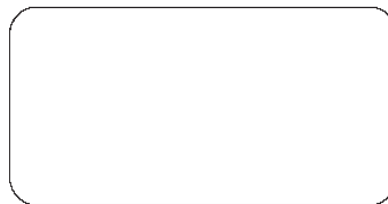


Generating Set Installation Data		1.500 r.p.m.
EXHAUST SYSTEM		
Max. exhaust temperature at full load	°C	-
	°F	-
Exhaust gas flow	Kg/h	-
Heat rejected to exhaust	Kcal/Kwh	-
Maximum allowed back pressure	mm / H2O	-
AIR REQUIREMENT		
Air requirement for combustion at 100% load / rated speed	m³/min	-
	ft³/min	-
ELECTRIC STARTING SYSTEM		
Starting motor output	kW	1,2
	CV	1,63
Minimum recommended battery capacity	Ah	12V - 40A
Auxiliary voltage	Vcc.	12
LIQUID CAPACITY		
Lube oil system including sump, filters, etc.	L	-
FUEL TANK CAPACITY		
Open Skid Genset	L	IN STUDY
Soundproofed	L	23

Generating Set transport data		
WEIGHT AND DIMENSIONS OPEN SKID GENSET		
Length	m - ft	IN STUDY
Width	m - ft	IN STUDY
Height	m - ft	IN STUDY
Shipping volume seaworthy (Standard supplier)	m³ - ft³	IN STUDY
Dry weight (with standard accessories)	kg - lb	IN STUDY
WEIGHT AND DIMENSIONS SOUNDPROOFED GENSET		
Length	m - ft	1,47 - 4,83
Width	m - ft	0,75 - 2,46
Height	m - ft	1,05 - 3,44
Shipping volume seaworthy (Standard supplier)	m - ft	1,16 - 40,87
Dry weight (with standard accessories)	kg - lb	691 - 1.520,2 *

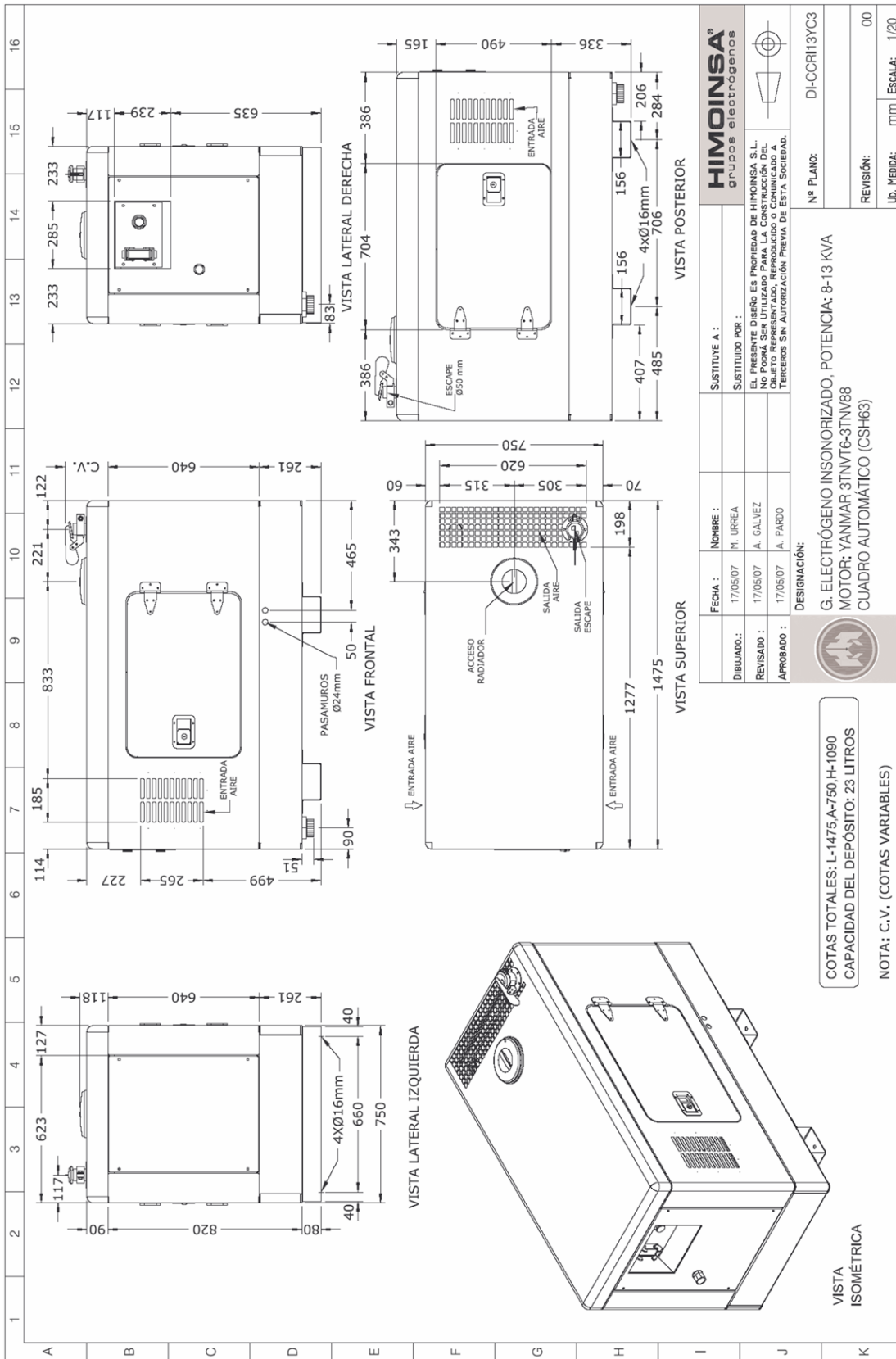
* The weights are approximate

Local distributor



Factory: Ctra. Murcia - San Javier, Km. 23,6
30730 SAN JAVIER (Murcia) España
Tel.+34 968 19 11 28 / +34 902 19 11 28
Fax +34 968 19 12 17 Export Fax +34968 19 04 20
info@himoinsa.com www.himoinsa.com





HIMOINSA grupos electrógenos	
SUSTITUIR A:	
DIBUJADO:	17/05/07 M. URREA
REVISADO:	17/05/07 A. GALVEZ
APROBADO:	17/05/07 A. PARDO
SUSTITUIDO POR : EL PRESENTE DISEÑO ES PROPIEDAD DE HIMOINSA S.L. NO PODRÁ SER UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DEL OBJETO REPRESENTADO, REPRODUCIDO O COMUNICADO A TERCEROS SIN AUTORIZACIÓN PREVIA DE ESTA SOCIEDAD.	
Nº PLANO: DI-CCR13YC3 Nº PLANO: DI-CCR13YC3	
DESIGNACIÓN: G. ELECTRÓGENO INSONORIZADO, POTENCIA: 8-13 KVA MOTOR: YANMAR 3TNV76-3TNV88 CUADRO AUTOMÁTICO (CSH63)	
REVISIÓN:	00
Ud. MEDIDA:	mm
ESCALA:	1/20

COTAS TOTALES: L-1475-A-750-H-1090
 CAPACIDAD DEL DEPÓSITO: 23 LITROS
 NOTA: C.V. (COTAS VARIABLES)



3TNV88

Engine Technical Data

Revision: 0

Unit	3TNV88-GGE
------	------------

General Data

Number of Cylinders	-	3
Engine Type	-	Inline, Water-Cooled, 4 Stroke Diesel
Bore x Stroke	mm x mm	88 x 90
Total Displacement	cc	1,642
Combustion type	-	Direct Injection
Aspiration	-	Natural Aspiration
Valves per Cylinder	-	2
Compression ratio	-	19.1
Firing Order	-	1-3-2

Performance Data

Net Intermittent Power	HP [kW] / rpm	21.7 [16.2]/1800, 17.7 [13.2]/1500
Net Continuous Power	HP [kW] / rpm	19.7 [14.7]/1800, 16.4 [12.2]/1500
Net Max Torque	ft-lb [Nm]/rpm	-
Low Idle Speed	rpm	1500+/-25
High Idle Speed	rpm	1895+/-25

Physical Data

Direction of rotation	-	Counter Clockwise (view from flywheel)
Length - Inches	Inches [mm]	23.46 [596]
Width - Inches	Inches [mm]	20.20 [513]
Height - Inches	Inches [mm]	26.18 [665]
Dry Weight	lbs [kg]	373 [169]

PTO System

Flywheel	-	Semi SAE #4
Flywheel Housing	-	Semi SAE #4 (105 mm Depth)
Gear Case	-	without SAE Hydraulic Pump Flange

Lubrication System

Inclination, Continuous	degrees	30
Inclination, 3 minutes Max.	degrees	35
Lubrication Oil Filter Type	-	Paper Element
Oil Capacity, Effective	Liters	2.8
Total System Capacity	Liters	6.7
Oil Change Interval, Hours	hr	250 (50, initial)
Recommended Oil Type	API	CD, CE, CF or higher grade

Cooling System

Fan Type	-	Pusher
Fan Diameter	Inches [mm]	14.17 [360]
Number of Blades	-	6
Fan Pulley Diameter	Inches [mm]	3.54 [90]
Crank Pulley Diameter	Inches [mm]	4.72 [120]

Fuel System

Fuel Filter Type	-	Paper Element
Fuel Injection Pump Type	-	Distributor Type
Water Separator (Standard)	-	Mesh size: 100-mesh/inch, water reservoir 150 cc

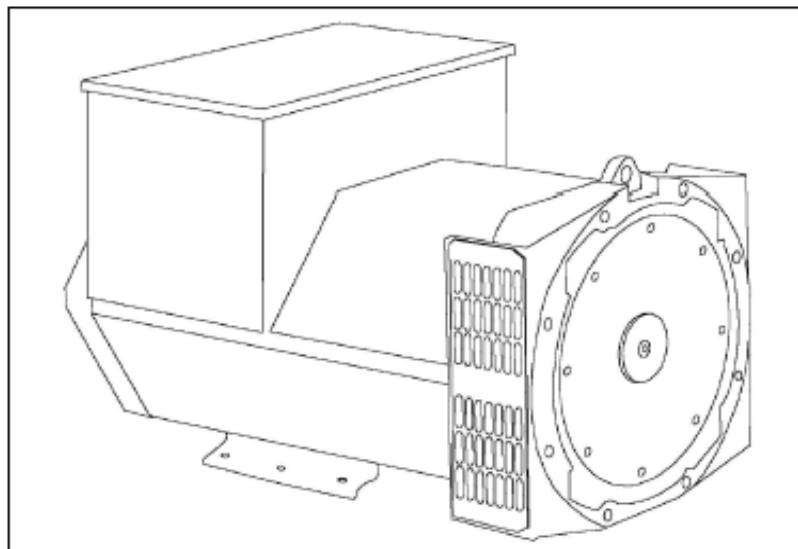
Electrical System

System Voltage	Volts	12 V
Electric Stop Device	-	Stop Solenoid
Alternator	-	12V-40A
Starting Aid Device	-	Air Heater, 12V 400W
Standard pre-heat time	Seconds	15
Starting Motor Type	-	Reduction
Starting Motor Power	kW	1.2

Date: 07/11/2006

Doc. No.: YAE-Spec-04-0010 Page: 1/1

BCI184E - Technical Data Sheet





BC1184E WINDING 311

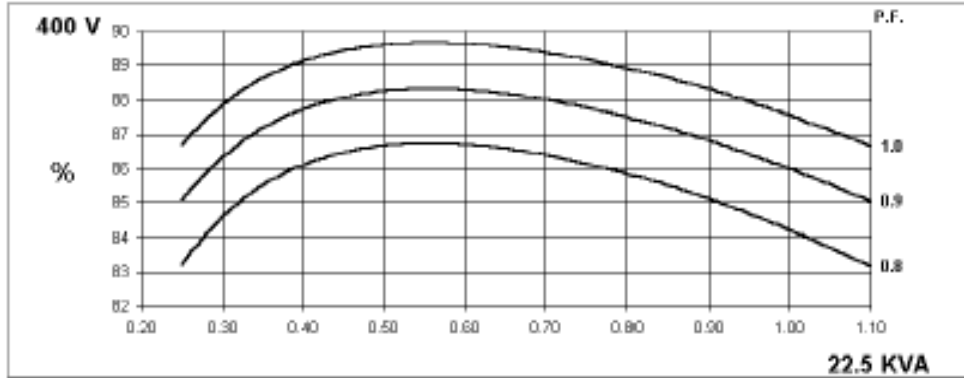
CONTROL SYSTEM	SELF EXCITED							
A.V.R.	STANDARD SX460	OPTIONAL SA465			SX421 (SUPPLIED LOOSE)			
VOLTAGE REGULATION	± 1.5 %	± 1.0 %			± 0.5 %			
SUSTAINED SHORT CIRCUIT	SELF EXCITED MACHINES DO NOT SUSTAIN A SHORT CIRCUIT CURRENT							
INSULATION SYSTEM	CLASS H							
PROTECTION	IP23							
RATED POWER FACTOR	0.8							
STATOR WINDING	DOUBLE LAYER CONCENTRIC							
WINDING PITCH	TWO THIRDS							
WINDING LEADS	12							
STATOR WDG. RESISTANCE	0.354 Ohms PER PHASE AT 22°C SERIES STAR CONNECTED							
ROTOR WDG. RESISTANCE	0.64 Ohms at 22°C							
R.F.I. SUPPRESSION	BS EN 61000-6-2 & BS EN 61000-6-4, VDE 0875G, VDE 0875N. refer to factory for others							
WAVEFORM DISTORTION	NO LOAD < 1.5% NON-DISTORTING BALANCED LINEAR LOAD < 5.0%							
MAXIMUM OVERSPEED	2250 Rev/Min							
BEARING DRIVE END	BALL. 6309 - 2RS. (ISO)							
BEARING NON-DRIVE END	BALL. 6306 - 2RS. (ISO)							
	1 BEARING				2 BEARING			
WEIGHT COMP. GENERATOR	128 kg				131 kg			
WEIGHT WOUND STATOR	43.6 kg				43.6 kg			
WEIGHT WOUND ROTOR	40.69 kg				41.47 kg			
WR ² INERTIA	0.1568 kgm ²				0.1568 kgm ²			
SHIPPING WEIGHTS In a crate	133 kg				141 kg			
PACKING CRATE SIZE	84 x 59 x 75 (cm)				84 x 59 x 75 (cm)			
	50 Hz				60 Hz			
TELEPHONE INTERFERENCE	THF < 2%				TIF < 50			
COOLING AIR	0.095 m ³ /sec 200 cfm				0.119 m ³ /sec 250 cfm			
VOLTAGE SERIES STAR	380/220	400/231	415/240	440/254	416/240	440/254	460/266	480/277
VOLTAGE PARALLEL STAR	190/110	200/115	208/120	220/127	208/120	220/127	230/133	240/138
VOLTAGE SERIES DELTA	220/110	230/115	240/120	254/127	240/120	254/127	266/133	277/138
KVA BASE RATING FOR REACTANCE VALUES	22.5	22.5	22.5	17.5	27.5	28.8	28.8	30
X _d DIR. AXIS SYNCHRONOUS	1.873	1.690	1.570	1.796	2.294	2.148	1.965	1.880
X' _d DIR. AXIS TRANSIENT	0.188	0.170	0.158	0.180	0.232	0.217	0.199	0.190
X'' _d DIR. AXIS SUBTRANSIENT	0.122	0.110	0.102	0.117	0.146	0.137	0.125	0.120
X _q QUAD. AXIS REACTANCE	0.931	0.840	0.780	0.892	1.135	1.063	0.972	0.930
X'' _q QUAD. AXIS SUBTRANSIENT	0.211	0.190	0.177	0.202	0.256	0.240	0.220	0.210
X _l LEAKAGE REACTANCE	0.075	0.068	0.063	0.072	0.093	0.087	0.079	0.076
X ₂ NEGATIVE SEQUENCE	0.177	0.160	0.149	0.170	0.207	0.194	0.178	0.170
X ₀ ZERO SEQUENCE	0.081	0.073	0.068	0.077	0.099	0.093	0.085	0.081
REACTANCES ARE SATURATED				VALUES ARE PER UNIT AT RATING AND VOLTAGE INDICATED				
T' _d TRANSIENT TIME CONST.	0.02 s							
T'' _d SUB-TRANSIENT TIME CONST.	0.005 s							
T ₀₀ O.C. FIELD TIME CONST.	0.4 s							
T _a ARMATURE TIME CONST.	0.006 s							
SHORT CIRCUIT RATIO	1/X _d							

**50
Hz**

BCI184E
Winding 311



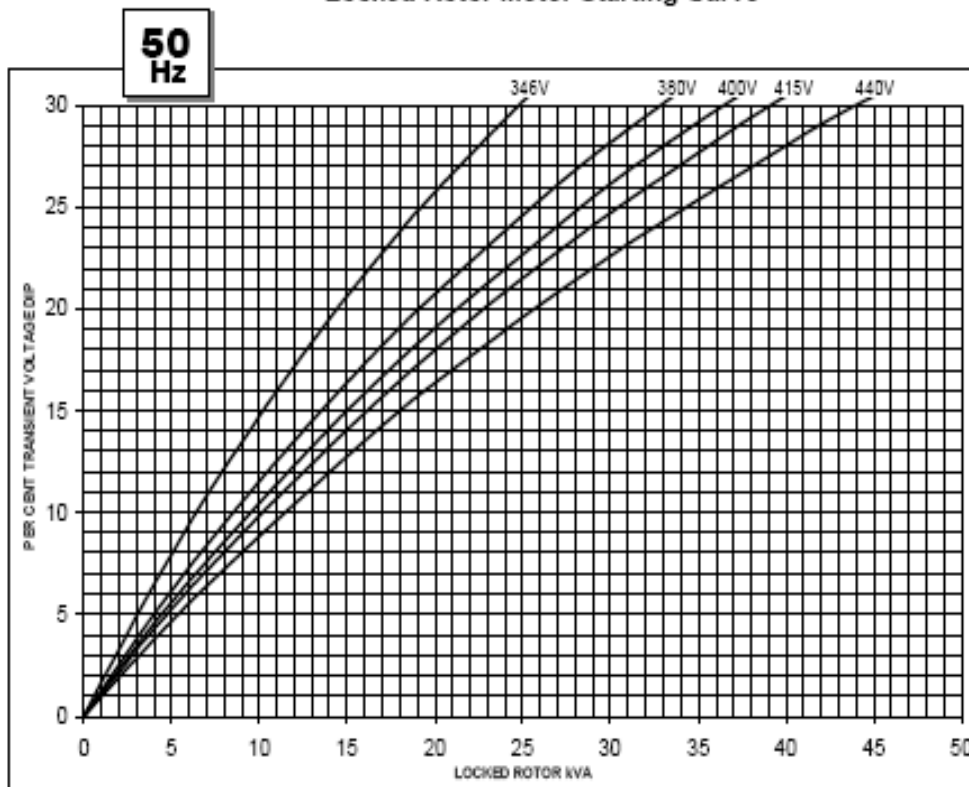
THREE PHASE EFFICIENCY CURVE



BCI184E
Winding 311



Locked Rotor Motor Starting Curve



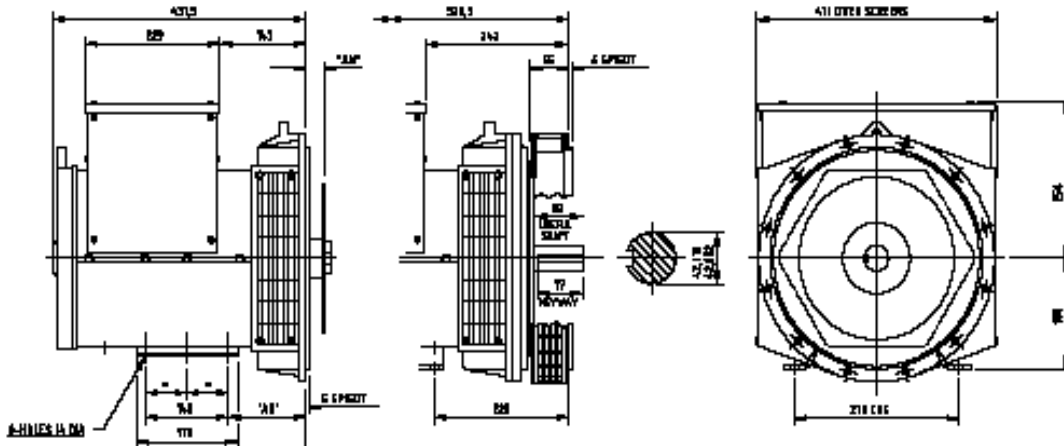
BCI184E
Winding 311 / 0.8 Power Factor



RATINGS

Class - Temp Rise	Cont. F - 105/40°C				Cont. H - 125/40°C				Standby - 150/40°C				Standby - 163/27°C				
50 Hz	Series Star (V)	380	400	415	440	380	400	415	440	380	400	415	440	380	400	415	440
	Parallel Star (V)	190	200	208	220	190	200	208	220	190	200	208	220	190	200	208	220
	Series Delta (V)	220	230	240	254	220	230	240	254	220	230	240	254	220	230	240	254
	kVA	20.0	20.0	20.0	15.6	22.5	22.5	22.5	17.5	N/A	N/A						
	kW	16.0	16.0	16.0	12.5	18.0	18.0	18.0	14.0								
	Efficiency (%)	84.8	85.2	85.4	85.7	83.7	84.2	84.5	84.9								
	kW Input	18.9	18.8	18.7	18.7	21.5	21.4	21.3	21.2								
60 Hz	Series Star (V)	416	440	460	480	416	440	460	480	416	440	460	480	416	440	460	480
	Parallel Star (V)	208	220	230	240	208	220	230	240	208	220	230	240	208	220	230	240
	Series Delta (V)	240	254	266	277	240	254	266	277	240	254	266	277	240	254	266	277
	kVA	25.0	26.3	26.3	28.1	27.5	28.8	28.8	30.0	N/A	N/A						
	kW	20.0	21.0	21.0	22.5	22.0	23.0	23.0	24.0								
	Efficiency (%)	84.4	84.5	85.0	84.8	83.4	83.6	84.1	84.2								
	kW Input	23.7	24.9	24.8	26.5	26.4	27.6	27.4	28.5								

DIMENSIONS



COMPONENT	"A"
SAE 7.5	38.0
SAE 8	41.7
SAE 10	51.0

A DIAPHR	"W"
SAE 8	132
SAE 5	145
SAE 4	150
SAE 3	160
SAE 2	174.7

HOLES SPACED AS 10
ASSEMBLED WITH SPACER PLATE 25.4mm THICK



PO Box 17 • Barnack Road • Stamford • Lincolnshire • PE9 2NB
Tel: 00 44 (0)1780 484000 • Fax: 00 44 (0)1780 484100
Website: www.newage-avkseg.com

© 2002 Newage International Limited.
Reprinted with permission of N.I. only.
Printed in England.

TD_BCI184E.GB_11.02_02_GB

10.2 HOJA DE CÁLCULO MOSTRANDO LOS RESULTADOS OBTENIDOS A PARTIR DE LOS DATOS OBTENIDOS DE LOS ENSAYOS

BANCO DE ENSAYOS MCIA I - CETENMA

Motor MEC

PARAMETROS NECESARIOS PARA CÁLCULOS

Ensayo EN590
Todas las cargas

Datos del motor			
Número de cilindros, z	-	3	
Volumen desplazado por cilindro, V_cil	cm ³	547,33	
Ciclos termodinámicos por revolución, i	-	0,5	
Potencia nominal	kW	13,4	
Hora ensayo			
Fracción másica combustible DIESEL referencia			
fracción másica C	-	86,6	
fracción másica H	-	13,4	
fracción másica O	-	0	
fracción másica N	-	0	
PCI Gasóleo, HfGA	MJ/kg	42,82	100%
Densidad combustible Diesel	kg/m ³	832,8	832,8
Consumo combustible, m_f	g/min		48,30
Consumo de combustible Gasóleo A	kg/h		2,8980

Propiedades del combustible DIESEL+GAS			100%
Masa total de combustible	kg/h		2,898
fracción másica C	-		86,600
fracción másica H	-		13,400
fracción másica O	-		0,000
fracción másica N	-		0,000
núm. átomos de C, alfa	-		1,000
núm. átomos de H, beta	-		1,844
núm. átomos de O, gamma	-		0,000
núm. átomos de N, delta	-		0,000
Peso molecular, Mf	kg _r /kmol _f		13,87
Peso molecular referencia HC, M_HC	kg/kmol		13,91
Relación aire-combustible estequiométrica, AFR_stq	kg _a /kg _f		14,62
Poder calorífico inferior, Hf	MJ/kg		42,8
%Sustitución de energía	%		0,00
Consumo equivalente de Gasóleo A	kg/h		2,898
			100%

PARAMETROS MEDIDOS	kW		
Modo de ensayo	-		100%
velocidad de giro del motor	Hz		49,942
Grado de carga	W		11972,131
Avance de inyección	grados		-
Posicion valvula de admision	grados		
Posicion valvula de admision	%		0
Nivel de EGR	%		0,00

Velocidad de giro del motor, par y consumo			100%
Velocidad de giro del moto, rpm_engine	rpm		1498
Potencia eléctrica, p_ele_total	W		11972
''	kW		11,97
Rendimiento alternador, effi_alternator	%		89,50
Potencia motor en cigüeñal	kW		13,38
Potencia motor en cigüeñal normalizada	%		99,8%
Par efectivo, torque_engine	Nm		85,3
Par efectivo, torque_engine - corregido	Nm		85,3
Consumo combustible corregido, m_f	g/min		48,30
Consumo combustible, V_f	l/min		0,06
Consumo combustible, m_f	mg/ciclo		64,47
Condiciones ambientales de la celda de ensayos de donde toma aire el motor			100%
Presión atmosférica, p_ambient	mbar		1033,015
Temperatura, t_ambient	°C		29,987
Humedad relativa, humidity_ambient	%		23,438
Presión de aire de admisión y presiones de gases de escape			100%
Presión aire en colector admision, p_a_intake_manif	mbar		-83,339
00	mbar		-83
Presión absoluta aire en colector admision, p_a_intake_manif - corregida	mbar		950
Contra presión de escape antes turbina, p_g_exh_backbefore	mbar		49,522
Contra presión de escape antes turbina, p_g_exh_backbefore - corregida	mbar		50
Contra presión absoluta de escape antes turbina, p_g_exh_backbefore - corregida	mbar		1083
Contrapresión escape despues de turbina, p_g_exh_backafter	mbar		0
Contrapresión escape despues de turbina, p_g_exh_backafter - corregida	mbar		0
Contrapresión absoluta escape despues de turbina, p_g_exh_backafter - corregida	mbar		1033

Temperaturas de aire de admisión			100%
Temperatura en filtro de aire, t_a_int_filter	°C		
Temperatura en filtro de aire, t_a_int_filter - corregida	°C		0,0
Temperatura en el colector de admisión, t_a_intake_manif	°C		28,998
Temperatura en el colector de admisión, t_a_intake_manif - corregida	°C		29,0
Temperatura aire despues compresor, t_a_after_comp	°C		26,824
Temperatura aire despues compresor, t_a_after_comp - corregida	°C		26,8
Temperaturas de gases de escape			100%
Temperatura gases de escape cilindro 1, t_g_exhaust_cyl1	°C		454
Temperatura gases de escape cilindro 1, t_g_exhaust_cyl1 - corregida	°C		454
Temperatura gases de escape cilindro 2, t_g_exhaust_cyl2	°C		469
Temperatura gases de escape cilindro 2, t_g_exhaust_cyl2 - corregida	°C		469
Temperatura gases de escape cilindro 3, t_g_exhaust_cyl3	°C		410
Temperatura gases de escape cilindro 3, t_g_exhaust_cyl3 - corregida	°C		410
Temperatura gases de escape ccolector de escape, t_g_exhaust_manif	°C		470,899
Temperatura gases de escape ccolector de escape, t_g_exhaust_manif - corregida	°C		471
Temperatura gases de escape promedio cilindro t_g_exhaust_cyl_prom- corregida	°C		444

Resultados del análisis de gases de escape TESTO 350 (CO2 por cálculo) - Tabla no utilizada en cálculos			100%
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_D,TESTO	%		8,99
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_D,TESTO -corregido	%		8,99
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_D,TESTO	%		8,86
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_D,TESTO - corregido	%		8,86
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_D,TESTO	ppm		472
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_D,TESTO-corregido	ppm		472
Relación vol. de NO en gases de escape secos, NO_D,TESTO	ppm		642
Relación vol. de NO en gases de escape secos, NO_D,TESTO - corregido	ppm		642
Relación vol. de NO2 en gases de escape secos, NO2_D,TESTO	ppm		6
Relación vol. de NO2 en gases de escape secos, NO2_D,TESTO-corregido	ppm		6
Relación vol. de NOX en gases de escape secos, NOx_D,TESTO	ppmNO2 + ppmNO		648
Relación vol. de NOX en gases de escape secos, NOx_D,TESTO-corregido	ppm		648
Relación vol. de CO2 en aire de admisión, CO2_D,HORIBA (EGR)	%		

Resultados del análisis de gases de escape TESTO 350 (CO2 por cálculo) - Tabla utilizada en cálculos			100%
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_exhaust_dry	%		8,99
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_exhaust_dry-corregido	%		8,99
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_exhaust_dry	%		8,86
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_exhaust_dry-corregido	%		8,86
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_exhaust_dry	ppm		472
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_exhaust_dry-corregido	ppm		472
Relación vol. de HC en gases de escape húmedos, HC_W - base C1 húmeda	ppm C1		
Relación vol. de HC en gases de escape húmedos, HC_W - base C1 húmeda-corregida	ppm C1		0
Relación vol. de NO2 en gases de escape húmedos, NO2_exhaust_wet	ppm		6
Relación vol. de NO2 en gases de escape húmedos, NO2_exhaust_wet- corregido	ppm		6
Relación vol. de NO en gases de escape húmedos, NO_exhaust_wet	ppm		642
Relación vol. de NO en gases de escape húmedos, NO_exhaust_wet- corregido	ppm		642
Relación vol. de NOX en gases de escape húmedos, NOx_exhaust_wet	ppm		648
Relación vol. de NOX en gases de escape secos, NOx_exhaust_dry	ppm		701
Opacidad índice de absorción, m-1	m-1		0,24
Opacidad, %	%		9,900
Opacidad índice de enengrecimiento, FSN	FSN		2,01
Condiciones de refrigeración del motor			100%
Temperatura del combustible en deposito medida, t_diesel_fuel	°C		31,85
Temperatura del combustible en deposito medida, t_diesel_fuel - corregido	°C		31,8
Temperatura lubricante, t_oil_engine	°C		90,195
Temperatura lubricante, t_oil_engine - corregido	°C		90,2
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 1 , t_c_heatexch_in_1	°C		28,56
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 1 , t_c_heatexch_in_1 - corregido	°C		28,6
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 2 , t_c_heatexch_in_2	°C		44,77
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 2 , t_c_heatexch_in_2 - corregido	°C		44,8
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 3 , t_c_heatexch_in_3	°C		29,10
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 3 , t_c_heatexch_in_3 - corregido	°C		29,1
Temperatura media de refrigerante a la entrada del intercambiador , t_c_heatexch_in_mean - corregido	°C		34,1
Temperatura de refrigerante a la salida del intercambiador , t_c_heatexch_out	°C		47,81

Temperatura de refrigerante a la salida del intercambiador , t_c_heatexch_out - corregido	°C		47,8
Salto térmico en el agua de refrigeración, Dt_w	°C		18,7
Caudal de aire de refrigeración	m3/s		0,80
Caudal de aire de refrigeración - corregido	m3/s		0,80
Densidad aire de refrigeración, rho_a	kg/m ³		1,17
Calor específico aire de refrigeración, c_a	kJ/kg °C		1,012
Calor disipado en sistema refrigeración, Q_ref+Q_lub	kW		17,70
Temperatura agua motor, t_w_engine	°C		72,904
Temperatura agua motor, t_w_engine - corregida	°C		72,904
Temperatura agua motor en la entrada al intercambiador, t_w_heatexch_in	°C		71,34
Temperatura agua motor en la entrada al intercambiador, t_w_heatexch_in - corregida	°C		71,3
Temperatura agua motor en la salida del intercambiador, t_w_heatexch_out	°C		26,21
Temperatura agua motor en la salida del intercambiador, t_w_heatexch_out - corregida	°C		26,2
Salto térmico refrigerante motor, Dt_ref	°C		45,1

PARAMETROS CALCULADOS			
Modo de ensayo	-		100%
Velocidad de giro del motor, n	rpm		1498
Par, potencia, presión media efectiva y consumo específico de combustible			100%
Par efectivo, M_e	Nm		85,3
Potencia, W_e	kW		13,4
Presión media efectiva, p _{me}	kPa		652,48
Consumo específico equivalente a EN-590, g _{ef}	g/kWh		216,65
Consumo específico, V _{ef}	l/kWh		0,26
Potencia y par corregidas, y consumo específico corregido			100%
Presión vapor saturado, p _{s,ens}	mbar		42,43
Presión vapor, phi*p _{s,ens}	mbar		9,94
Presión aire seco, p _{ens} -phi*p _{s,ens}	mbar		1023,07
caudal unitario de combustible, q _c	mg/ciclo·l		42,71
fa	-		1,002
fm	-		0,4
Factor de corrección, alfa-a	-		1,001
Potencia corregida, W _{e,corr}	kW		13,39
Par corregido, M _{e,corr}	Nm		85,32

Dosado relativo, rendimiento volumétrico y emisiones (a partir de los resultados del análisis de gases y consumo de combustible)			
AFR, lambda y dosado relativo			
AFR método lambda de Brettschneider			100%
K cte reacción de equilibrio del gas de agua	-		3,5
factor de conversión de HC a base C1	-		1
$(\beta/\alpha)/4$	-		0,46
$(\gamma/\alpha)/2$	-		0,00
$1+((\beta/\alpha)/4)-((\gamma/\alpha)/2)$	-		1,46
Lambda Brettschneider	-		1,69
Dosado relativo Brettschneider	-		0,59
AFR Brettschneider	kg _a /kg _f		24,70
Densidad del aire de la celda de ensayos, rho_adm	kg/m ³		1,187
Gasto másico de aire húmedo, m_a,w	g/h		71568
Gasto másico de aire húmedo, m_a,w	kg/s		0,020
Gasto másico de aire húmedo, m_a,w	kg/h		71,568
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	g/h		72568,37
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	kg/s		0,020
Rendimiento volumétrico			100%
Rendimiento volumétrico, nhu_v,ens	-		0,82
Densidad del Aire en el colector de admisión, rho_adm	kg/m ³		1,103
Densidad del Gas en el colector de admisión, rho_adm	kg/m ³		0,611
Rendimiento volumétrico, nhu_v,adm	-		0,88

Composición gases de escape y emisiones			100%
[H2O] humeda	%		7,6
[O2] humeda	%		8,3
[CO2] humeda	%		8,2
[CO] humeda	%		0,1
[HC1] humeda	%		0,0
[NOx] humeda	%		0,1
[H2] humeda	%		0,0
B1	-		2,0
B2	-		12,1
B3	-		0,8
[N2] humeda	%		77,7
Sumatorio [i]	%		102,0
Peso molecular de gases de escape, M_esc,w	kg/kmol		28,889
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	g/h		72568,37
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	kg/s		0,020
Moles en gases de escape, n_esc,w = m_esc,w/M_esc,w	kmol/s		6,978E-04
humedad específica	g_w/kg_a		6,046
Factor de corrección de humedad para NO (ISO 8178), k_H	-		0,93
Soot a partir de FSN expresión de Bermúdez et al. [2008]	mg/m ³		42,37
bs NOx (ISO 8178)	g/kWh		5,36
bs CO	g/kWh		2,36
bs HC1	g/kWh		
bs CO2	g/kWh		694,51
bs PM expresión de Bermúdez et al [2008]	g/kWh		0,18
bs NOx (ISO 8178)	g/h		71,7
bs CO	g/h		31,5
bs HC1	g/h		0,0
bs PM expresión de Bermúdez et al [2008]	g/h		2,385

bs NOx ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh	#¡REF!	
bs CO ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh	#¡REF!	
bs HC1 ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh		
bs PM ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh	#¡REF!	
Emisiones de CO2 de acuerdo con IPCC Guidelines			100%
Emisiones de CO2	g/kWh		581,3
Emisiones de CO2	g/h		7776,3
Emisiones de CO2	kg/h		7,8
Factor de emisión 2006 IPCC Guidelines GA	g_CO2/kg_GA	2683	
Factor de emisión 2006 IPCC Guidelines GAS	g_CO2/kg_GN	2750	
Composición y calor específico de gases de escape			100%
Composición de gases de escape			
y O2 humeda	-		0,08
y CO2 humeda	-		0,08
y CO humeda	-		0,00
y H2 humeda	-		0,00
y H2O humeda	-		0,08
y N2 humeda	-		0,78
sum yi	-		1,02
Calor específico de gases de escape			
cp_O2	kJ/kg K		1,01
cp_CO2	kJ/kg K		1,07
cp_CO	kJ/kg K		1,09
cp_H2	kJ/kg K		14,52
cp_H2O	kJ/kg K		2,01
cp_N2	kJ/kg K		1,09
cp_esc,w	kJ/kg K		1,17

Balance energético			100%
Potencia térmica de la combustión del combustible, $m_f H_f$	kW		34,47
	%		100%
Potencia efectiva del motor, W_e	kW		13,38
	%		38,81%
	%		38,81%
Calor sensible de gases de escape, $H_{esc,w}$	kW		10,42
	%		30,22%
	%		69,03%
Energía debida al contenido de inquemados es escape, H_{inq}	kW		0,124
	%		0,359%
	%		69,39%
Calor disipado en sistema refrigeración, $Q_{ref}+Q_{lub} +$ Calor radiado Q_{rad}	kW		10,55
	%		30,61%
	%		100%

BANCO DE ENSAYOS MCIA I - CETENMA		Ensayo GA + CH4 100% CARGA
Motor MEC		
PARAMETROS NECESARIOS PARA CÁLCULOS		

Datos del motor			GA+CH4 (20 Ln/min)	GA+CH4 (45 Ln/min)	GA+CH4 (30 Ln/min)
Número de cilindros, z	-	3			
Volumen desplazado por cilindro, V_cil	cm ³	547,33			
Ciclos termodinámicos por revolución, i	-	0,5			
Potencia nominal	kW	13,4			
Hora ensayo			17:45	13:55	14:01
Fracción másica combustible DIESEL referencia					
fracción másica C	-	86,60			
fracción másica H	-	13,40			
fracción másica O	-	0			
fracción másica N	-	0			
PCI Gasóleo, HfGA	MJ/kg	42,82			
Densidad combustible Diesel	kg/m ³	832,8			
Consumo combustible, m_f	g/min		32,429	9,798	24,013
Consumo de combustible Gasóleo A	kg/h		1,96	0,63	1,43
			2,32	0,65	1,80

Propiedades del combustible GAS					
PCI Gas inyectado, HfGI	MJ/m ³	35,9	100%	100%	100%
Caudal C_alpha H_beta O_gamma N_delta	lN/min		20,00	45,00	30,00
núm. átomos de C, alfa	-		1	1	1
núm. átomos de H, beta	-		4	4	4
núm. átomos de O, gamma	-		0	0	0
núm. átomos de N, delta	-		0	0	0
M C_alpha H_beta O_gamma N_delta	kg/kmol		16,040	16,040	16,040
Gasto másico	kg/h		0,859	1,932	1,288

Propiedades del combustible DIESEL+GAS		100%	100%	100%
Masa total de combustible	kg/h	2,817	2,563	2,718
fracción másica C	-	83,026	77,766	81,046
fracción másica H	-	16,980	22,248	18,963
fracción másica O	-	0,000	0,000	0,000
fracción másica N	-	0,000	0,000	0,000
núm. átomos de C, alfa	-	1,000	1,000	1,000
núm. átomos de H, beta	-	2,437	3,409	2,788
núm. átomos de O, gamma	-	0,000	0,000	0,000
núm. átomos de N, delta	-	0,000	0,000	0,000
Peso molecular, Mf	kg _f /kmol _f	14,47	15,45	14,82
Peso molecular referencia HC, M_HC	kg/kmol	13,91	13,91	13,91
Relación aire-combustible estequiométrica, AFR_stq	kg _a /kg _f	15,44	16,65	15,90
Poder calorífico inferior, Hf	MJ/kg	45,1	48,4	46,3
%Sustitución de energía	%	33,94	78,20	51,35
Consumo equivalente de Gasóleo A	kg/h	2,964	2,895	2,939

PARAMETROS MEDIDOS	kW			
Modo de ensayo	-	100%	100%	100%
velocidad de giro del motor	Hz	50,49	51,91	50,84
Grado de carga	W	11996	11984	11950
Avance de inyección	grados	-	-	-
Posicion valvula de admision	grados			
Posicion valvula de admision	%			
Nivel de EGR	%	0,00	0,00	0,00

Velocidad de giro del motor, par y consumo		100%	100%	100%
Velocidad de giro del moto, rpm_engine	rpm	1515	1557	1525
Potencia eléctrica, p_ele_total	W	11996	11984	11950
Potencia eléctrica, p_ele_total - corregido	kW	12,00	11,98	11,95
Rendimiento alternador, effi_alternator	%	89,50	89,50	89,50
Potencia motor en cigüeñal	kW	13,40	13,39	13,35
Potencia motor en cigüeñal normalizada	%	100,0%	99,9%	99,6%
Par efectivo, torque_engine	Nm	84,5	82,1	83,6
Par efectivo, torque_engine - corregido	Nm	84,5	82,1	83,6
Consumo combustible corregido, m_f	g/min	32,43	9,80	24,01
Consumo combustible, V_f	l/min	0,04	0,01	0,03
Consumo combustible, m_f	mg/ciclo	42,82	12,58	31,49

Condiciones ambientales de la celda de ensayos de donde toma aire el motor		100%	100%	100%
Presión atmosférica, p_ambient	mbar	1029	1029	1029
Temperatura, t_ambient	°C	36,6	39,1	38,8
Humedad relativa, humidity_ambient	%	53	46	45
Presión de aire de admisión y presiones de gases de escape		100%	100%	100%
Presión aire en colector admisión, p_a_intake_manif	mbar	-83	-83	-83
Presión aire en colector admisión, p_a_intake_manif-corregida	mbar	-83	-83	-83
Presión absoluta aire en colector admisión, p_a_intake_manif - corregida	mbar	946	946	946
Contra presión de escape antes turbina, p_g_exh_backbefore	mbar	45	42	44
Contra presión de escape antes turbina, p_g_exh_backbefore - corregida	mbar	45	42	44
Contra presión absoluta de escape antes turbina, p_g_exh_backbefore - corregida	mbar	1074	1072	1073
Contrapresión escape después de turbina, p_g_exh_backafter	mbar	0	0	0
Contrapresión escape después de turbina, p_g_exh_backafter - corregida	mbar	0	0	0
Contrapresión absoluta escape después de turbina, p_g_exh_backafter - corregida	mbar	1029	1029	1029
Temperaturas de aire de admisión		100%	100%	100%
Temperatura en filtro de aire, t_a_int_filter	°C	0,0	0,0	0,0
Temperatura en filtro de aire, t_a_int_filter - corregida	°C	0,0	0,0	0,0
Temperatura en el colector de admisión, t_a_intake_manif	°C	36,6	39,1	38,8
Temperatura en el colector de admisión, t_a_intake_manif - corregida	°C	36,6	39,1	38,8
Temperatura aire después compresor, t_a_after_comp	°C	0,0	0,0	0,0
Temperatura aire después compresor, t_a_after_comp - corregida	°C	0,0	0,0	0,0
Temperaturas de gases de escape		100%	100%	100%
Temperatura gases de escape cilindro 1, t_g_exhaust_cyl1	°C	448	427	452
Temperatura gases de escape cilindro 1, t_g_exhaust_cyl1 - corregida	°C	448	427	452
Temperatura gases de escape cilindro 2, t_g_exhaust_cyl2	°C	461	438	461
Temperatura gases de escape cilindro 2, t_g_exhaust_cyl2 - corregida	°C	461	438	461
Temperatura gases de escape cilindro 3, t_g_exhaust_cyl3	°C	368	364	380
Temperatura gases de escape cilindro 3, t_g_exhaust_cyl3 - corregida	°C	368	364	380
Temperatura gases de escape colector de escape, t_g_exhaust_manif	°C	451	441	464
Temperatura gases de escape colector de escape, t_g_exhaust_manif - corregida	°C	451	441	464
Temperatura gases de escape promedio cilindro t_g_exhaust_cyl_prom- corregida	°C	426	409	431

Resultados del análisis de gases de escape TESTO 350 (CO2 por cálculo) - Tabla no utilizada en cálculos		100%	100%	100%
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_D,TESTO	%	8,37	9,00	8,49
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_D,TESTO -corregido	%	8,37	9,00	8,49
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_D,TESTO	%	9,32	8,86	9,24
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_D,TESTO - corregido	%	9,32	8,86	9,24
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_D,TESTO	ppm	1430	1457	1609
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_D,TESTO-corregido	ppm	1430	1457	1609
Relación vol. de NO en gases de escape secos, NO_D,TESTO	ppm	469	538	530
Relación vol. de NO en gases de escape secos, NO_D,TESTO - corregido	ppm	469	538	530
Relación vol. de NO2 en gases de escape secos, NO2_D,TESTO	ppm	11	7	7
Relación vol. de NO2 en gases de escape secos, NO2_D,TESTO-corregido	ppm	11	7	7
Relación vol. de NOX en gases de escape secos, NOx_D,TESTO	ppm	480	545	537
Relación vol. de NOX en gases de escape secos, NOx_D,TESTO-corregido	ppm	480	545	537
Relación vol. de CO2 en aire de admisión, CO2_D,HORIBA (EGR)	%			

Resultados del análisis de gases de escape TESTO 350 (CO2 por cálculo) - Tabla utilizada en cálculos		100%	100%	100%
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_exhaust_dry	%	8,37	9,00	8,49
Relación vol. de O2 en gases de escape secos, O2_exhaust_dry-corregido	%	8,37	9,00	8,49
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_exhaust_dry	%	9,32	8,86	9,24
Relación vol. de CO2 en gases de escape secos, CO2_exhaust_dry-corregido	%	9,32	8,86	9,24
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_exhaust_dry	ppm	1430	1457	1609
Relación vol. de CO en gases de escape secos, CO_exhaust_dry-corregido	ppm	1430	1457	1609
Relación vol. de HC en gases de escape húmedos, HC_W - base C1 húmeda	ppm C1			
Relación vol. de HC en gases de escape húmedos, HC_W - base C1 húmeda-corregida	ppm C1	0	0	0
Relación vol. de NO2 en gases de escape húmedos, NO2_exhaust_wet	ppm	11	7	7
Relación vol. de NO2 en gases de escape húmedos, NO2_exhaust_wet- corregido	ppm	11	7	7
Relación vol. de NO en gases de escape húmedos, NO_exhaust_wet	ppm	469	538	530
Relación vol. de NO en gases de escape húmedos, NO_exhaust_wet- corregido	ppm	469	538	530
Relación vol. de NOX en gases de escape húmedos, NOx_exhaust_wet	ppm	480	545	537
Relación vol. de NOX en gases de escape secos, NOx_exhaust_dry	ppm	535	628	607
Opacidad índice de absorción, m-1	m-1	0,21	0,04	0,16
Opacidad, %	%			
Opacidad índice de ennegrecimiento, FSN	FSN			

Condiciones de refrigeración del motor			100%	100%	100%
Temperatura del combustible en deposito medida, t_diesel_fuel	°C		37,9	39,9	39,6
Temperatura del combustible en deposito medida, t_diesel_fuel - corregido	°C		37,9	39,9	39,6
Temperatura lubricante, t_oil_engine	°C		86,9	92,6	93,9
Temperatura lubricante, t_oil_engine - corregido	°C		86,9	92,6	93,9
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 1 , t_c_heatexch_in_1	°C		39,9	41,4	41,3
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 1 , t_c_heatexch_in_1 - c	°C		39,9	41,4	41,3
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 2 , t_c_heatexch_in_2	°C		48,1	54,6	54,1
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 2 , t_c_heatexch_in_2 - c	°C		48,1	54,6	54,1
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 3 , t_c_heatexch_in_3	°C		36,0	37,7	37,6
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 3 , t_c_heatexch_in_3 - c	°C		36,0	37,7	37,6
Temperatura media de refrigerante a la entrada del intercambiador , t_c_heatexch_in_mean - c	°C		41,3	44,5	44,3
Temperatura de refrigerante a la salida del intercambiador , t_c_heatexch_out	°C		46,5	53,4	54,6
Temperatura de refrigerante a la salida del intercambiador , t_c_heatexch_out - corregido	°C		46,5	53,4	54,6
Salto térmico en el agua de refrigeración, Dt_w	°C		5,2	8,9	10,2
Caudal de aire de refrigeración	m3/s		0,8	0,8	0,8
Caudal de aire de refrigeración - corregido	m3/s		0,8	0,8	0,8
Densidad aire de refrigeración, rho_a	kg/m ³		1,1	1,1	1,1
Calor específico aire de refrigeración, c_a	kJ/kg °C		1,0	1,0	1,0
Calor disipado en sistema refrigeración, Q_ref+Q_lub	kW		4,8	8,1	9,3
Temperatura agua motor, t_w_engine	°C		73,8	73,6	73,7
Temperatura agua motor, t_w_engine - corregida	°C		73,8	73,6	73,7
Temperatura agua motor en la entrada al intercambiador, t_w_heatexch_in	°C		37,4	38,9	38,9
Temperatura agua motor en la entrada al intercambiador, t_w_heatexch_in - corregida	°C		37,4	38,9	38,9
Temperatura agua motor en la salida del intercambiador, t_w_heatexch_out	°C		35,7	36,7	36,4
Temperatura agua motor en la salida del intercambiador, t_w_heatexch_out - corregida	°C		35,7	36,7	36,4
Salto térmico refrigerante motor, Dt_ref	°C		1,7	2,1	2,5

Condiciones de refrigeración del motor			100%	100%	100%
Temperatura del combustible en deposito medida, t_diesel_fuel	°C		37,9	39,9	39,6
Temperatura del combustible en deposito medida, t_diesel_fuel - corregido	°C		37,9	39,9	39,6
Temperatura lubricante, t_oil_engine	°C		86,9	92,6	93,9
Temperatura lubricante, t_oil_engine - corregido	°C		86,9	92,6	93,9
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 1 , t_c_heatexch_in_1	°C		39,9	41,4	41,3
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 1 , t_c_heatexch_in_1 - c	°C		39,9	41,4	41,3
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 2 , t_c_heatexch_in_2	°C		48,1	54,6	54,1
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 2 , t_c_heatexch_in_2 - c	°C		48,1	54,6	54,1
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 3 , t_c_heatexch_in_3	°C		36,0	37,7	37,6
Temperatura de refrigerante a la entrada del intercambiador posicion 3 , t_c_heatexch_in_3 - c	°C		36,0	37,7	37,6
Temperatura media de refrigerante a la entrada del intercambiador , t_c_heatexch_in_mean - c	°C		41,3	44,5	44,3
Temperatura de refrigerante a la salida del intercambiador , t_c_heatexch_out	°C		46,5	53,4	54,6
Temperatura de refrigerante a la salida del intercambiador , t_c_heatexch_out - corregido	°C		46,5	53,4	54,6
Salto térmico en el agua de refrigeración, Dt_w	°C		5,2	8,9	10,2
Caudal de aire de refrigeración	m3/s		0,8	0,8	0,8
Caudal de aire de refrigeración - corregido	m3/s		0,8	0,8	0,8
Densidad aire de refrigeración, rho_a	kg/m ³		1,1	1,1	1,1
Calor específico aire de refrigeración, c_a	kJ/kg °C		1,0	1,0	1,0
Calor disipado en sistema refrigeración, Q_ref+Q_lub	kW		4,8	8,1	9,3
Temperatura agua motor, t_w_engine	°C		73,8	73,6	73,7
Temperatura agua motor, t_w_engine - corregida	°C		73,8	73,6	73,7
Temperatura agua motor en la entrada al intercambiador, t_w_heatexch_in	°C		37,4	38,9	38,9
Temperatura agua motor en la entrada al intercambiador, t_w_heatexch_in - corregida	°C		37,4	38,9	38,9
Temperatura agua motor en la salida del intercambiador, t_w_heatexch_out	°C		35,7	36,7	36,4
Temperatura agua motor en la salida del intercambiador, t_w_heatexch_out - corregida	°C		35,7	36,7	36,4
Salto térmico refrigerante motor, Dt_ref	°C		1,7	2,1	2,5

Dosado relativo, rendimiento volumétrico y emisiones (a partir de los resultados del análisis de gases y consumo de combustible)					
AFR, lambda y dosado relativo					
AFR método lambda de Brettschneider			100%	100%	100%
K cte reacción de equilibrio del gas de agua	-		3,5	3,5	3,5
factor de conversión de HC a base C1	-		1	1	1
(beta/alpha)/4	-		0,61	0,85	0,70
(gamma/alpha)/2	-		0,00	0,00	0,00
1+((beta/alpha)/4)-((gamma/alpha)/2)	-		1,61	1,85	1,70
Lambda Brettschneider	-		1,54	1,53	1,53
Dosado relativo Brettschneider	-		0,65	0,65	0,66
AFR Brettschneider	kg _a /kg _r		23,83	25,52	24,25
Densidad del aire de la celda de ensayos, rho_adm	kg/m ³		1,157	1,148	1,149
Gasto másico de aire húmedo, m_a,w	g/h		67127	65423	65903
Gasto másico de aire húmedo, m_a,w	kg/s		0,019	0,018	0,018
Gasto másico de aire húmedo, m_a,w	kg/h		67,127	65,423	65,903
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	g/h		68127,09	66422,60	66903,22
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	kg/s		0,019	0,018	0,019
Rendimiento volumétrico					
Rendimiento volumétrico, nhu_v,ens	-		100%	100%	100%
Densidad del Aire en el colector de admisión, rho_adm	kg/m ³		0,79	0,78	0,79
Densidad del Gas en el colector de admisión, rho_adm	kg/m ³		1,206	1,206	1,206
Rendimiento volumétrico, nhu_v,adm	-		0,668	0,668	0,668
			0,76	0,74	0,75

Composición gases de escape y emisiones			100%	100%	100%
[H2O] humeda	%		10,3	13,2	11,5
[O2] humeda	%		7,5	7,8	7,5
[CO2] humeda	%		8,4	7,7	8,2
[CO] humeda	%		0,2	0,2	0,2
[HC1] humeda	%		0,0	0,0	0,0
[NOx] humeda	%		0,0	0,1	0,1
[H2] humeda	%		0,0	0,1	0,1
B1	-		2,0	2,0	2,0
B2	-		11,8	12,8	12,0
B3	-		0,8	0,7	0,8
[N2] humeda	%		80,4	84,6	82,1
Sumatorio [i]	%		106,8	113,6	109,6
Peso molecular de gases de escape, M_esc,w	kg/kmol		28,579	28,198	28,423
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	g/h		68127,09	66422,60	66903,22
Gasto masico de los humos humedos m_esc,w	kg/s		0,019	0,018	0,019
Moles en gases de escape, n_esc,w = m_esc,w/M_esc,w	kmol/s		6,622E-04	6,543E-04	6,539E-04
humedad específica	g_w/kg_a		20,383	20,378	19,636
Factor de corrección de humedad para NO (ISO 8178), k_H	-		1,14	1,14	1,12
Soot a partir de FSN expresión de Bermúdez et al. [2008]	mg/m ³		0,00	0,00	0,00
bs NOx (ISO 8178)	g/kWh		4,60	5,14	5,02
bs CO	g/kWh		6,56	6,37	7,21
bs HC1	g/kWh				
bs CO2	g/kWh		671,92	608,89	650,20
bs PM expresión de Bermúdez et al [2008]	g/kWh				
bs NOx (ISO 8178)	g/h		61,6	68,8	67,1
bs CO	g/h		88,0	85,4	96,2
bs HC1	g/h		0,0	0,0	0,0
bs PM expresión de Bermúdez et al [2008]	g/h				
bs NOx ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh				
bs CO ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh				
bs HC1 ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh				
bs PM ponderada según ciclo D2 ISO 8178	g/kWh				
Emisiones de CO2 de acuerdo con IPCC Guidelines			100%	100%	100%
Emisiones de CO2	g/kWh		568,2	523,3	552,7
Emisiones de CO2	g/h		7615,5	7006,7	7379,5
Emisiones de CO2	kg/h		7,6	7,0	7,4
Factor de emisión 2006 IPCC Guidelines GA	CO2/kg_G	2683			
Factor de emisión 2006 IPCC Guidelines GAS	CO2/kg_G	2750			

Composición y calor específico de gases de escape		100%	100%	100%
Composición de gases de escape				
y O2 humeda	-	0,08	0,08	0,08
y CO2 humeda	-	0,08	0,08	0,08
y CO humeda	-	0,00	0,00	0,00
y H2 humeda	-	0,00	0,00	0,00
y H2O humeda	-	0,10	0,13	0,12
y N2 humeda	-	0,80	0,85	0,82
sum yi	-	1,07	1,14	1,10
Calor específico de gases de escape				
cp_O2	kJ/kg K	1,01	1,01	1,01
cp_CO2	kJ/kg K	1,07	1,07	1,07
cp_CO	kJ/kg K	1,09	1,09	1,09
cp_H2	kJ/kg K	14,52	14,52	14,52
cp_H2O	kJ/kg K	2,01	2,01	2,01
cp_N2	kJ/kg K	1,09	1,09	1,09
cp_esc,w	kJ/kg K	1,26	1,36	1,30
Balance energético		100%	100%	100%
Potencia térmica de la combustión del combustible, m_f H_f	kW	35,26	34,43	34,96
	%	100%	100%	100%
Potencia efectiva del motor, We	kW	13,40	13,39	13,35
	%	38,02%	38,89%	38,19%
	%	38,02%	38,89%	38,19%
Calor sensible de gases de escape, H_esc,w	kW	9,83	10,06	10,26
	%	27,90%	29,22%	29,33%
	%	65,91%	68,11%	67,53%
Energía debida al contenido de inquemados es escape, H_inq	kW	0,384	0,427	0,444
	%	1,090%	1,242%	1,269%
	%	67,00%	69,36%	68,80%
Calor disipado en sistema refrigeración, Q_ref+Q_lub + Calor radiado Q_rad	kW	11,63	10,55	10,91
	%	33,00%	30,64%	31,20%
	%	100%	100%	100%