

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

Centro de Estudios Energéticos y Tecnologías Ambientales
Ingeniería Mecánica

TRABAJO DE DIPLOMA

Título: Análisis de los principales parámetros y las causas del
sobreconsumo de combustible de la Central Eléctrica Santa Clara
110 kV Fuel

Autor: Omar Mendoza Rodríguez

Tutor: Reinaldo M. Martínez Martínez

Santa Clara, Julio, 2019
Copyright©UCLV

UCLV
Universidad Central
"Marta Abreu" de Las Villas



FIMI
Facultad de
Ingeniería Mecánica
e Industrial

CEETA

DIPLOMA THESIS

Title: Analysis of the main parameters and the causes of fuel overconsumption of the Santa Clara 110 kV Fuel Power Plant

Author: Omar Mendoza Rodríguez

Thesis Director: Reinaldo M. Martínez Martínez

Santa Clara, July, 2019
Copyright©UCLV

Este documento es Propiedad Patrimonial de la Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas, y se encuentra depositado en los fondos de la Biblioteca Universitaria “Chiqui Gómez Lubian” subordinada a la Dirección de Información Científico Técnica de la mencionada casa de altos estudios.

Se autoriza su utilización bajo la licencia siguiente:

Atribución- No Comercial- Compartir Igual



Para cualquier información contacte con:

Dirección de Información Científico Técnica. Universidad Central “Marta Abreu” de Las Villas. Carretera a Camajuaní. Km 5½. Santa Clara. Villa Clara. Cuba. CP. 54 830

Teléfonos.: +53 01 42281503-1419

Pensamiento

“...Habrá un antes y un después de la revolución energética de Cuba, de la cual podrán derivarse lecciones útiles para nuestro pueblo y para los demás pueblos del mundo.”

Fidel Castro Ruz

Dedicatoria

A mis padres por todo el sacrificio que ha sido llevar a su hijo a través de 5 años de universidad y a mi abuelo por siempre apoyarme incondicionalmente.

Agradecimientos

A mi familia por apoyarme siempre, a mis compañeros de cuarto por compartir 5 años de maravillosas experiencias, a mi novia por ser siempre un pilar donde apoyarme, a todas las personas que de una forma u otra me han ayudado a cumplir este sueño

Muchas Gracias.

Índice

Introducción.....	1
Capítulo I Explotación de motores de combustión interna en la generación distribuida en Cuba.....	3
1.1 Generación Distribuida	3
1.1.1 Definición	3
1.1.2 Empresa de Generación Distribuida Cubana	4
1.1.3 Beneficios.....	5
1.1.4 Grupos Electrógenos.....	5
1.2 Descripción de las centrales eléctricas Fuel Oil	6
1.2.1 Descripción de una Batería.	10
1.3 Ciclos de trabajo del motor Himsen Hyundai.....	12
1.4 Consumo específico de combustible.....	12
1.4.1 Alta temperatura en gases de escape del motor	13
1.4.2 Problemas con el sistema de inyección de combustible	13
1.4.3 Problemas con el sistema de enfriamiento del motor	13
1.4.4 Problemas con el sistema de sobre alimentación de aire	14
1.4.5 Estado de la cámara de combustión en los motores.....	14
Capítulo II Calculo térmico del motor Hyundai HIMSEN 9H21/32	16
2.1 Cálculo térmico.....	18
2.2.1 Cálculo de los procesos de un MCI.....	20
Capítulo 3 Análisis de los resultados	25
3.1 Descripción de la toma de datos	25
3.2 Comparación de las variaciones de los principales parámetros contra el consumo de combustible utilizando el software Matlab.	26

3.3 Comparaciones del consumo de combustible de la planta contra los principales parámetros de operación de la planta entre 2012-2018.....	30
3.4 Principales deficiencias que afectan el consumo de combustible en la planta	39
3.5 Recomendaciones para la solución del aumento del consumo de combustible.....	40
3.6 Análisis medioambiental	40
3.7 Análisis económico	42
Recomendaciones.....	45
Bibliografía.....	46

Simbología

MATLAB	Bibliografía	Significado	Unidad
C	C	Fracción de carbono del combustible	
H	H	Fracción de Hidrogeno del combustible	
O	O	Fracción de oxigeno del combustible	
Po	p_0	Presión atmosférica	MPa
To	T_0	Temperatura atmosférica a 1 metro del motor	K
Alfa	α	Coeficiente de exceso de aire	
deltaT	ΔT	Incremento de la temperatura de la carga	K
Tr	T_r	Temperatura de los gases residuales	K
Pr	p_r	Presión de los gases residuales	MPa
Pa	p_a	Presión en a al final de la admisión	MPa
épsilon	ϵ	Relación de compresión	
Pk	P_k	Presión después del compresor	MPa
Tk	T_k	Temperatura después del compresor	K
n1	n_1	Exponente politrópico de compresión	
miuI_cv_c	$(\mu_{cv})^c$	% Calor específico molar medio de los productos de la combustión para alfa=1	kJ/kmol
miu_cv	μ_{cv}	Calor específico molar medio del aire a volumen constante.	kJ/kmol

epsilonZ	ϵ_z	Coeficiente de aprovechamiento del calor	
Hu	H_u	Bajo valor calórico del combustible	MJ/kg
MATLAB	Bibliografía	Significado	Unidad
lamda	λ	Grado de elevación de la presión	
n2	n_2	Coeficiente politrópico de expansión	
phi_i	ϕ_i	Coeficiente de redondeo	
S	S	Carrera del pistón	mm
n	n	Velocidad de rotación del motor	r.p.m.
A	A	Coeficiente A	
B	B	Coeficiente B	
Ne	N_e	Potencia efectiva	kW
lo	l_o	Cantidad teórica de aire	kg
Lo	L_o	Cantidad teórica de aire	kmol
I	L	Cantidad real de aire	kmol
M1	M_1	Cantidad total de aire	kmol
M2_alfa1	$(M_2)_{\alpha=1}$	Cantidad excedente de aire fresco	kmol
miu0	μ_o	Coeficiente teórico de variación molecular	
ganma_r	γ_r	Coeficiente de gases residuales	
Ta	T_a	Temperatura al final de la admisión	K
eta_v	η_v	Coeficiente de llenado	
rho_0	ρ_o	Densidad de la carga en la admisión	kg/m ³
Ra	R_a	Constante	
Pc	p_c	Presión en C al final de la compresión	MPa

Tc	T_c	Temp. en C al final de la compresión	K
miu_r	μ_r	Coeficiente real de variación molecular	
MATLAB	Bibliografía	Significado	Unidad
Uc	U_c	Energía interna de 1 kmol de aire a Tc	kJ/kmol
UcII_alfa1	$(U_c'')_{\alpha=1}$	Energía interna de los productos de la combustión para alfa = 1 en punto C.	kJ/kmol
UcII	U_c''	Energía interna de 1 kmol de productos de la combustión a Tc	kJ/kmol
UzII_alfa1	$(U_z'')_{\alpha=1}$	Energía interna de los productos de la combustión para alfa = 1 en punto z.	kJ/kmol
Tz	T_z	Temperatura al final de la combustión	K
rho	ρ	% Coeficiente de expansión preliminar	
Pz	p_z	Presión máxima de combustión	MPa
delta	δ	Grado de expansión posterior	
Tb	T_b	Temperatura al final de la expansión	K
Pb	p_b	Presión al final de la expansión	MPa
Pi_nr	$(p_i)_{nr}$	Presión media indicada en el ciclo no redondeada	MPa
vp	v_p	Velocidad media del pistón	m/s
Vh	V_h	Volumen de la cámara de combustión	L
Pe	p_e	Presión media efectiva	MPa
eta_m	η_m	Rendimiento mecánico	

eta_i	η_i	Rendimiento indicado del ciclo	
MATLAB	Bibliografía	Significado	Unidad
eta_e	η_e	Rendimiento efectivo del ciclo	
gi	g_i	Consumo específico indicado	g/kWh
ge	g_e	Consumo específico efectivo	g/kWh
Gc	G_c	Consumo horario de combustible	kg/h

Fig. 1.1 Esquema del motor Himsen Hyundai9

Fig. 1.2 Gráfica de potencia contra r.p.m. de las distintas series de motores HIMSEN.....10

Fig. 1.3 Esquema de causas de la baja eficiencia de los motores Hyundai.....17

Fig. 2.1 Foto de la planta.....18

Fig. 3.1 Relación de compresión contra consumo específico calculado mediante el software Matlab.....30

Fig. 3.2 Temperatura después del refrescador de aire contra consumo específico31

Fig. 3.3 Presión después del turbocompresor contra consumo específico32

Fig. 3.4 Comportamiento de los consumos de combustible entre 2008 y 2018....33

Fig. 3.5 Consumo de combustible contra media son generar diaria.....34

Fig. 3.6 Consumo de combustible contra variación del porciento de carga de los motores.....35

Fig. 3.7 Consumo específico de combustible contra temperatura del aire de carga.....	36
Fig. 3.8 Consumo de combustible contra presión del aire de carga.....	37
Fig. 3.9 Consumo específico contra temperatura de salida del agua de enfriamiento del aire de carga.....	38
Fig. 3.10 Consumo específico de combustible contra temperatura de los gases de escape.....	39
Fig. 3.11 Consumo específico contra presión de encendido.....	40
Fig. 3.12 Temperatura del agua de enfriamiento de los cilindros a la salida contra consumo específico.....	41
 Tabla 1.1 Beneficios de la Generación Distribuida.....	5
 Tabla 2.1. Principales características de los motores Hyundai HIMSEN 9H21/32	19
Tabla 2.2. Parámetros principales del motor Hyundai HIMSEN 9H 21/32.....	20
Tabla 3.1 Emisiones de dióxido de carbono por kg de algunos combustibles.....	45

Resumen

La introducción de la Generación Distribuida constituye uno de los pasos más significativos en el desarrollo de los sistemas eléctricos, ya que estas pequeñas plantas no sufren grandes pérdidas en la transmisión, por lo que son más económicas, además la energía eléctrica que entregan cuenta con mayores parámetros de calidad, esencial para sistemas industriales modernos, donde interrupciones o variaciones de voltaje tendrían consecuencias negativas y pérdidas económicamente cuantiosas. Se realizó un análisis de los principales parámetros de operación de la central Santa Clara 110 kv Fuel para determinar las principales causas del sobreconsumo de combustible. Los motores usados en la central son HYUNDAI Himsen 9H21/32 los cuales tiene una potencia de 1800 kW a 909 r.p.m. Estos motores consumen aproximadamente $200 \frac{g}{kw*h}$ generado lo que los hace sumamente eficientes. En estos momentos las variaciones de muchos de los parámetros de operación entre ellos el de más incidencia es la disminución de la carga de los motores debido a las altas temperaturas de los gases de escape de los cilindros, han traído el deterioro del índice consumo de $208.83 \frac{g}{kw*h}$ en 2012 $220.91 \frac{g}{kw*h}$ en 2018. El sobreconsumo de combustible a traído un aumento anual de los costes de 1 788 383 USD, así como un aumento de las emisiones anuales de dióxido de carbono a la atmosfera de 6380.7 toneladas.

Abstract

The introduction of the Distributed Generation constitutes one of the most significant steps in the development of the electrical systems, since these small plants do not suffer great losses in the transmission, for what they are more economic, in addition the electrical energy that they deliver has greater quality parameters, essential for modern industrial systems, where interruptions or variations of voltage would have negative consequences and economically significant losses. An analysis of the main operating parameters of the Santa Clara 110 kv Fuel plant was carried out to determine the main causes of fuel overconsumption. The motors used in the plant are HYUNDAI Himsen 9H21 / 32 which has a power of 1800 kW to 909 r.p.m. These engines consume approximately $200 \frac{g}{kW \cdot h}$ generated which makes them extremely efficient. At present, the variations of many of the operating parameters, among them the one with the highest incidence, is the decrease in the load of the motors due to the high temperatures of the exhaust gases of the cylinders, they have brought the deterioration of the consumption index of $208.83 \frac{g}{kW \cdot h}$ in 2012 $220.91 \frac{g}{kW \cdot h}$ in 2018. The overconsumption of fuel brought an annual increase in costs of 1 788 383 USD, as well as an increase in annual emissions of carbon dioxide to the atmosphere of 6380.7 tons.

Introducción

Hoy en día la energía eléctrica se genera mayormente a partir de combustibles fósiles. Hasta hace pocos años en Cuba las centrales termoeléctricas llevaban todo el peso de esta generación, solo una mínima parte le correspondía a la generación eólica e hidroeléctrica. Este sistema de generación centralizada fue deteriorándose paulatinamente. A raíz de esta situación surgen problemas con la generación de electricidad, existían enormes pérdidas en el transporte de la energía, desde las centrales termoeléctricas hasta el consumidor, debido a que entre ambos había una distancia de cientos de kilómetros. Además, las propias centrales comenzaron a deteriorarse obligando al país a realizar fundamentalmente reparaciones que exigían grandes cantidades de dinero. Comenzó entonces con todas estas dificultades un crecimiento de la demanda de energía eléctrica que el país, por su situación económica, no podía satisfacer. En principio, se tomó como alternativa comenzar a cortar la energía principalmente en los horarios pico de consumo de electricidad. Más adelante, el Estado cubano emprendió una investigación sobre la ubicación de emplazamientos diésel de generación distribuida en lugares cercanos al consumidor.

En apoyo a la revolución energética en Cuba, se comenzó a usar la Generación Distribuida (GD) de electricidad como método alternativo a la generación centralizada. El uso de este nuevo método tuvo como propósito apoyar al Sistema Electro-energético Nacional (SEN) en los horarios pico donde el consumo de energía eléctrica alcanza un valor máximo y además, mejorar la transmisión de la misma sobre todo en las regiones aisladas. Este tipo de generación fue considerada muy útil también ante la presencia de eventos climáticos extremos donde los conductores de alta tensión pueden quedar destruidos y entonces lograr mantener la vitalidad energética de zonas determinadas en forma aislada hasta la reparación de las redes.(Torres, 2011)

La introducción de la Generación Distribuida constituye uno de los pasos más significativos en el desarrollo de los sistemas eléctricos, puesto que estas pequeñas plantas no sufren grandes pérdidas en la transmisión. Además, son consideradas mucho más económicas y la energía eléctrica que producen cuenta con mayores parámetros de calidad, esencial para sistemas industriales modernos donde interrupciones o variaciones de voltaje tendrían consecuencias negativas y pérdidas económicamente cuantiosas. (Calzada et al., 2012).

Objetivo General

Analizar los principales parámetros de explotación de la Central eléctrica Santa Clara 110 con vistas a determinar las principales causas del sobreconsumo de combustible.

Objetivos específicos

- Realizar, mediante una revisión bibliográfica, la caracterización de la generación distribuida y sus implicaciones en Cuba.
- Determinar los principales parámetros de explotación desde 2012 hasta 2018 en el caso de estudio Santa Clara 110 kV y su comparación con los valores obtenidos mediante el cálculo teórico de los parámetros del ciclo termodinámico.
- Evaluar las principales causas del sobreconsumo de combustible para el caso de estudio Santa Clara 110 kV.

Capítulo I Explotación de motores de combustión interna en la generación distribuida en Cuba

1.1 Generación Distribuida

En la actualidad aún no existe una definición rigurosa del concepto de generación distribuida (GD), la cual, de manera general, se refiere a la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las grandes centrales convencionales y situadas cerca de las instalaciones que consumen esta energía eléctrica que generan.

1.1.1 Definición

Aunque diversos especialistas no han logrado aún establecer una definición exacta, sí han tratado de proporcionar una explicación detallada del concepto. Según varios especialistas, la Generación Distribuida es :

- Generación en pequeña escala instalada cerca del lugar de consumo.
- Producción de electricidad con instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico.
- Es la generación conectada directamente en las redes de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica mediante instalaciones mucho más pequeñas que las centrales convencionales y situadas en las proximidades de las cargas.
- Es la producción de electricidad a través de instalaciones de potencia reducida, comúnmente por debajo de 1,000 kW.
- Son sistemas de generación eléctrica o de almacenamiento, que están situados dentro o cerca de los centros de carga.
- Es la producción de electricidad por generadores colocados, o bien, en el sistema eléctrico de la empresa, en el sitio del cliente o en lugares aislados fuera del alcance de la red de distribución.
- Es la generación de energía eléctrica a pequeña escala cercana a la carga mediante el empleo de tecnologías eficientes, destacando la cogeneración con

la cual se maximiza el uso de los combustibles utilizados.(Comisión-Nacional-para-el-Uso-Eficiente-de-la-Energía, 2014)

Según la definición del Instituto de Ingenieros Eléctricos (por sus siglas en inglés IEEE), la cual es una de las más conocidas a nivel mundial, la Generación Distribuida "... es la generación de electricidad mediante instalaciones que son suficientemente pequeñas en relación con las grandes centrales de generación, de forma que se puedan conectar casi en cualquier punto de un sistema eléctrico." (Energía, 2014)

1.1.2 Empresa de Generación Distribuida Cubana

La Empresa de Generación Distribuida Cubana es la encargada de garantizar la generación Base y de ajuste de la demanda en todo el País. Forma parte del sistema de Generación Eléctrica del País y ha sido la encargada de minimizar en su máxima expresión las molestas interrupciones eléctricas al sector residencial y empresarial del país, con la incorporación de unidades generadoras de diferentes capacidades. Además, esta empresa permite la eliminación de grandes pérdidas debido a la transportación de la energía eléctrica a grandes distancias. Al estar compuesta por unidades de generación distribuidas a lo largo y ancho de todo el país, permite el suministro eléctrico a aquellas poblaciones que la necesitan. Este tipo de empresa tiene implícito un alto nivel de automatización de sus procesos, además del elevado grado de complejidad y ajustes que llevan las unidades generadoras conformados por motores de combustión interna y disímiles equipos auxiliares. Los altos niveles de demanda eléctrica y los estrictos controles de calidad constituyen puntos fuertes de esta organización acompañados de un manejo de la información a distancia en escenarios bien diferentes y complejos.

1.1.3 Beneficios

El auge de los sistemas de Generación Distribuida se debe a los beneficios inherentes a la aplicación de esta tecnología, tanto para el usuario como para la red eléctrica. En la **tabla 1.1** se muestran los beneficios de esta para el usuario y el suministrador

Tabla 1.1 Beneficios de la Generación Distribuida (Comisión-Nacional-para-el-Uso-Eficiente-de-la-Energía, 2014)

a) Beneficios para el usuario	b) Beneficios para el suministrador
Incremento en la confiabilidad	Reducción de pérdidas en transmisión y distribución
Aumento en la calidad de la energía	Abasto en zonas remotas
Reducción del número de interrupciones	Libera capacidad del sistema
Uso eficiente de la energía	Proporciona mayor control de energía reactiva
Menor costo de la energía (en ambos casos, es decir, cuando se utilizan los vapores de desecho, o por el costo de la energía eléctrica en horas pico)	Mayor regulación de tensión
Uso de energías renovables	Disminución de inversión
Facilidad de adaptación a las condiciones del sitio	Menor saturación
Disminución de emisiones contaminantes	Reducción del índice de fallas

1.1.4 Grupos Electrógenos

Entre las tecnologías que se han ido introduciendo en los sistemas eléctricos con la concepción de la Generación Distribuida, se encuentran los grupos electrógenos que han mostrado una mayor posibilidad de uso por su facilidad de operación, simpleza y seguridad.

En la red eléctrica nacional cubana estos han sido utilizados, por lo general, para compensar las interrupciones de energía de las redes de distribución donde la falta de esta puede causar daños importantes; o donde la red eléctrica no está disponible, es insuficiente o no es rentable; por ejemplo, lugares muy apartados o de difícil

acceso, islas o pequeños asentamientos en parajes intrincados, donde llevar la electricidad de forma tradicional no es precisamente económico por las grandes distancias recorridas (Fernández, 2011).

1.2 Descripción de las centrales eléctricas Fuel Oil

Una central eléctrica fuel oil es un emplazamiento contenedorizado, puesto que la gran mayoría de sus componentes están instalados en contenedores diseñados para tal propósito. La proporción de estos emplazamientos, a lo largo del país, es de 2/3 con respecto a las centrales que usan diésel como combustible.

Los elementos principales que posee un emplazamiento de este tipo se dividen en dispositivos de una planta y componentes comunes. Estos últimos son únicos para toda la central eléctrica. Dentro de ellos están la sala de control y monitoreo remotos, la planta de tratamiento de agua y el generador de arranque en negro. Un emplazamiento de generación distribuida tiene una o varias plantas, de la cantidad depende la capacidad de generación total del emplazamiento. Cada planta está compuesta por cuatro grupos motor-generator, una planta de tratamiento de combustible y aceite, una unidad de control eléctrico, dos compresores (uno de alta y otro de baja presión), una caldera recuperativa y un transformador de enlace con el sistema eléctrico nacional.

La familia del conjunto generador estacionario HYUNDAI "HIMSEN H21/32" tiene un diseño simple y ligero, adecuado para la aplicación estacionaria con alta confiabilidad y rendimiento. Las características principales de estos motores son resumidas a continuación:

1. Motor de combustible pesado:

Este motor puede trabajar con combustible diésel y combustible pesado de viscosidad de hasta 700 cst a 50 °C.

2. Motor Económico y Ecológico

3. Con el menor consumo de combustible y emisiones contaminantes a la atmósfera, sobre todo de NOx, lo cual está basado en las siguientes especificaciones de diseño:

- Alta relación de carrera contra diámetro del cilindro (1.52).
 - Alta relación de compresión (17).
 - Aire de sobrecarga optimizado con el **Ciclo Miller** el cual es una variación de los ciclos tradicionales (Diésel y Otto) en la que se utiliza un cilindro más grande de lo habitual, se aumenta la relación de compresión y se cambian los momentos de apertura y cierre de las válvulas de escape. Otra modificación es la utilización de un intercooler en la admisión. Fue patentado por el ingeniero norteamericano Ralph Miller en 1957.
 - Alta presión de inyección de combustible (hasta 2000 bar).
4. Motor confiable y práctico con una estructura simple, ligera y robusta.
- El número de componentes del motor son minimizados con diseño libre de tubería,
 - La mayoría de los componentes son directamente accesibles para un mantenimiento más fácil,
 - Es suministrado con el concepto del mantenimiento de “Cada Parte” y “Unidad del Cilindro”,
 - El sistema de alimentación es completamente modularizado con accesibilidad directa.

Como complemento de estos sets de generación de electricidad, se instalan las diferentes unidades auxiliares que posibilitan trabajar con un combustible pesado y que forman parte del diseño de estos sets compuestos por:

- HTU (Unidad de tratamiento de heavy fuel oil) (Head Treatment Unit)
- ETU (Unidad de tratamiento eléctrico) (Electric Treatment Unit)
- WTU (Unidad de tratamiento de agua) (Water Treatment Unit)
- Calderas
- Compresores
- Estaciones de bombas
- Transformadores

(ENERFUSA,2019)

En la **figura 1.1** se muestra un esquema desde la vista frontal del motor donde se observan las principales partes que lo componen.

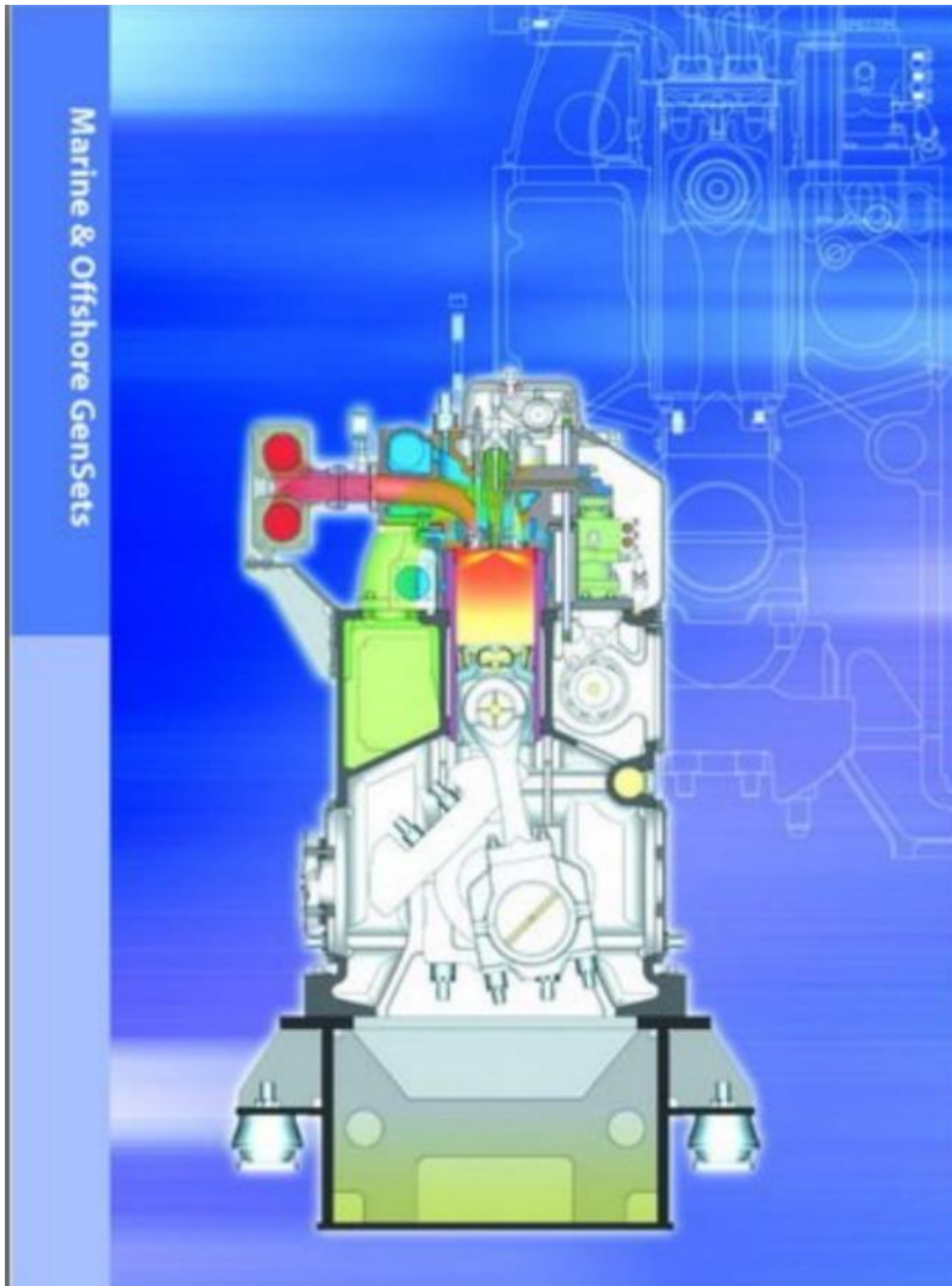


Fig. 1.1 Esquema del motor Himsen Hyundai (Hyundai-Himsen Catalog,2010)

En la **figura 1.2** se observan las potencias a distintas velocidades de las series de motores HIMSEN desde H17/28 hasta H32/40.

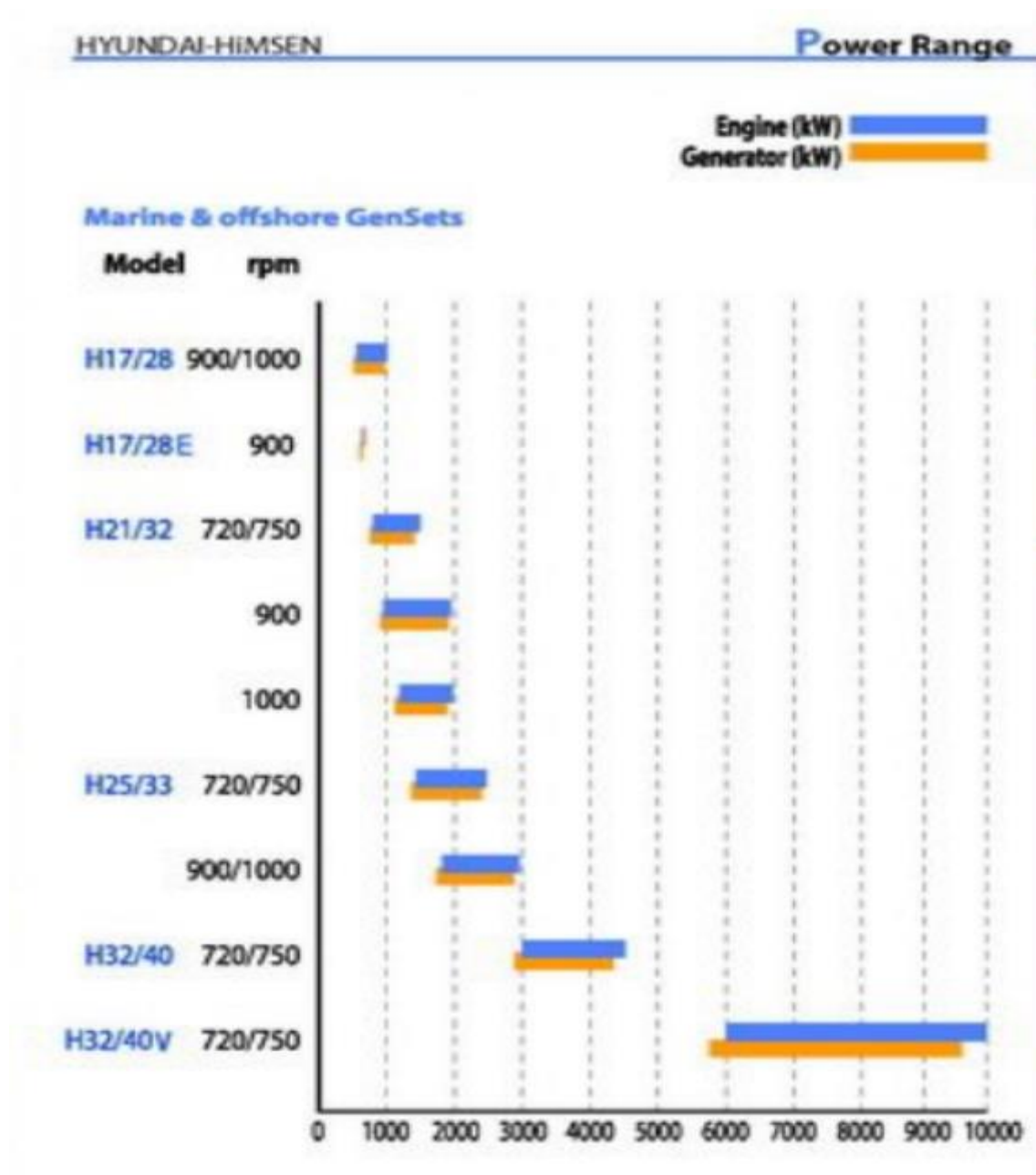


Fig. 1.2 Gráfica de potencia contra r.p.m. de las distintas series de motores HIMSEN (Hyundai-Himsen Catalog,2010)

Santa Clara 110 perteneciente a la EMGEF posee 3 baterías de 4 motores cada una lo que trae un total de 12 de los cuales se encuentran disponibles 10, los que faltan son debido a que el motor #6 entro en mantenimiento capital el cual se realiza a las 48000 horas de servicio y el motor #5 se encuentra parado debido a la falta de piezas de repuesto en el país específicamente culatas. La central tiene una capacidad máxima de generación de aproximadamente 20 MW a pleno funcionamiento. En la actualidad, debido a la obsolescencia de muchas de la pieza de los motores y la falta de remplazos, la central opera a una potencia promedio de 16.5 MW lo que corresponde a un 82% de la carga como promedio. Como consecuencia, la central presenta un aumento del índice de consumo específico que por plan debería ser de $212 \frac{g}{kw/h}$ y se encuentra en estos momentos en el orden de $220 \frac{g}{kw/h}$.

1.2.1 Descripción de una Batería.

Una batería cuenta con:

1. Una unidad de tratamiento de combustible (HTU) por sus siglas en inglés donde se purifican y se le da tratamiento térmico al fuel oíl que es el combustible con el que trabajan regularmente los motores y al aceite de lubricación de los mismos.
2. Cuatro unidades motor-generator (MDU) por sus siglas en inglés. Es aquí donde ocurre el proceso de generación de energía eléctrica partiendo de energía mecánica, para ello se cuenta con un generador y un motor de combustión interna, el cual presenta los mismos sistemas convencionales como cualquier otro motor diésel como son:
 - Sistema de combustión.
 - Sistema de aire.
 - Sistema de agua de enfriamiento.
 - Sistema de aceite de lubricación.

Sin embargo, con algunas modificaciones tales como:

- 1- Un Turbo Compresor con el objetivo de aprovechar los gases de escapes del mismo en mover una turbina y esta a su vez mover un compresor para producir el aire de carga necesario para la combustión.
- 2- Un sistema de control automático que le permite mantener un correcto funcionamiento del equipo con las protecciones pertinentes para alargar la vida útil de estos.
- 3- Una bomba de inyección por cada cilindro, acoplados a un gobernador el cual regula la entrada del combustible requerido de acuerdo al por ciento de carga.

El principio de funcionamiento es el siguiente: una vez enviado el combustible desde los HTU, llega en los motores a cada una de las bombas de inyección controladas por un gobernador que automáticamente es capaz de mantener las de r.p.m. del motor aumentando o disminuyendo la inyección de combustible. Al inyectar el combustible, comienza la combustión interna del motor, el cual, ya en funcionamiento, le da movimiento por medio de una transmisión al generador que es el encargado de producir la corriente eléctrica que llega a las Unidades de Tratamiento Eléctrico (ETU) donde se sincronizan cada uno de los generadores, se les regula el por ciento de carga según las necesidades y se envía esta energía eléctrica a la red nacional por medio de los transformadores de salida. (Torres, 2010)

En el **anexo 1** se muestra una vista aérea de la planta en la que se observan los principales elementos que la componen.

1.3 Ciclos de trabajo del motor Himsen Hyundai.

El motor de 4 tiempos comienza con el primer ciclo denominado la admisión. Este primer ciclo se describe mediante el aumento del volumen de la cámara de combustión al bajar el pistón tomando a través de la válvula de admisión un caudal de aire entregado por el turbocompresor, mejorando así con este dispositivo, el llenado de la cámara de combustión. Cuando el pistón llega a su punto muerto inferior, comienza a moverse hacia arriba comprimiendo el aire con una relación de 17:1. En este proceso de compresión al llegar el pistón al punto muerto superior tiene al aire comprimido, aumentando su presión y temperatura hasta los 400°C . Al inyectarse el fuel oíl cuando está alcanzando el pistón su punto muerto superior debido a la alta temperatura de la compresión del aire, el combustible empieza reaccionar y a quemarse provocando la explosión dentro del cilindro, que, al estar ambas válvulas cerradas, le da una fuerza de empuje al cilindro llevándolo a su punto muerto inferior. El escape se produce cuando el pistón comienza a subir expulsando por la válvula de escape los gases de la combustión.

1.4 Consumo específico de combustible

El consumo específico indica la eficiencia que tiene un motor para transformar el combustible en energía mecánica y se expresa como la cantidad de combustible que hay que consumir (en gramos) para obtener una determinada potencia en kilovatios (kW) durante una hora (g/kW-h) (González-Valdés, 2006)

En la central, el consumo específico de combustible se determina mediante la ecuación.

$$g_e = 1000 * \left[\frac{(G_F * \rho_F * H_{uF}) + (G_D * \rho_D * H_D)}{10000} \right] \frac{1}{\text{Generación Bruta}}$$

g_e - Consumo específico de combustible H_{uF} - Valor calórico neto del fuel oíl

G_F - Consumo de fuel oíl en litros

G_D -Consumo diésel en litros

ρ_F - Densidad del fuel a 15°C

ρ_D – Densidad del diésel

H_{UD}- Valor calórico neto del

De los análisis teóricos y la experiencia de los técnicos de la central eléctrica, se identifican las principales causas del aumento del consumo específico de combustible en los motores de fuel oil HYUNDAI HIMSEN:

- Baja carga de los Motores
- Alto Índice de Cremalleras
- Alta viscosidad del combustible que se alimenta los motores
- Alta temperatura del agua de enfriamiento
- Alta temperatura de los pistones
- Baja calidad del combustible
- Mal funcionamiento de los equipos adicionales (Centrifugadora, calderas)
- Mal funcionamiento del sistema de inyección
- Operación de los motores con diésel
- Alta temperaturas en escape de motores Hyundai.

1.4.1 Alta temperatura en gases de escape del motor

Las temperaturas de los gases de escape en cualquier motor es un indicador de las condiciones de funcionamiento interno de los motores tomando en cuenta los parámetros establecidos por los fabricantes en su funcionamiento. En caso de estar alta indica que existen pérdidas en el motor y se está dejando de aprovechar calor lo que disminuye la eficiencia del ciclo.

1.4.2 Problemas con el sistema de inyección de combustible

El sistema de inyección está compuesto por diferentes elementos que si no funcionan adecuadamente en conjunto pueden ocasionar un sobre esfuerzo en el sistema ocasionando que el motor aumente la cantidad de combustible que consume por una deficiencia de cualquier elemento y entre estos tenemos: bomba de inyección, línea de combustible e inyectores.

1.4.3 Problemas con el sistema de enfriamiento del motor

El sistema de enfriamiento es aquel que se encarga, como su nombre lo dice, de que cada elemento o componente del sistema no sufra un sobre calentamiento por

la fricción y temperaturas que alcanza el motor al funcionar. Las bombas inyectan a una presión determinada el agua al sistema de enfriamiento, que, por compartimento de calor, enfrían el sistema al circular el agua por las tuberías del enfriador. Si estas no funcionan adecuadamente, el flujo de agua no acarreará la cantidad de energía o calor que se requiere para que el sistema mantenga una temperatura adecuada.

1.4.4 Problemas con el sistema de sobre alimentación de aire

El sistema de alimentación de aire es vital para el buen funcionamiento de la combustión dentro de los cilindros. Debido a que si la alimentación de aire es deficiente la potencia en los cilindros baja y es necesario inyectar más combustible lo que significa más consumo y aumento de la temperatura en los gases de escape lo que acarrea que sea necesario bajar la carga de los motores

1.4.5 Estado de la cámara de combustión en los motores

En relación al sobre esfuerzo en la cámara de combustión, el estado de esta es parte primordial del buen funcionamiento de los motores en las etapas de recorrido de los pistones. Si hay fugas o bien, una hermeticidad inadecuada dentro de la cámara la combustión, no generará la presión suficiente para que el pistón realice su recorrido en los tiempos establecidos, produciendo un sobre esfuerzo al suministrar una cantidad de combustible mayor a la necesaria para realizar esta función. (Umaña, 2015).

En el caso del emplazamiento se puede agregar que, por causa de la falta de un instrumento para medir el flujo de combustible, se mide la diferencia entre el nivel anterior y posterior de los tanques, lo que pudiera producir errores; hecho que pudiera considerarse otra causa.

Todos estos parámetros deben ser controlados minuciosamente en aras de obtener una razón clara por la cual el consumo puede variar. Es necesario que en el laboratorio químico de la planta se controle también las propiedades del combustible para así, poder ajustar correctamente las cremalleras y el tiempo de inyección

porque un mal ajuste puede traer la ignición temprana del combustible lo que es un suceso muy destructivo para el motor.

En la **figura 1.3** se muestra un esquema de los principales factores que afectan el consumo de combustible de los motores.

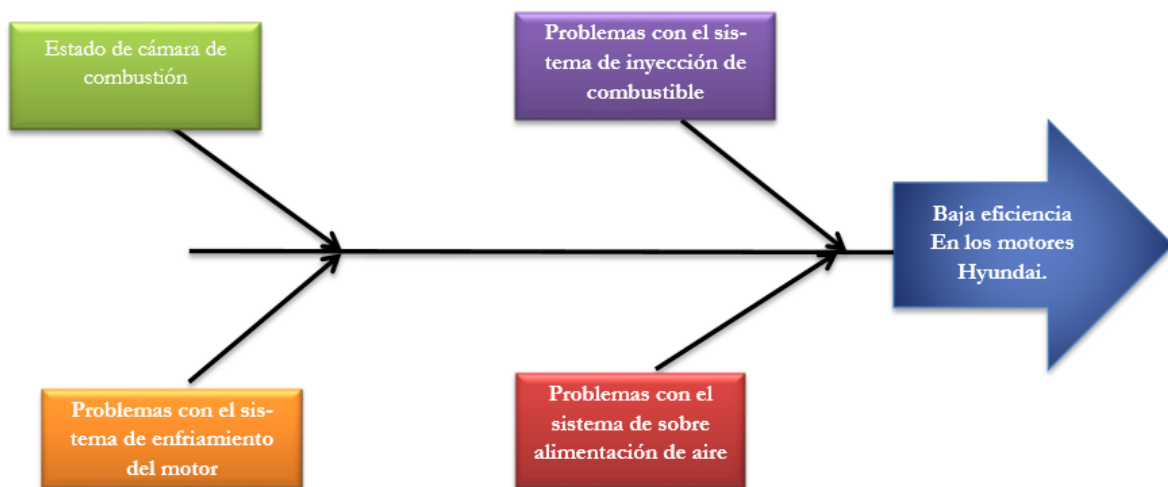


Fig. 1.3 Esquema de causas de la baja eficiencia de los motores Hyundai (Umaña, 2015)

El esquema agrupa los principales problemas que conllevan a la disminución de la eficiencia de los motores Hyundai HIMSEN, haciendo inviable la generación de electricidad con estos debidos a los altos costos de operación y medio-ambientales

Capítulo II Calculo térmico del motor Hyundai

HIMSEN 9H21/32

En este capítulo se utilizarán datos reales para realizar el cálculo térmico de un motor de los utilizados en la Central Eléctrica Santa Clara 110 kv mediante el software Matlab y que permitirá comprobar los indicadores de trabajo actuales y compararlos con los teóricos.

Este motor es del tipo Hyundai HIMSEN 9H21/32 de cuatro tiempos, con turbo cargador y refrigeración interna. La inyección se realiza de forma vertical y directa. La dirección de rotación del motor se realiza en el sentido de rotación de las manecillas del reloj visto del lado del generador eléctrico. El motor está formado por 9 cilindros configurados en línea, la velocidad de operación es de 900 r.p.m. La potencia por cilindros es de 200 KW por lo que el motor cuenta con una potencia de 1.8 MW. El diámetro de los cilindros es de 210 mm, el desplazamiento del pistón es de 320 mm

En la **figura 2.1** se muestra una foto de las baterías que componen la central eléctrica Santa Clara 110 kv



Fig. 2.1 Foto de la planta

Las principales características de los motores se describen en la **Tabla 2.1** y **Tabla 2.2** de este trabajo.

Tabla 2.1. Principales características de los motores Hyundai HIMSEN 9H21/32 (Cheonha-Dong and Dong-Gu, 2003).

Parámetro	Especificación
Tipo de Motor	Hyundai HIMSEN 9H21/32
Diámetro interior	210 mm
Carrera del pistón	320 mm
Velocidad media del pistón	9.6 m/s
Peso del motor	50 t
Longitudes del motor	2.4x3.4x12 m
Consumo de combustible	187-193 g/kW*h
Relación de compresión	17:1
Potencia	1800 kW

En la siguiente **tabla 2.2** se exponen los principales parámetros de este motor dados por su fabricante

Tabla 2.2. Parámetros principales del motor Hyundai HIMSEN 9H 21/32 (Cheonha-Dong and Dong-Gu, 2003).

Motor HIMSEN Hyundai	
Potencia total	1800 kW
Velocidad Turbo.	< 4 092
Velocidad Motor.	891-909 rpm
Combustible.	
Presión.	7.0 – 10 bar
Temperatura.	110 – 149 °C
Aceite de lubricación	
Temperatura.	60 – 73 °C
Presión de aceite a la entrada del motor.	4 – 5 bar
Presión a la entrada del filtro.	5,0 – 6,0 bar

Tabla 2.2. Parámetros principales del motor Hyundai HIMSEN 9H 21/32, (Continuación) (Cheonha-Dong and Dong-Gu, 2003).

Temperatura del aire.	
Temperatura del aire dentro del contenedor	30 – 45 °C
Temperatura del aire de carga	35 – 55 °C
Presión de sistemas de aire.	
Presión de aire de carga.	1,0 – 3,2 bar
Presión de arranque.	20 – 30 bar
Presión de aire en las válvulas de cambio de combustible.	7,0 – 8,0 bar.
Sistema de agua de enfriamiento.	
Presión de agua a la entrada del radiador.	0,7 – 0,9 bar
Presión de agua a baja temperatura.	0,1 – 0,3 bar
Presión de agua a alta temperatura.	2,5 – 4,5 bar
Temperatura de agua a la entrada al enfriador del aire de carga.	30 - 40 °C
Temperatura del sistema de gases	
Temperatura de los cilindros.(Temperatura de los gases de escape)	250 – 390 °C

2.1 Cálculo térmico.

Mediante este cálculo térmico se permite determinar los parámetros de diseño del ciclo, la potencia del motor, la presión de los gases en el espacio útil del cilindro en función del ángulo de rotación del cigüeñal. Basándose en los resultados del cálculo y con conocimiento de la potencia se pueden determinar las principales dimensiones del motor (diámetro del cilindro y carrera del pistón), igualmente con conocimiento de las dimensiones del motor se puede calcular la potencia del motor.

Es necesario saber el tipo de combustible que utiliza el motor, la composición másica de este combustible respecto al % carbono C, hidrógeno H, oxígeno O_c, su poder calórico inferior H_u en MJ/kg, las r.p.m. del motor (n), número de cilindros (i), relación de compresión (ϵ), coeficiente de exceso de aire (α), tipo de cámara, tiempos del motor y demás datos que harán falta en el transcurso del desarrollo de esta metodología de cálculo. Estos cálculos se realizan para un kg de combustible. (Jóvaj, 1987).

La cantidad teórica de aire necesaria en kg y kmol para quemar 1Kg de combustible se calcula por las siguientes expresiones (Jóvaj, 1987):

$$l_0 = \frac{1}{0,23} * \left(\frac{8}{3} * C + 8 * H - O_c \right) = \text{kg} \quad (2.1)$$

$$L_0 = \frac{1}{0,209} * \left(\frac{C}{12} + \frac{H}{4} - \frac{O_c}{32} \right) = \text{kmol} \quad (2.2)$$

Dónde : C, H, O_c, son el % de carbono, hidrógeno y oxígeno del combustible.

La cantidad real de aire en kg y kmol que participa en la combustión de 1kg de combustible se halla de:

$$\alpha * l_0 = \text{kg} \quad (2.3)$$

$$\alpha * L_0 = \text{kmol} \quad (2.4)$$

Donde: α – es el coeficiente de exceso de aire, l_0 y L_0 son la cantidad real de aire.

La cantidad total de mezcla fresca será:

$$G_1 = \alpha * l_0 = \text{kg} \quad (2.5)$$

La cantidad total de aire será:

$$M_1 = \alpha * L_0 = \text{kmol} \quad (2.6)$$

La cantidad total de productos de la combustión para $\alpha = 1$ $(M_2)_{\alpha=1}$ se halla por la expresión:

$$(M_2)_{\alpha=1} = \frac{C}{12} + \frac{H}{2} + 0,79 * L_0 = \frac{\text{kmol}}{\text{kg}} \quad (2.7)$$

Por lo que el excedente de aire se calcula por:

$$(\alpha - 1) * L_0 = \text{kmol/kg} \quad (2.8)$$

La cantidad de sustancia de los productos M_2 se halla de:

$$M_2 = (M_2)_{\alpha=1} + (\alpha - 1) * L_0 = \text{kmol} \quad (2.9)$$

Coeficiente teórico de variación molecular será:

$$\mu_0 = \frac{M_2}{M_1} \quad (2.10)$$

2.2.1 Cálculo de los procesos de un MCI

Parámetros del proceso de admisión.

Para este cálculo se asumen algunos parámetros los cuales se escogen en dependencia del tipo de combustible del motor, tiempo del motor y si está sometido a sobrecarga o no.

La densidad de la carga en la admisión es:

$$\rho_0 = \frac{p_0}{R \cdot T_0} = \text{kg/m}^3 \quad (2.11)$$

$$R_a = \frac{8314}{\mu_a} \text{ y } \mu_a = 28,96 \text{ constante}$$

Dónde: T_0 y p_0 son la temperatura y la presión atmosféricas.

La presión al final de la admisión p_a será:

$$p_a = 0,85 \cdot p_0 = \text{MPa} \quad (2.12)$$

El coeficiente de gases residuales γ_r se calcula mediante la expresión:

$$\gamma_r = \frac{T_0 + \Delta T}{T_r} * \frac{p_r}{\epsilon * (p_a * p_r)} \quad (2.13)$$

Dónde: ΔT es el incremento de la temperatura en el proceso de calentamiento de la carga, T_r y p_r son la temperatura y presión de los gases residuales y ϵ es la relación de compresión del motor.

La temperatura al final de la admisión T_a será:

$$T_a = \frac{T_0 + \Delta T + \gamma_r \cdot T_r}{\gamma_r + 1} = \text{K} \quad (2.14)$$

El rendimiento volumétrico n_v es:

$$n_v = \frac{\epsilon}{\epsilon - 1} * \frac{p_a}{p_0} * \frac{T_0}{T_a * (1 + \gamma_r)} \quad (2.15)$$

Parámetros del proceso de compresión

Se calcula la presión al final de la compresión p_c por la ecuación:

$$p_c = p_a * \epsilon^{n_1} = \text{MPa} \quad (2.16)$$

Donde: n_1 es el exponente politrópico de compresión.

La temperatura al final de la compresión T_c será:

$$T_c = T_a * \epsilon^{n_1-1} = \text{K} \quad (2.17)$$

Parámetros al final de la combustión

El coeficiente real de la variación molecular μ_r es:

$$\mu_r = \frac{\mu_0 + \gamma_r}{1 + \gamma_r} \quad (2.18)$$

Donde: μ_0 – Coeficiente teórico de variación molecular

La ecuación de combustión para motores diésel está dada por la expresión siguiente:

$$\frac{\epsilon_z * H_U}{M_1 * (1 + \gamma_r)} + \frac{U_c + \gamma_r * U''_c}{1 + \gamma_r} + 8,314 * \lambda * T_c = \mu_r * (U''_z + 8,314 * T_z) \quad (2.19)$$

Donde: ϵ_z – Coeficiente de aprovechamiento del calor

λ – Grado de elevación de la presión

T_z – temperatura al final de la combustión

Por lo que: U_c - es la energía interna de 1 kmol de aire a la temperatura de compresión y esta dada por la expresión:

$$U_c = (\mu_{c_v})_c * T_c, \text{ en kJ/kmol} \quad (2.20)$$

$(\mu_{c_v})_c$ - Es el calor específico molar de los gases de la tabla 6 del Tomo I del Jovaj y se halla con la temperatura T_c en $^{\circ}\text{C}$.

U''_c Es la energía interna de 1 mol de productos de la combustión al final del proceso de compresión para $\alpha = 1$ y se halla por la expresión:

$$U''_c = (U''_c)_{\alpha=1} * \frac{(M_2)_{\alpha=1}}{M_2} + U_c * \frac{(\alpha-1)*L_0}{M_2} \quad (2.21)$$

$$(U''_c)_{\alpha=1} = (\mu c_v)_{\alpha=1}'' * T_c \quad (2.22)$$

$(\mu c_v)_{\alpha=1}''$ Es el calor específico de productos de la combustión Tabla 8 (Jóvaj, 1987). Al hallar la temperatura T_z se procede a calcular los otros parámetros de este proceso.

Coeficiente de expansión preliminar de la combustión ρ será:

$$\rho = \frac{\mu_r}{\lambda} * \frac{T_z}{T_c} \quad (2.23)$$

La presión máxima de combustión será:

$$p_z = p_c * \lambda = \text{MPa} \quad (2.24)$$

Donde: T_c y p_c son la temperatura y presión al final de la compresión.

Parámetros del proceso de expansión

El grado de expansión posterior δ del proceso de expansión se calcula por la expresión:

$$\delta = \frac{\varepsilon}{\rho} \quad (2.25)$$

La temperatura al final de la expansión es:

$$T_b = \frac{T_z}{\delta^{n_2-1}} = K \quad (2.26)$$

Donde: n_2 – Coeficiente politrópico de expansión

La presión al final de la expansión es:

$$p_b = \frac{p_z}{\delta^{n_2}} = \text{MPa} \quad (2.27)$$

Parámetros principales del ciclo.

La presión media indicada del ciclo está dada por la expresión:

$$(p_i)_{an} = p_a * \frac{\epsilon^{n_1}}{\epsilon - 1} * \left[\lambda * (\rho - 1) + \frac{\lambda * \rho}{n_2 - 1} * \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_2 - 1}} \right) - \frac{1}{n_1 - 1} * \left(1 - \frac{1}{\epsilon^{n_1 - 1}} \right) \right] \quad (2.28)$$

Teniendo en cuenta el coeficiente de redondeo φ_i entonces la presión media indicada real será:

$$p_i = \varphi_i * (p_i)_{an} = \text{MPa} \quad (2.29)$$

Pérdidas mecánicas

La presión indicada que se gasta en vencer la fricción y accionar los mecanismos auxiliares es:

$$p_m = 0,105 + 0,012 * v_p \quad (2.30)$$

Donde: v_p es la velocidad del pistón.

La presión media efectiva del ciclo será:

$$p_e = p_i - p_m = \text{MPa} \quad (2.31)$$

El rendimiento mecánico será:

$$n_m = \frac{p_e}{p_i} \quad (2.32)$$

El consumo específico indicado de combustible será:

$$g_i = 3600 \frac{n_v * \rho_0}{P_i * \alpha * l_0} = \text{g/kWh} \quad (2.33)$$

Donde: ρ_0 – es la densidad de la carga en la admisión

El consumo específico efectivo de combustible será:

$$g_e = \frac{g_i}{n_m} = \text{g/kWh} \quad (2.34)$$

El rendimiento indicado del ciclo será:

$$n_i = \frac{3600}{g_i * H_U} \quad (2.35)$$

El rendimiento efectivo del ciclo será:

$$n_e = n_i * n_m \quad (2.36)$$

El volumen de trabajo de un cilindro es:

$$V_h = \frac{\text{cilindrada}}{i} \quad (2.37)$$

Donde: i – es el número de cilindros del motor

La potencia indicada para un motor de cuatro tiempos

$$N_i = \frac{p_i * i * V_h * n}{120} = \text{kW} \quad (2.38)$$

Donde: n – es la potencia del motor en r.p.m.

La potencia que se gasta en pérdidas mecánicas será:

$$N_M = \frac{p_m * i * V_h * n}{120} = \text{kW} \quad (2.39)$$

La potencia efectiva para un motor de cuatro tiempos será:

$$N_E = N_i - N_M = \text{kW} \quad (2.40)$$

El consumo horario de combustible

$$G_c = g_e * (N_E * 10^{-3}) = \text{g/h} \quad (2.41)$$

Dónde: N_E – es la potencia en kW del motor

Se realizó el cálculo térmico utilizando el software Matlab que aparece en el **Anexo 2** para su análisis y comparación con los datos reales tomados de la plata

Capítulo 3 Análisis de los resultados

3.1 Descripción de la toma de datos

Para el análisis estadístico de grandes volúmenes de datos normalmente se usan programas capaces de almacenar estos datos y procesarlos en este caso se usó el software Microsoft Excel. Los datos recopilados son los control de operadores de la empresa donde se describen minuciosamente todas las operaciones diarias de la UEB, también se usaron los controles de régimen de operación que son tomados diariamente para cada motor por los operadores, estos datos se obtuvieron de 6 motores 3 que estaban en relativa buena condición y los 3 de la más mala condición de la planta. Los datos recopilados se tomaron de los días de operación de los motores para obtener una media anual de la cual sirviera de guía para ejemplificar la tendencia de la planta.

1. Se buscó toda la documentación de la planta relativa a los controles de operadores y los controles de régimen.
2. En el software Microsoft Excel se procesaron los datos obtenidos y se calculó la media anual de todos los parámetros que afectan el consumo de combustible.
3. Se analizaron los distintos parámetros comparándolos con el consumo específico de la planta y se construyeron graficas que ilustran la variación de los consumos contra los parámetros seleccionados.

Los principales parámetros que afectan el consumo de combustible son:

1. Porcentaje de carga del motor
2. Velocidad del turbo compresor
3. Temperatura de fuel oíl a la entrada del motor
4. Presión de aceite lubricante a la entrada del motor
5. Temperatura del aceite lubricante a la entrada del motor
6. Temperatura del agua de enfriamiento de alta presión a la entrada y salida del motor

7. Temperatura del agua de enfriamiento de baja presión a la entrada y salida del enfriador de aire de carga
8. Temperatura del aire de carga
9. Presión del aire de carga después del refrescador de aire
10. Presión de encendido del motor
11. Temperatura de los gases de escape en la salida de los cilindros

3.2 Comparación de las variaciones de los principales parámetros contra el consumo de combustible utilizando el software Matlab.

Se elaboró en el software Matlab un programa capaz de realizar el cálculo térmico de los motores en el se variaron diferentes parámetros para obtener una guía teórica de cómo se comporta el motor bajo distintas condiciones.

Los parámetros estudiados con el programa son:

- Relación de compresión
- Temperatura después del refrescador de aire
- Presión después del turbo cargador
- Coeficiente de exceso de aire

En la **figura 3.1** se observa cómo afecta la disminución de la relación de compresión al consumo de combustible en este caso es necesario disminuir a su vez el coeficiente de exceso de aire también para mantener la potencia del motor

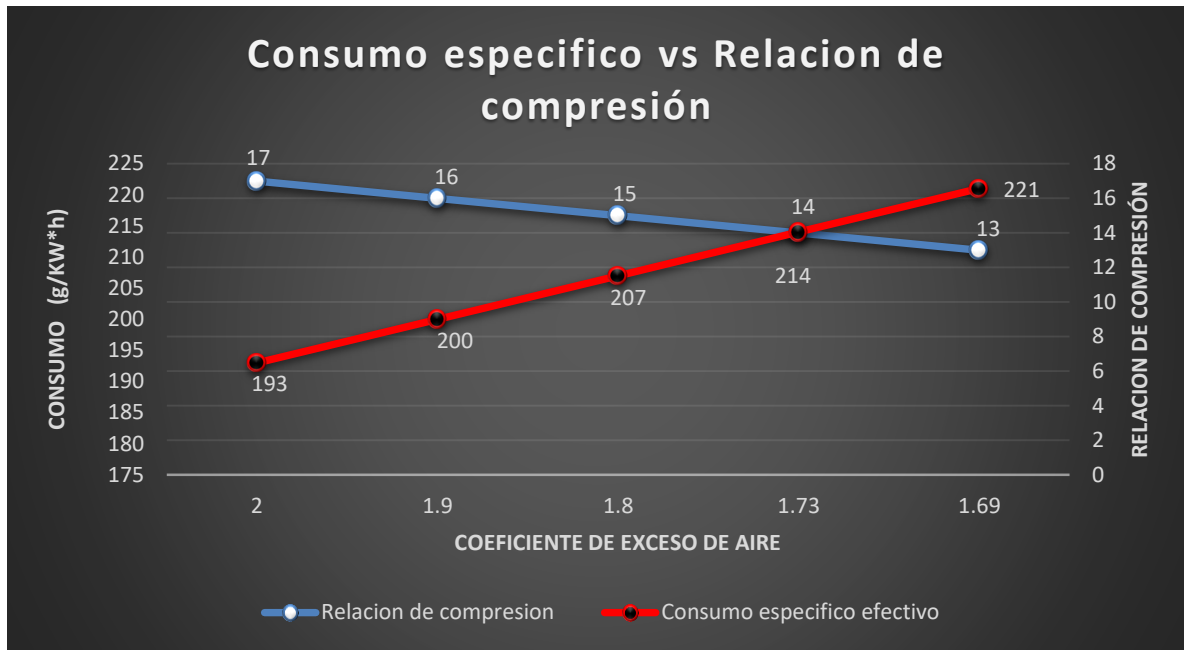


Fig. 3.1 Relación de compresión contra consumo especifico calculado mediante el software Matlab.

A medida que se incrementa la relación de compresión se elevan la temperatura y presión del aire en el instante de comienzo de la inyección. Como consecuencia, los retrasos de la inflamación se reducen, la velocidad de crecimiento de la presión disminuye y el funcionamiento es más suave. (Jóvaj, 1987)

Al disminuir la relación de compresión también disminuye la presión media del ciclo, la temperatura al final de la compresión y la presión al final de la compresión lo que acarrea una disminución en el rendimiento del motor, así como un aumento del consumo de combustible.

En la **figura 3.2** se observa como con el aumento de la temperatura del aire de carga afecta el consumo de combustible también es necesario variar el coeficiente de exceso de aire para mantener la potencia del motor.

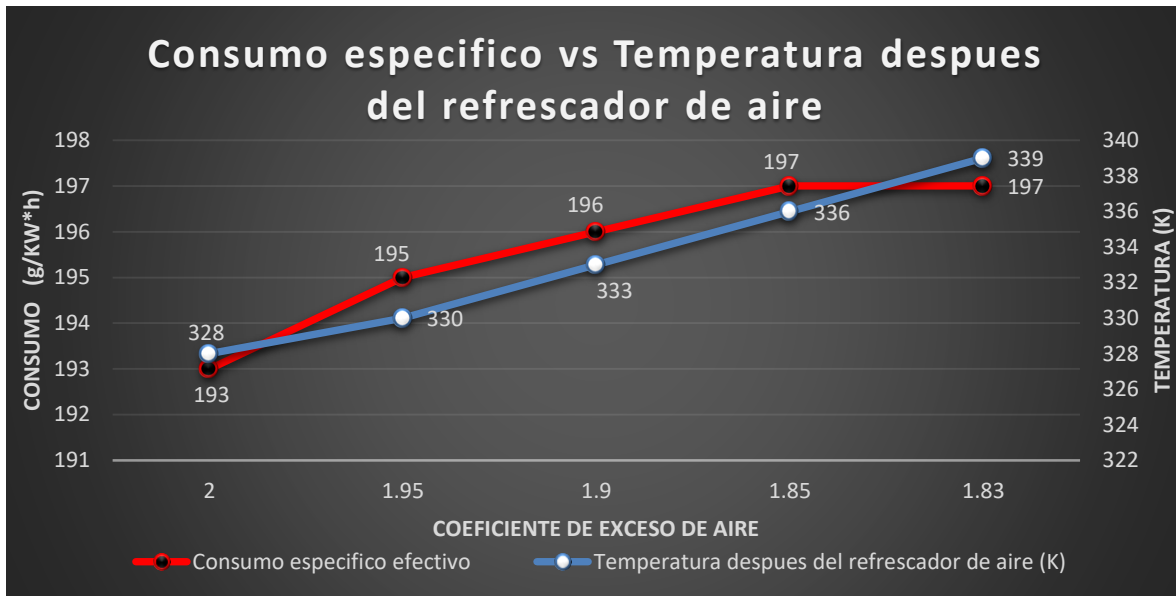


Fig. 3.2 Temperatura después del refrigerador de aire contra consumo específico

En el motor Diésel el combustible se introduce y evapora al final de la compresión, por eso calentar la carga de aire durante la admisión no es conveniente, ya que aumenta la variación de la temperatura (ΔT , el cual es la variación de la temperatura del aire de carga debido al calentamiento de partes y piezas del motor) y respectivamente disminuye el rendimiento volumétrico (η_v). (Martínez, 2000).

El grado de calentamiento de la carga depende de la velocidad de su movimiento, de la duración de la admisión, así como de la diferencia de temperaturas entre las paredes y la carga. Al aumentar la temperatura de la carga, su densidad disminuye, por lo que el calentamiento excesivo influye negativamente sobre el llenado del cilindro. (Jóvaj, 1987)

Al aumentar la temperatura del aire de carga disminuye la densidad de la carga en la admisión y el rendimiento volumétrico lo que trae consigo un aumento directo del consumo de combustible al ser necesario inyectar más combustible para compensar la pérdida de potencia por lo que el coeficiente de exceso de aire disminuye.

En la **figura 3.3** se observa cómo afecta la disminución de la presión en la admisión el consumo de combustible al disminuir esta es necesario disminuir

también el coeficiente de exceso de aire debido a que es necesario inyectar más combustible para compensar la pérdida de potencia.

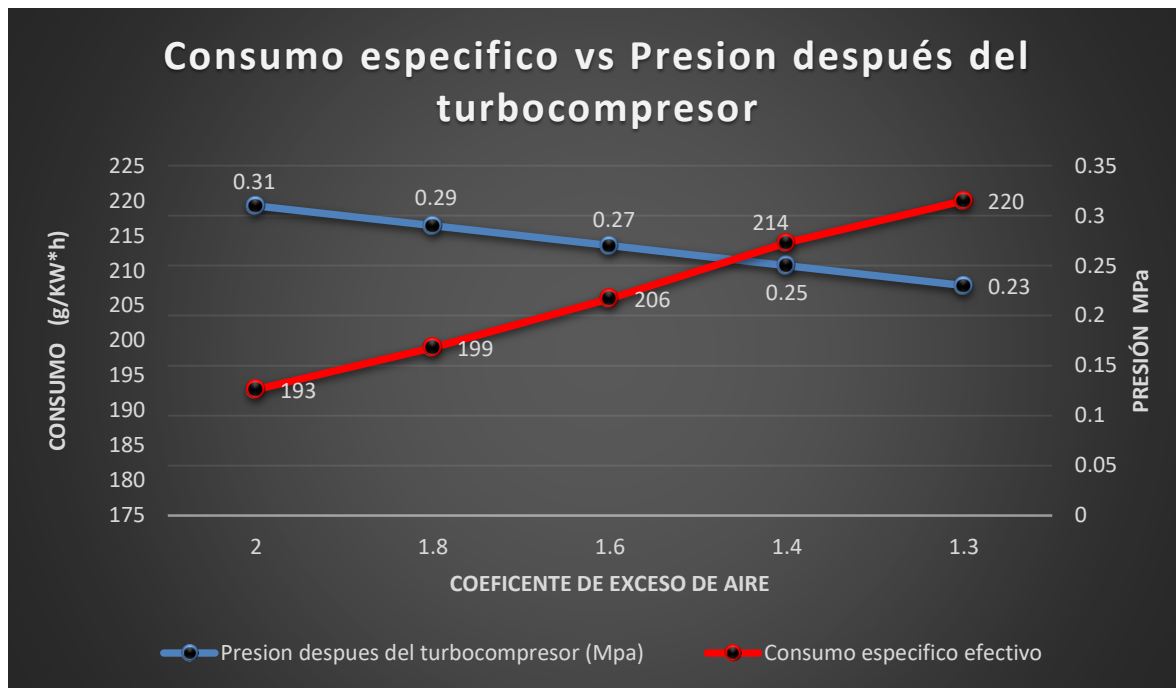


Fig. 3.3 Presión después del turbocompresor contra consumo específico MPa

En los motores Diésel de cuatro tiempos con sobrealimentación, la densidad de carga puede incrementarse considerablemente elevando la presión del aire o mezcla que ingresa al cilindro, en los cuales la presión de sobrealimentación no se limita por el surgimiento de la combustión detonante como ocurre con los motores de gasolina. Proporcionalmente a la densidad de carga, la presión efectiva crece, por consiguiente, la potencia por unidad de cilindrada del motor. Con el fin de garantizar la fiabilidad y una aceptable intensidad térmica en el motor Diésel sobrealimentado, se limita la presión máxima del ciclo y cuando funciona a régimen nominal, se eleva el coeficiente de exceso de aire (Jóvaj, 1987).

Al disminuir la presión del aire de carga se observa un aumento significativo en el consumo de combustible al ser necesario inyectar más combustible para mantener la misma potencia producto de que disminuye la presión media indicada del ciclo al ser directamente proporcionales.

3.3 Comparaciones del consumo de combustible de la planta contra los principales parámetros de operación de la planta entre 2012-2018

La **figura 3.4** muestra el comportamiento del consumo de combustible en el periodo de 2008-2018



Fig. 3.4 Comportamiento de los consumos de combustible entre 2008 y 2018

En la gráfica se observa el aumento paulatino del consumo de combustible con el transcurso de los años, se pasa de un promedio anual de 204 g/kWh a sobrepasar los 220 g/kWh haciendo inviable la generación de electricidad por este medio.

Este aumento del consumo de combustible está relacionado con la variación de los distintos parámetros del motor. A continuación, se hacen comparaciones de estos parámetros contra el consumo de combustible.

La **figura 3.5** muestra la tendencia del consumo de combustible con respecto a la variación de los mega Watts que se dejan de generar en la planta

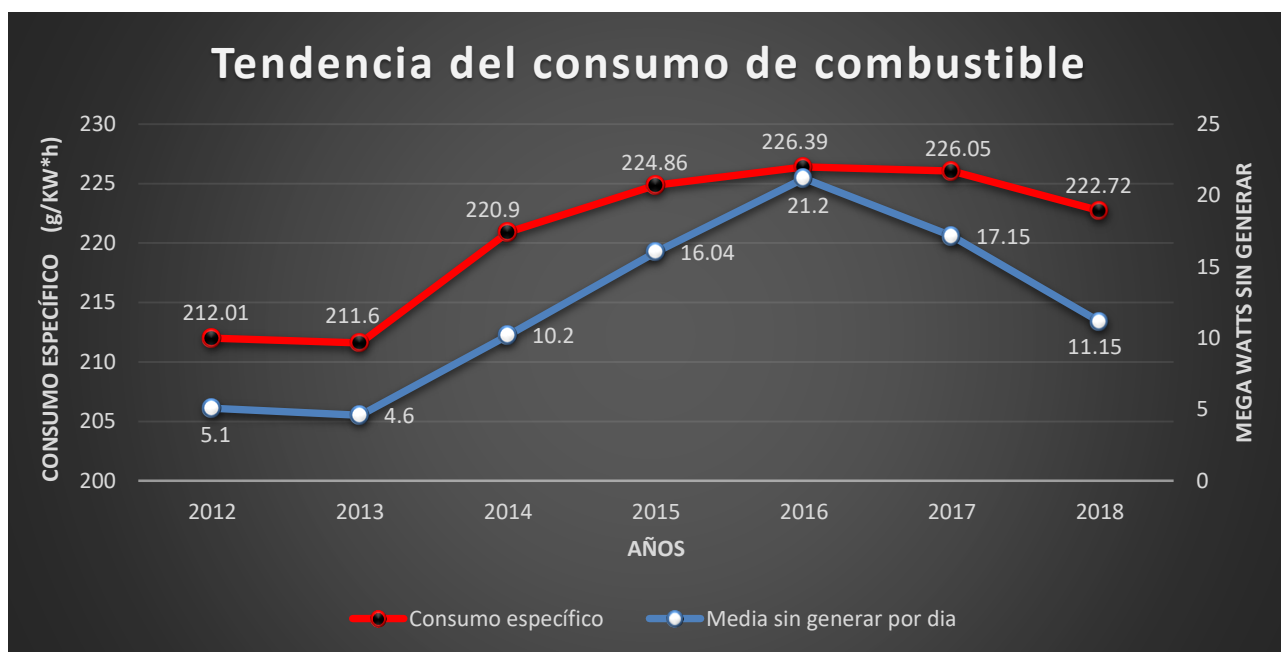


Fig. 3.5 Consumo de combustible contra media son generar diaria

Se observa la tendencia del aumento de consumo de combustible contra los Mega watts que se dejan de generar al estar trabajando los motores a baja carga esto tiene como referencia los motores trabajando a un 85% de cargabilidad se ve como al aumentar la cantidad de Mega watts sin generar aumenta el consumo de combustible. Se establece una relación directa entre el aumento del consumo de combustible y la cargabilidad de los motores esto está condicionado también por el tiempo de trabajo de los motores a baja carga.

La **figura 3.6** muestra la relación entre el consumo de combustible y la variación del porcentaje de carga de los motores.

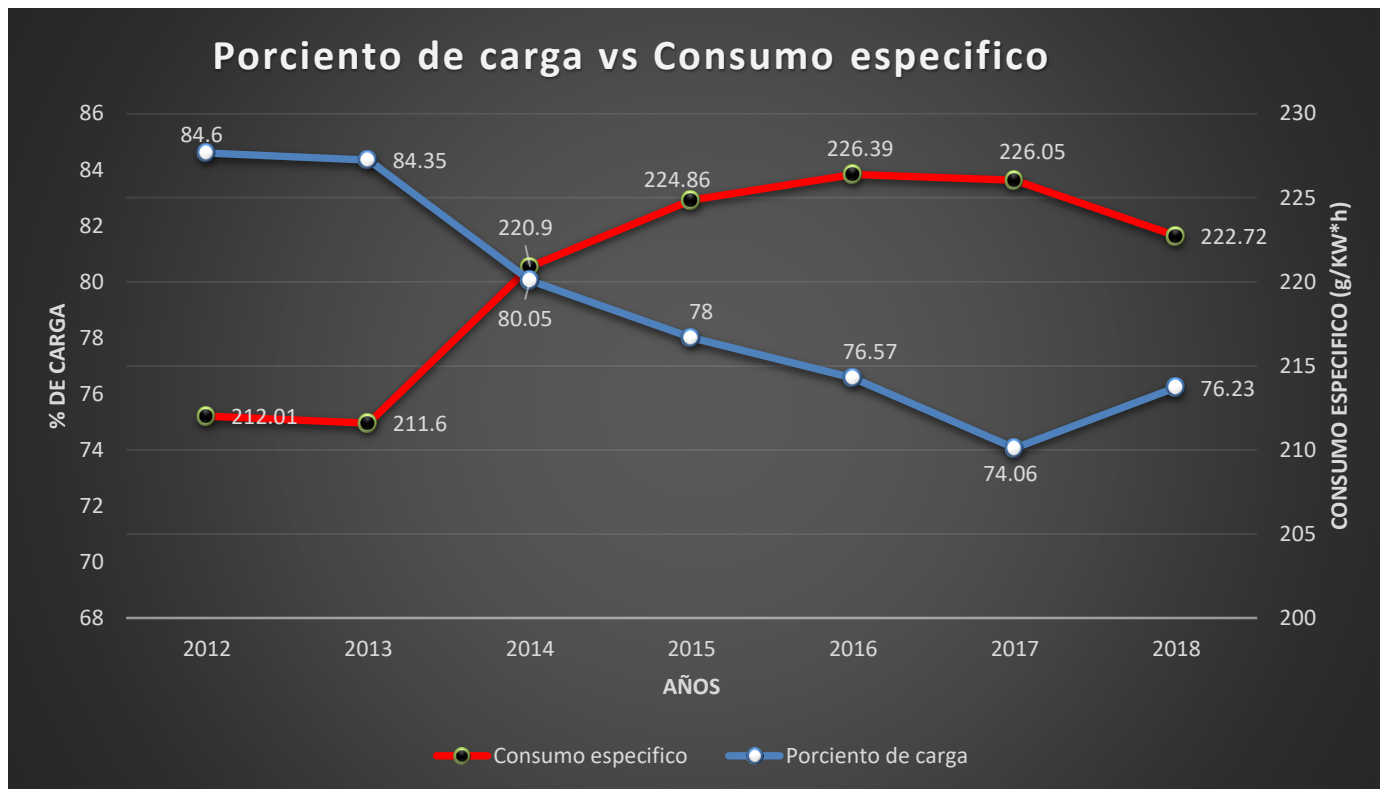


Fig. 3.6 Consumo especifico de combustible contra porciento de carga de los motores

En este grafico se ve como con la disminuci3n de la cargabilidad de los motores existe un aumento significativo del consumo de combustible siendo esta una de las principales causas del deterioro del 3ndice de consumo especifico, la variaci3n de la cargabilidad viene siendo causada por el deterioro de los motores y la falta de piezas de repuesto, as3 como la afectaci3n de par3metros como la temperatura de los gases de escape que hacen necesario bajar la carga de los motores.

En la **figura 3.7** se observa como está relacionado el aumento de la temperatura del aire de carga con el consumo de combustible

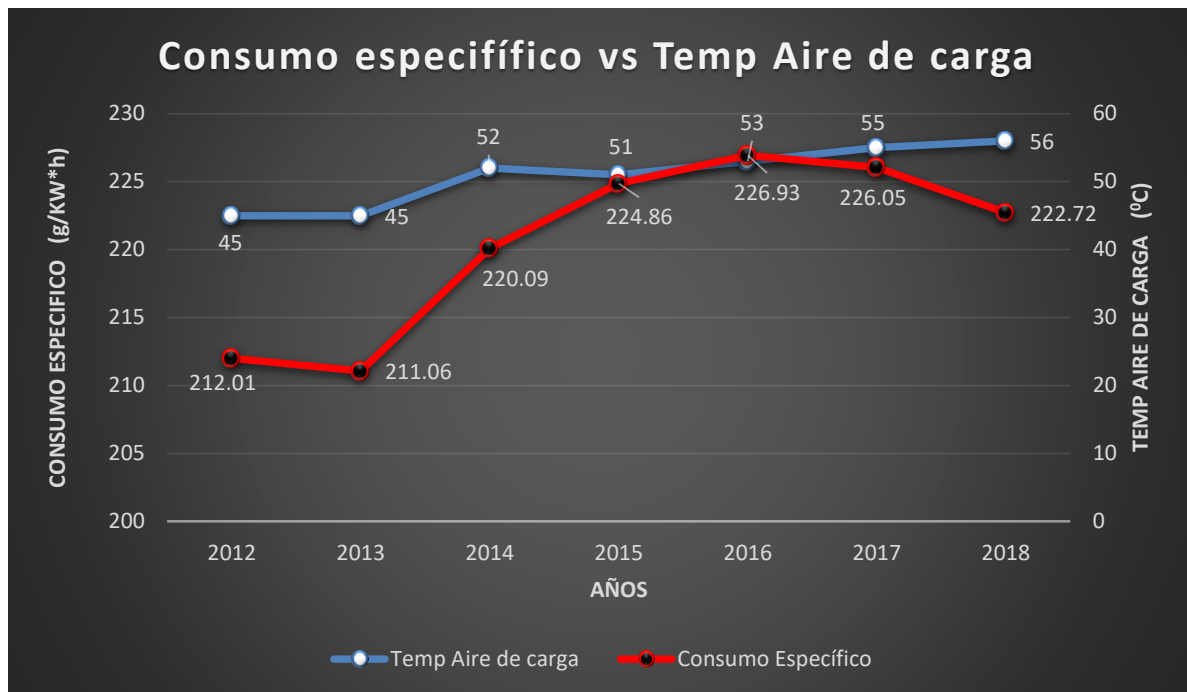


Fig. 3.7 Consumo específico de combustible contra temperatura del aire de carga

Esta gráfica muestra los resultados del consumo específico contra la temperatura del aire de carga, esta muestra el aumento del consumo y como varia la temperatura del aire de carga uno de los parámetros que más afectan el consumo de combustible. Esta temperatura se ve principalmente afectada debido a que la toma de aire de la admisión se encuentra dentro del contenedor que al faltar piezas de repuesto para los ventiladores de tiro inducido que refrescan el contenedor, en la **figura 3.2** se ve como teóricamente se afecta el consumo con el aumento del aire de carga.

En la **figura 3.8** se muestra la afectación del consumo de combustible con la variación de la presión del aire de carga.

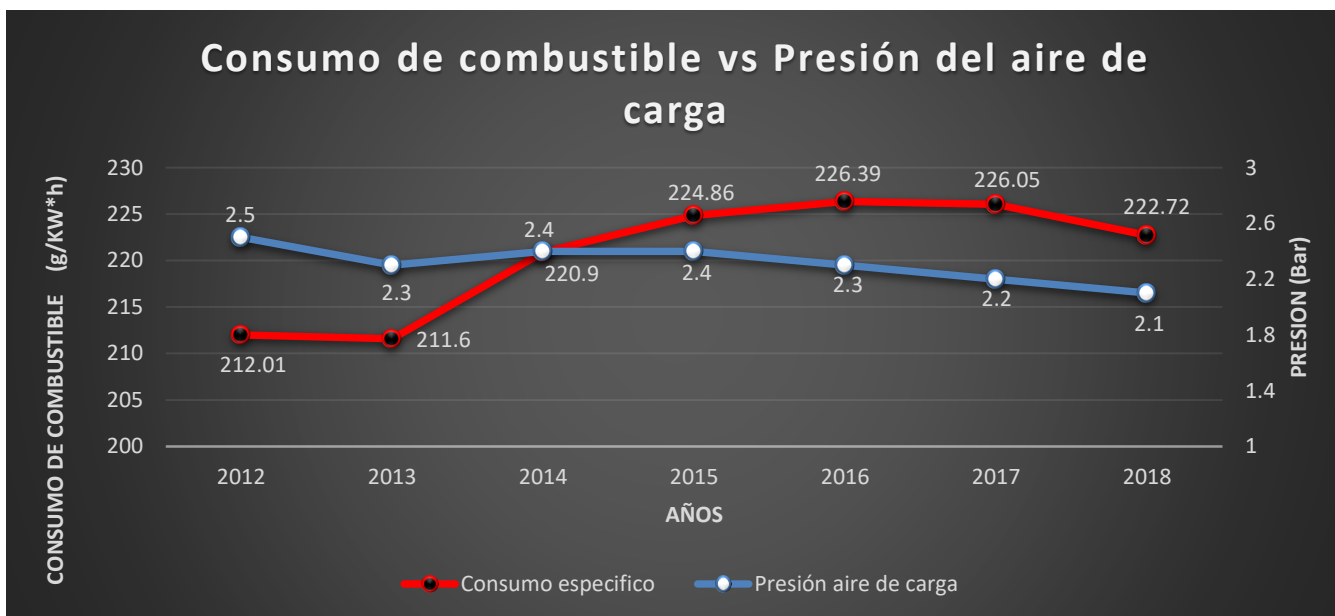


Fig. 3.8 Consumo de combustible contra presión del aire de carga

En la gráfica se observa el aumento del consumo de combustible contra la disminución de la presión del aire de carga. La disminución de la presión del aire de carga trae consigo una disminución del rendimiento volumétrico de la admisión y por lo tanto un aumento de los consumos de combustible. En la **figura 3.3** se observa como aumenta el consumo con la variación de la presión del aire de carga teóricamente lo que ayuda a explicar el comportamiento de la gráfica.

En la **figura 3.9** se muestra como la variación del agua de enfriamiento del aire de carga afecta el consumo de combustible

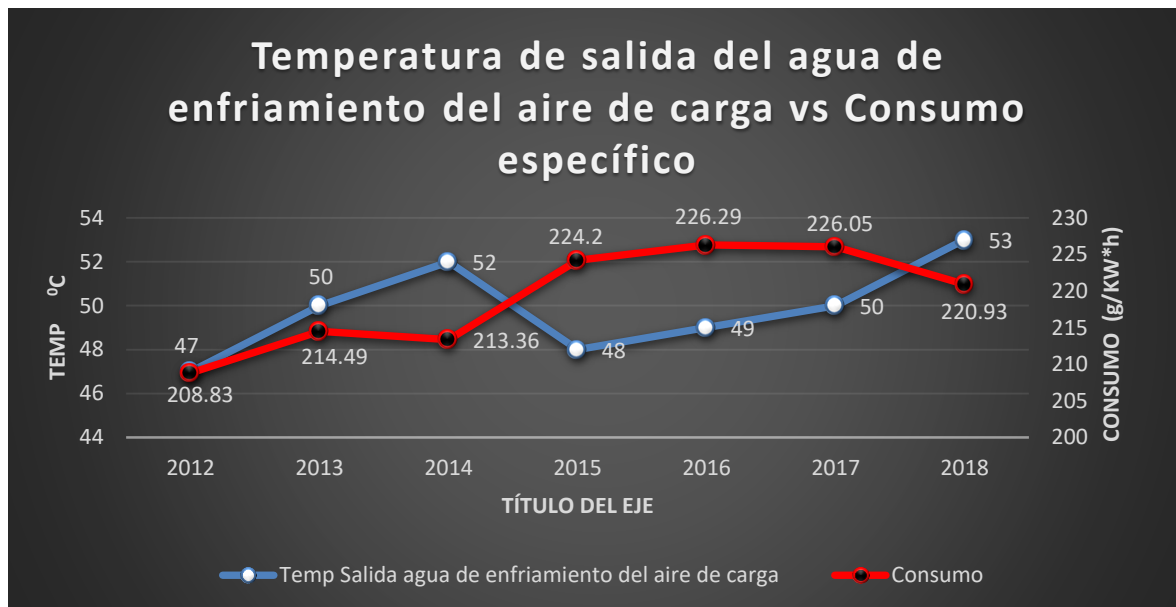


Fig. 3.9 Consumo específico contra temperatura de salida del agua de enfriamiento del aire de carga

En la **figura 3.9** se muestra la temperatura del agua de enfriamiento del aire de carga un aumento de esa temperatura significa que existe un correcto intercambio de calor con el aire de la carga por lo que el consumo de combustible baja al entrar el aire de carga a menor temperatura a la cámara de combustión.

La **figura 3.10** muestra la afectación del consumo de combustible producto del aumento de la temperatura de los gases de escape.

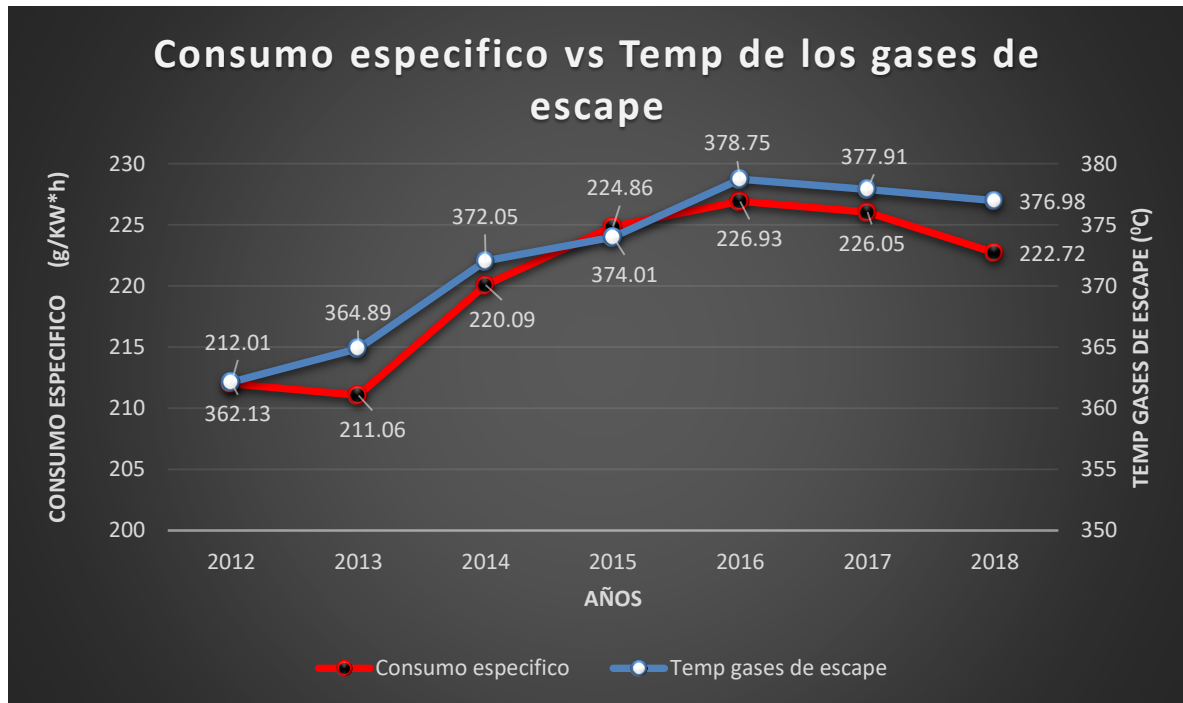


Fig. 3.10 Consumo específico de combustible contra temperatura de los gases de escape

La **figura 3.10** ejemplifica como varia el consumo de combustible con respecto a los gases en la salida de los cilindros, esto está directamente relacionado al aumento del consumo de combustible debido que un aumento de la temperatura de los gases de escape significa una disminución en el rendimiento del ciclo (se deja de aprovechar calor)

La **figura 3.11** muestra como varia el consumo de combustible al disminuir la presión de encendido del motor.

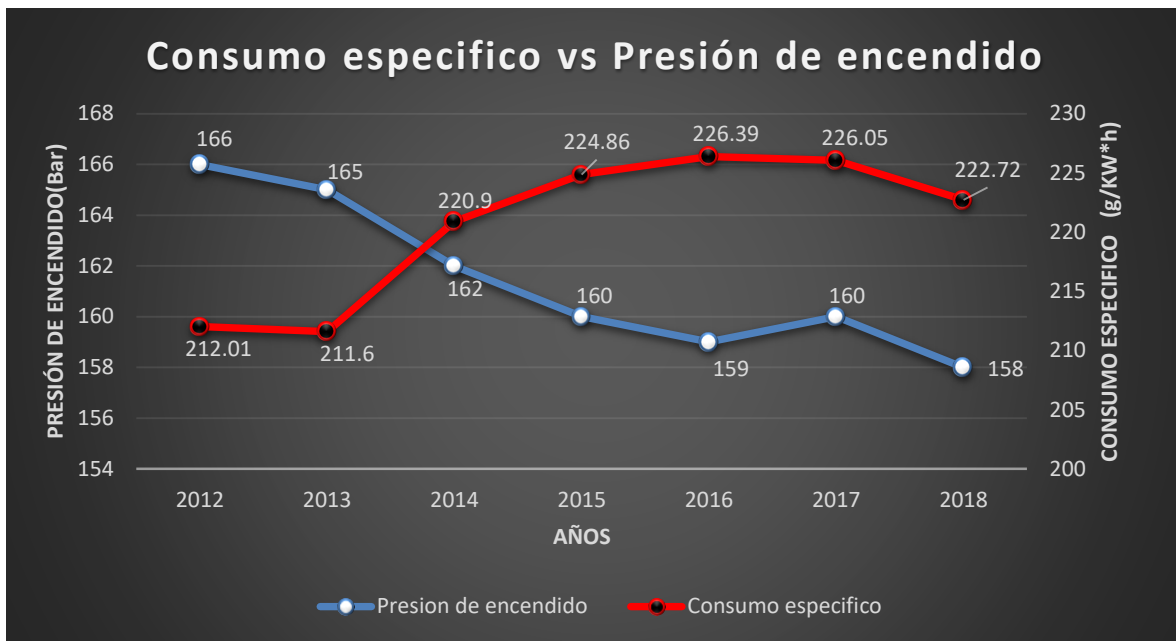


Fig. 3.11 Consumo especifico contra presión de encendido

En la **figura 3.11** se observa la variación del consumo de combustible contra la presión de encendido, la presión de encendido está directamente relacionada con la relación de compresión, al disminuir esta es necesario inyectar más combustible para mantener la misma potencia por lo que aumenta el consumo de combustible. En la **figura 3.1** se observa como la relación de compresión está relacionada con el aumento del consumo de combustible.

La **figura 3.12** muestra la variación del agua de enfriamiento de los cilindros a la salida y como está afecta el consumo de combustible.

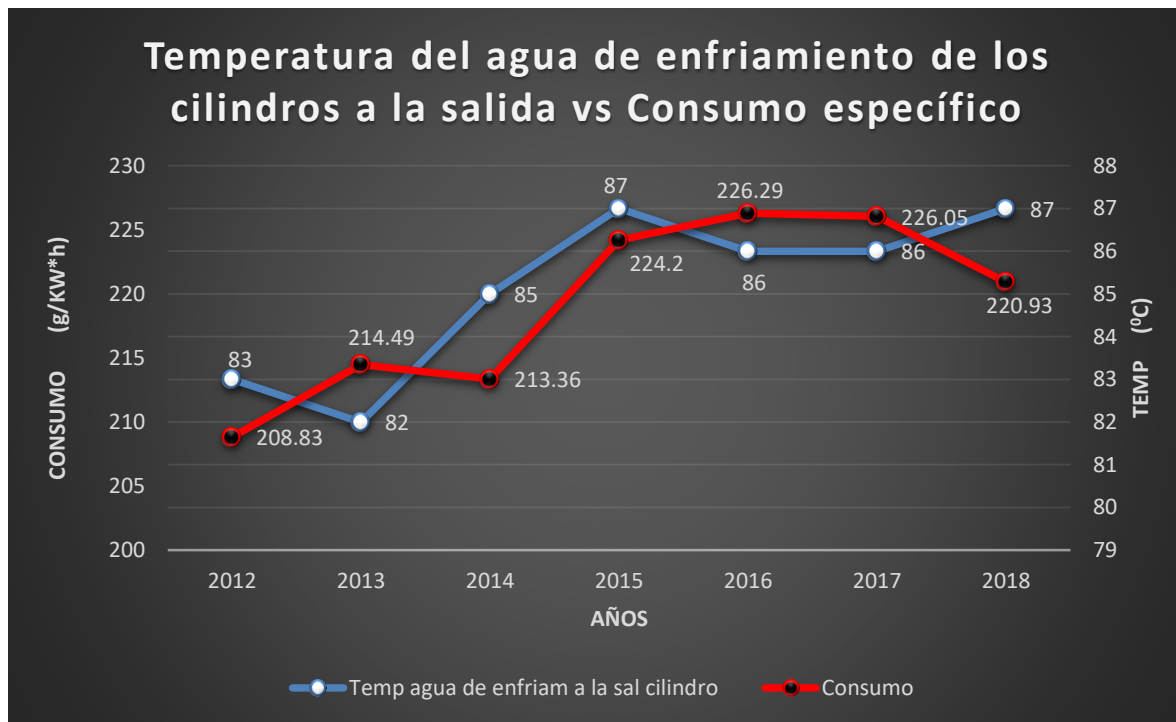


Fig. 3.12 Temperatura del agua de enfriamiento de los cilindros a la salida contra consumo específico.

En la **figura 3.12** se muestra como el aumento del agua de enfriamiento de los cilindros aumenta el consumo de combustible esto trae como consecuencia el aumento de la temperatura en la cámara de combustión la cual es una de las causas fundamentales por la cual es necesario bajar la carga de los motores.

3.4 Principales deficiencias que afectan el consumo de combustible en la planta

El aumento del consumo de combustible está condicionado por los disímiles factores que afectan los motores según el intercambio con los operarios y los análisis realizados son:

- El principal factor que afecta el consumo es la carga de los motores la cual es necesario bajar de su óptimo del 85% en momentos hasta el 60% producto del aumento de la temperatura de los gases de escape.
- El aumento de la temperatura del aire de carga trae consigo una disminución en el rendimiento del ciclo estos motores tienen la toma de aire de la admisión dentro del contenedor lo que significa que cuando no hay un correcto enfriamiento del interior del contenedor se eleva la temperatura de la admisión, también la suciedad en el enfriador del aire de carga afecta este parámetro.
- Un factor de suma importancia es la disminución de la relación de compresión que está relacionada directamente con la presión media indicada del ciclo lo que significa que una disminución de esta afectaría directamente el consumo de combustible y está dada por el desgaste de las piezas del motor (camisas, pistones, culatas).
- El mal funcionamiento de los equipos auxiliares (calderas, bombas de agua, centrifugadoras) es un factor que afecta la generación con fuel oil, así como el consumo de combustible
- Otro factor que afecta grandemente el consumo de combustible es el aumento de las r.p.m. del turbocompresor causada por las incrustaciones de los alabes de la turbina.

3.5 Recomendaciones para la solución del aumento del consumo de combustible

Es necesario una solución para los problemas de la central por lo que se recomienda:

Baja carga del motor

1. Sustituir los radiadores, ventiladores y extractores averiados para garantizar el correcto enfriamiento del motor.

Temperatura del aire de la admisión

2. Ubicar fuera del contenedor la toma de aire de la admisión
3. Realizar el correcto aislamiento de los múltiples de escape y de admisión que al estar ubicado uno encima del otro ocurre un intercambio de calor entre ellos
4. Realizar el cambio de los enfriadores del aire de carga los cuales están en mal estado.

Disminución de la relación de compresión

5. Realizar la compra de culatas nuevas, las existentes ya están en muy malas condiciones técnicas y en el país en estos momentos no se encuentran ninguna como repuesto.

Equipos auxiliares

6. Reparar y garantizar el correcto funcionamiento de los equipos auxiliares como son las purificadoras y las bombas de agua de las calderas necesarias para operar con fuel oil.

Funcionamiento de los turbocompresores

7. Realizar el mantenimiento de los turbocompresores en menos tiempo de lo establecido para garantizar que no existan incrustaciones que afecten su funcionamiento.

3.6 Análisis medioambiental

La combustión se define como el proceso de reacciones químicas de oxidación que desprenden calor. Para que se lleve a cabo se requiere además del combustible la presencia del comburente y la energía de activación. El comburente es el oxidante (contiene el Oxígeno) y la energía de activación es la cantidad de energía que hay que aportar a la mezcla de combustible y comburente para que se inicie la combustión.

Cuando se quema un combustible hidrocarburo, utilizando la cantidad exacta de Oxígeno, el Carbono y el Hidrógeno se oxidan produciendo únicamente dióxido de carbono (CO_2) y agua (H_2O).

Es importante tener en cuenta que el CO_2 es el más común de los gases de efecto invernadero y su mayor fuente la constituye la quema de los combustibles fósiles. Cuando estos combustibles se queman, gran parte del contenido de carbón se emite como CO_2 y en menor proporción como CO , CH_4 y otros hidrocarburos que finalmente se oxidan a CO_2 en un periodo de aproximadamente 10 años.
(ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES, 2003)

En la **tabla 3.1** se muestran los distintos valores de emisión d dióxido de carbono para un kilogramo de combustible

Tabla 3.1 Emisiones de dióxido de carbono por kg de algunos combustibles
(GENERALITAT DE CATALUNYA COMISIÓ INTERDEPARTAMENTAL DEL CAMBIO CLIMÁTICO, 2011)

COMBUSTIBLE	FACTOR DE EMISIÓN ⁷
Gas natural (m^3)	2,15 kg CO_2/Nm^3 de gas natural
Gas butano (kg)	2,96 kg CO_2/kg de gas butano
Gas butano (número de bombonas)	37,06 kg $\text{CO}_2/\text{bombona}$ (considerando 1 bombona de 12,5 kg)
Gas propano (kg)	2,94 kg CO_2/kg de gas propano
Gas propano (número de bombonas)	102,84 kg $\text{CO}_2/\text{bombona}$ (considerando 1 bombona de 35 kg)
Gasoil (litros)	2,79 kg CO_2/l de gasoil ⁸
Fuel (kg)	3,05 kg CO_2/kg de fuel
GLP genérico (kg)	2,96 kg CO_2/kg de GLP genérico
Carbón nacional (kg)	2,30 kg CO_2/kg de carbón nacional
Carbón de importación (kg)	2,53 kg CO_2/kg de carbón de importación
Coque de petróleo (kg)	3,19 kg CO_2/kg de coque de petróleo

Con el aumento del consumo de combustible también crecen las emisiones de gases de efecto invernadero a la atmosfera un ejemplo de estos gases es el dióxido de carbono el principal expulsado en la combustión de combustibles fósiles

En el 2012 se consumio 16 914.4 toneladas de fuel oíl y 570.1 de diésel emitiéndose a la atmosfera un total de 53179.5 toneladas de CO₂, en el 2018 el consumo fue de 15 392.2 toneladas de fuel oíl y 4521.14 toneladas diésel lo que hace un total de emisiones de dióxido de carbono de 59 560.2 toneladas, esto representa un aumento de las emisiones anuales de 6380.7 toneladas.

3.7 Análisis económico

El precio de los combustibles en el mercado está relacionado con múltiples factores mundiales por lo que para realizar esta comparación se tomó el precio del combustible el día 20 de junio de 2019. Se compara cuánto costaría en la actualidad si el consumo estuviera en los índices adecuados con el consumo del año 2012. En la actualidad el precio de combustible es de 393.61 USD por tonelada de fuel oíl y 604.28 USD la tonelada de diésel. (Ministerio de Energía, Turismo y Agenda Digital, 2019)

En el año 2012 se consumio 16 914.4 toneladas de fuel oíl lo que significa un gasto de 6 657 677 USD y 570.1 de diesel que es igual a un gasto de 344 500 USD lo que hace un total de 7 002 177 USD, en el 2018 el consumo fue de 15 392.2 de fuel oíl lo que es igual a un costo de 6 058 524 USD y 4521.14 toneladas diésel lo que significa un costo de 2 732 036 USD que hace un total de 8 790 560 USD esto significa que hay un aumento anual del gasto de 1 788 383 USD.

Conclusiones

- Los principales parámetros que afectan el consumo de combustible en la central eléctrica son porcentaje de carga del motor, velocidad del turbo compresor, temperatura de fuel oil a la entrada del motor, presión de aceite lubricante a la entrada del motor, temperatura del aceite lubricante a la entrada del motor, temperatura del agua de enfriamiento de alta presión a la entrada y salida del motor, temperatura del agua de enfriamiento de baja presión a la entrada y salida del enfriador de aire de carga, temperatura del aire de carga, presión del aire de carga después del refrescador de aire, presión de encendido del motor, temperatura de los gases de escape en la salida de los cilindros.
- El cálculo teórico del ciclo térmico del motor de combustión interna Hyundai HIMSEN 9H21/32 empleando el programa Matlab obteniéndose resultados similares a los dados por el fabricante, se observa como la variación de los parámetros: relación de compresión, temperatura después del refrescador de aire, presión después del turbo cargador y coeficiente de exceso de aire afectan el consumo de combustible.
- Según los resultados obtenidos se verifica un aumento paulatino del consumo de combustible de un 5.47%, desde un índice de 208.83 en 2012 a 220.93 en el 2018, esto debido a la variación de los parámetros que sobre el influyen, el deterioro de los motores así como por la falla de muchos de los equipos auxiliares que empeoran las condiciones de trabajo.
- El factor de más incidencia en el consumo de combustible es el porcentaje de carga el cual de un índice óptimo de 85% en estos momentos se opera a un 76% como media
- Factor de carga al que resultan sometidos los motores de la planta influye de manera directa sobre el consumo de combustible de los mismos, por otro lado el comportamiento inadecuado de otros parámetros provocan la necesidad de disminuir la carga de los motores.

- El aumento del consumo de combustible tiene como consecuencia un aumento en la contaminación ambiental ya que las emisiones anuales de dióxido de carbono se han incrementado en 6380.7 toneladas
- El sobreconsumo de combustible trae aparejado un aumento de los costos de operación que se han incrementado en 1 788 383 USD anualmente por compra de combustibles.

Recomendaciones

- Realizar un análisis más profundo del sistema de agua de enfriamiento de los motores y del flujo de aire del contenedor.
- Realizar un estudio del efecto que tendría ubicar fuera del contenedor la toma de aire de la admisión.
- Realizar un estudio del efecto sobre el consumo de combustible del mal funcionamiento de los equipos auxiliares los equipos

Bibliografía

- ACCIÓN, E. E. 2016. ¿Qué son las PM?
- CALZADA, M. B. H., VALLINA, M. L. B., CASTILLO, A. M. D., GUERRA, E. F. & DÍAZCONCEPCIÓN, A. 2012. Análisis de criticidad de grupos electrógenos de la tecnología fuel oil en Cuba. 21.
- CHEONHA-DONG & DONG-GU 2003. "Energoinport Operation&Maintnance Manual for 1700KW Packaged Power Stations".
- DÍAZ, P. R. 1990. COMBUSTIÓN. In: VILLAS., U. C. D. L. (ed.).
- ENERGÍA, C.-N. P. E. U. E. D. L. 2014. Generación distribuida Energía de calidad [Online]. Available: <http://www.gob.mx/conuee/acciones-y-programas/que-es-la-generacion-distribuida-estados-y-municipios>.
- FERNÁNDEZ, C. 2011. Calidad de la energía y generación distribuida en Cuba.
- ARREGOITÍA, YOANNY_C. E. U. C. S. 2018. Control de Operadores Fuel .
- ARREGOITÍA, YOANNY_C. E. U. C. S. 2017. Control de Operadores Fuel .
- MARTÍNEZ, R. M., DÍAZ, I. L., DÍAZ, P. R., GONZÁLEZ, Á. R., BLANCO, C. P. D. A. & (UNE), G. G. G. 2008. Perspectivas del aprovechamiento masivo del calor de desecho de las baterías de grupos electrógenos.
- MEGANEBY, D. 2014. Aficionados a la Mecánica.
- RODRÍGUEZ, J. F. 2002. Contaminantes atmosféricos primarios y secundarios.
- GONZÁLEZ, VALDÉS, R. P. 2006 Consumo de combustible de los motores de combustion interna
- UMAÑA, RAMON, 2015 Propuesta de mantenimiento preventivo ajustado a la explotación de los motores imsen 921/32 de la batería 8 en la planta Che Guevara VI, ubicada en el municipio de Nagarote en el periodo de enero a julio del año 2015
- TORRES, Y. L. 2010. Estudio y uso del Lodo producido en la Generación Distribuida. Departamento de Energía. Universidad Central "Marta Abreu" de Las Villas.
- MARTINEZ, R. M y otros, 2000. Motores de Combustión Interna

ENERFUSA,2019. Electrogenos Hyundai.

HYNDAL-HIMSEN CATALOG,2010

ACADEMIA COLOMBIANA DE CIENCIAS EXACTAS, FÍSICAS Y NATURALES,
2003. Factores de emisión de los combustibles colombianos.

GENERALITAT DE CATALUNYA COMISIÓ INTERDEPARTAMENTAL DEL
CAMBIO CLIMÁTICO, 2011.Guía práctica para el cálculo de emisiones
de efecto invernadero.

MINISTERIO DE ENERGÍA, TURISMO Y AGENDA DIGITAL, GOBIERNO DE
ESPAÑA,2019. Precios de carburantes y combustibles

Anexos

Anexo 1



- 1- HTU
- 2- Generador de arranque en negro y compresores de arranque
- 3- Centro de control
- 4- Tanques de almacenamiento fuel
- 5- Baterías

Anexo 2

```
% Calculo térmico de motores
clear; clc;
disp('Introduzca los datos siguientes');
tipo = menu('Seleccione el tipo de combustible de su motor', 'Gasolina', 'Diesel o Fuel');
tiempos = 2*menu('Seleccione loss tiempos de su motor','2 Tiempos', '4 Tiempos');
if tipo==1
    index = 1;
elseif tiempos==2
    index = 2;
else
    index = 2+menu('Motor 4 Tiempos con:', 'Inyección Directa', 'Precámara', 'Cámara de Turbulencia');
end
C = input('Composición másica de Carbono del combustible: ');
H = input('Composición másica de Hidrógeno del combustible : ');
O = input('Composición másica de Oxígeno del combustible: ');
alfa = input('Coeficiente de exceso de aire : ');
To = input('Temperatura atmosférica (To): ');
Po = input('Presión atmosférica (Po) en: ');
deltaT = input('Incremento de la temperatura de la carga: ');
Tr = input('Temperatura de gases residuales: ');
Pr = input('Presión de gases residuales: ');
Pa = input('Presión al final de la admisión: ');
epsilon = input('Relación de compresión: ');
Tk = input('Temperatura después del compresor: ');
Pk = input('Presión después del compresor (Pk) en [MPa]: ');
n1 = input('Exponenete politrópico de compresión (n1): ');
epsilonZ = input('Coeficiente de aprovechamiento del calor (epsilonZ): ');
Hu = input('Baio valor calórico del combustible: ');
fprintf('Cantidad teórica de aire (lo) = %.2f kg (Lo) = %.3f kmol\n', lo, Lo);
fprintf('Cantidad total de aire (M1) = %.3f kmol\n', M1);
```



```

fprintf('Cantidad total de productos de la combustión (M2) = %.3f kmol\n', M2);
fprintf('\n');
disp('-----');
disp('                Admisión                ');
disp('-----');
fprintf('\n');
fprintf('Presión (Pa) = %.3f MPa\n', Pa);
fprintf('Temperatura (Ta) = %.0f K\n', Ta);
fprintf('Rendimiento volumétrico (eta_v) = %.2f\n', eta_v);
fprintf('Densidad de la carga (rho_0) = %.3f\n', rho_0);
fprintf('\n');
disp('-----');
disp('                Compresión                ');
disp('-----');
fprintf('\n');
fprintf('Presión (Pc) = %.3f MPa\n', Pc);
fprintf('Temperatura (Tc) = %.0f K\n', Tc);
fprintf('\n');
disp('-----');
disp('                Combustión                ');
disp('-----');
fprintf('\n');
fprintf('Presión (Pz) = %.3f MPa\n', Pz);
fprintf('Temperatura (Tz) = %.0f K\n', Tz);
fprintf('Energía interna a Tz (Uz) = %.0f kJ/kmol\n', Uz);
fprintf('\n');
disp('-----');

```

```

disp('-----');
disp('                Expansión                ');
disp('-----');
fprintf('\n');
fprintf('Presión (Pb) = %.3f MPa\n', Pb);
fprintf('Temperatura (Tb) = %.0f K\n', Tb);
fprintf('\n');
disp('-----');
disp('                Parámetros Principales                ');
disp('-----');
fprintf('\n');
fprintf('Presión media indicada del ciclo (Pi_nr) = %.3f MPa\n', Pi_nr);
fprintf('Rendimiento mecánico (eta_m) = %.2f\n', eta_m);
fprintf('Rendimiento indicado (eta_i) = %.2f\n', eta_i);
fprintf('Rendimiento efectivo (eta_e) = %.2f\n', eta_e);
fprintf('Consumo específico indicado (gi) = %.0f g/kWh\n', gi);
fprintf('Consumo específico efectivo (ge) = %.0f g/kWh\n', ge);
fprintf('Consumo horario de combustible (Gc) = %.1f kg/h\n', Gc);
fprintf('\n');

```

```

function [lo,Lo,l,M1,M2_alfa1,M2_exc,M2,miu0,gamma_r,Ta,eta_v,rho_0,Pc,Tc,miu_r,Uc,UcII_alfa1,UcII,Tz,Uz,rho,Pz,delta,Tb,Pb,Pi_nr,Pi,vp,Pm,Pe,eta_m,gi,

```

```

%                Parámetros Generales

```

```

lo = 1/0.23*(8/3*C+8*H-0);
Lo = 1/0.209*(1/12*C+1/4*H-1/32*O);

```

```

l = alfa*lo;
M1 = alfa*Lo;
M2_alfa1 = 1/12*C+1/2*H+0.79*Lo;
M2_exc = (alfa-1)*Lo;
M2 = M2_alfa1+(alfa-1)*Lo;
miu0 = M2/M1;

```

```

%                               Admisión

```

```

gamma_r = (Tk+deltaT)/Tr*Pr/(epsilon*Pa-Pr);
Ta = (Tk+deltaT+gamma_r*Tr)/(1+gamma_r);
eta_v = (epsilon*Pa*Tk)/((epsilon-1)*Pa-Ta*(1+gamma_r));
Ra = 8314/28.96;
rho_0 = Pa/(Ra*Tk)*1000000;

```

```

%                               Compresión

```

```

Pc = Pa*epsilon^n1;
Tc = Ta*epsilon^(n1-1);

```

```

miu_cv = 0.0023*Tc+20.196;
miuII_cv_c = 0.0032*Tc+21.811;

%           Combustión

miu_r = (M2+gamma_r*M1)/(M1*(1+gamma_r));
Uc = miu_cv*(Tc-273);
UcII_alfa1 = miuII_cv_c*(Tc-273);
UcII = UcII_alfa1*M2_alfa1/M2+Uc*(M2_exc/M2);

% Calculo de Tz
Tz = 0;
EnSuma = (epsilonZ*Hu*1000/(M1*(1+gamma_r)))+(Uc+gamma_r*UcII)/(1+gamma_r)+8.314*lamda*Tc)/miu_r;
dError = 1000000;

for Temp = 273:0.1:5000
    UzII = M2_alfa1/M2*(0.0026*(Temp-273).^2+23.846*(Temp-273))+M2_exc/M2*(0.0018*(Temp-273).^2+21.628*(Temp-273));
    error = abs(UzII-(EnSuma-8.314*Temp));
    if error < dError
        dError = error;
        Tz = Temp;
    end
end

Uz = M2_alfa1/M2*(0.0026*(Tz-273).^2+23.846*(Tz-273))+M2_exc/M2*(0.0018*(Tz-273).^2+21.628*(Tz-273));

% Final del cálculo de Tz
rho = miu_r/lamda.*Tz/Tc;
Pz = Pc*lamda;

```

```

%           Expansión

delta = epsilon/rho;
Tb = Tz/(delta^(n2-1));
Pb = Pz/(delta^n2);

%           Parámetros Principales

Pi_nr = Pa*(epsilon^n1/(epsilon-1))*(((lamda*(rho-1))+((lamda*rho)/(n2-1))*(1-(1/delta^(n2-1)))-(1/(n1-1))*(1-(1/epsilon^(n1-1)))))
Pi = phi_i*Pi_nr;

% CALCULO DE DIMENSIONES

opcion = menu('Que dato posee',' La Potencia efectiva (Ne)', 'El diámetro y la carrera del pistón (D)');

switch opcion
    case 1
        Ne = input('Potencia efectiva (Ne) en [kW]: ');
        i = input('Número de cilindros: ');
        vp = input('Asumir una velocidad media del piston (vp) [9 a 16 m/s]: ');
        J = input('Asumir una relación S/D [0.8 a 1.3]: ');
        A = input('Coeficiente A (Tabla 17 del Jovaj): ');
        B = input('Coeficiente B (Tabla 17 del Jovaj): ');
        Pm = A + B*vp;
        Pe = Pi - Pm;
        Vh = 30*Ne*t/(i*Pe*n);
        D = (4*Vh/(pi*J))^(1/3)*100;
        fprintf('El diámetro calculado es %.1f mm. \nIntroduzca el diámetro del pistón deseado (D) [mm]: ', D);
        D = input('');

```

```

S = D*J;
fprintf('La carrera calculada es %.1f mm. \nIntroduzca la carrera deseada (S) [mm]: ', S);
S = input('');
vp = S*n/30000;
Vh = pi*(D/200)^2*S/100;

```

```

case 2

```

```

S = input('Carrera (S) en [mm]: ');
D = input('Diámetro del pistón (D) en [mm]: ');
i = input('Número de cilindros: ');
t = 2*menu('Tiempos del motor','2 Tiempos', '4 Tiempos');
Vh = pi*(D/200)^2*S/100;
vp = S*n/30000;
A = input('Coeficiente A (Tabla 17 del Jovaj): ');
B = input('Coeficiente B (Tabla 17 del Jovaj): ');
Pm = A + B*vp;
Pe = Pi - Pm;
Ne = i*Vh*Pe*n/(30*t);

```

```

end

```

```

eta_m = Pe/Pi;
gi = 3600*((eta_v*rho_0)/(Pi*l));
ge = gi/eta_m;
eta_i = 3600/(gi*Hu);
eta_e = eta_i*eta_m;
Gc = ge*Ne/1000;

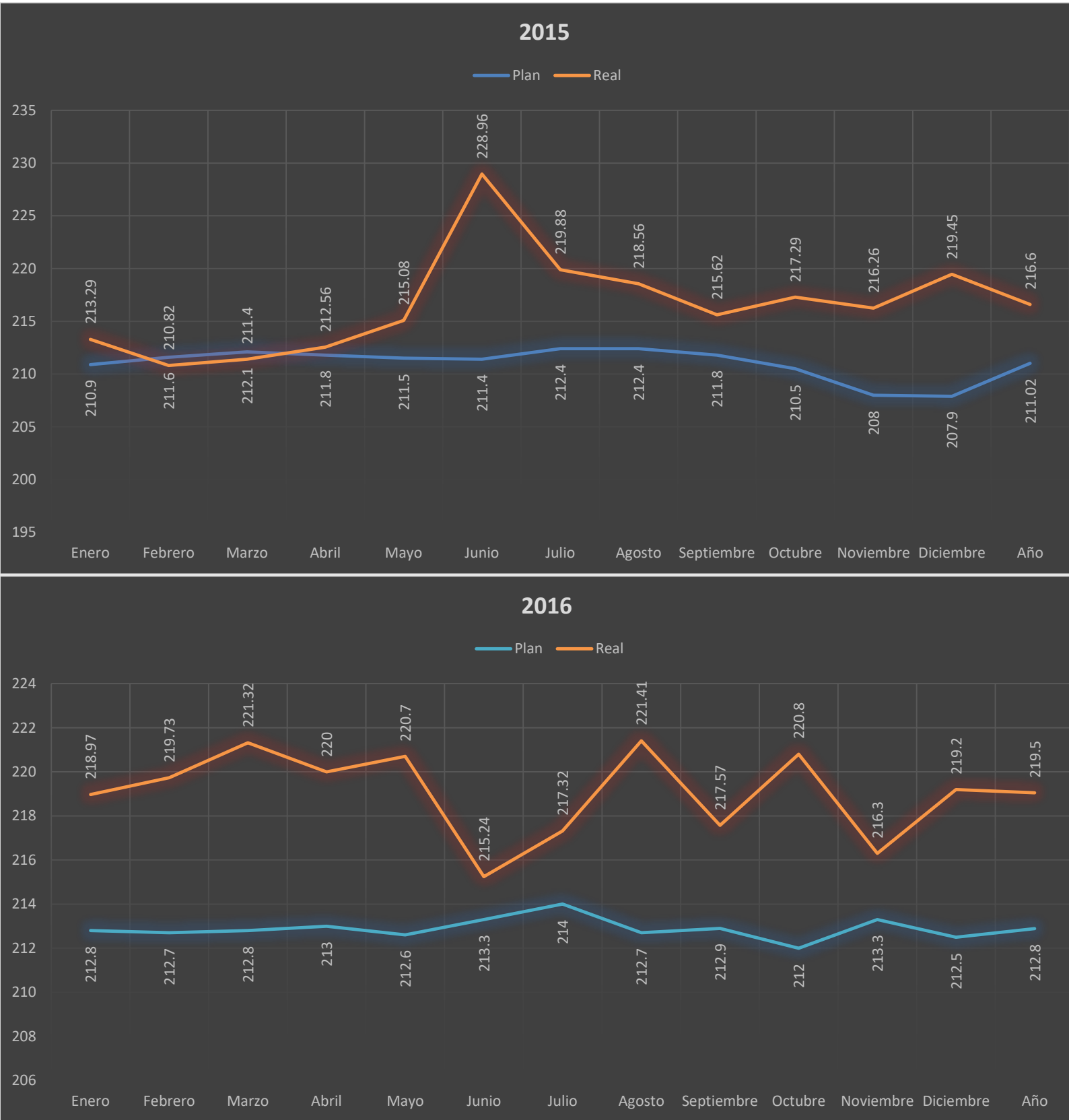
```

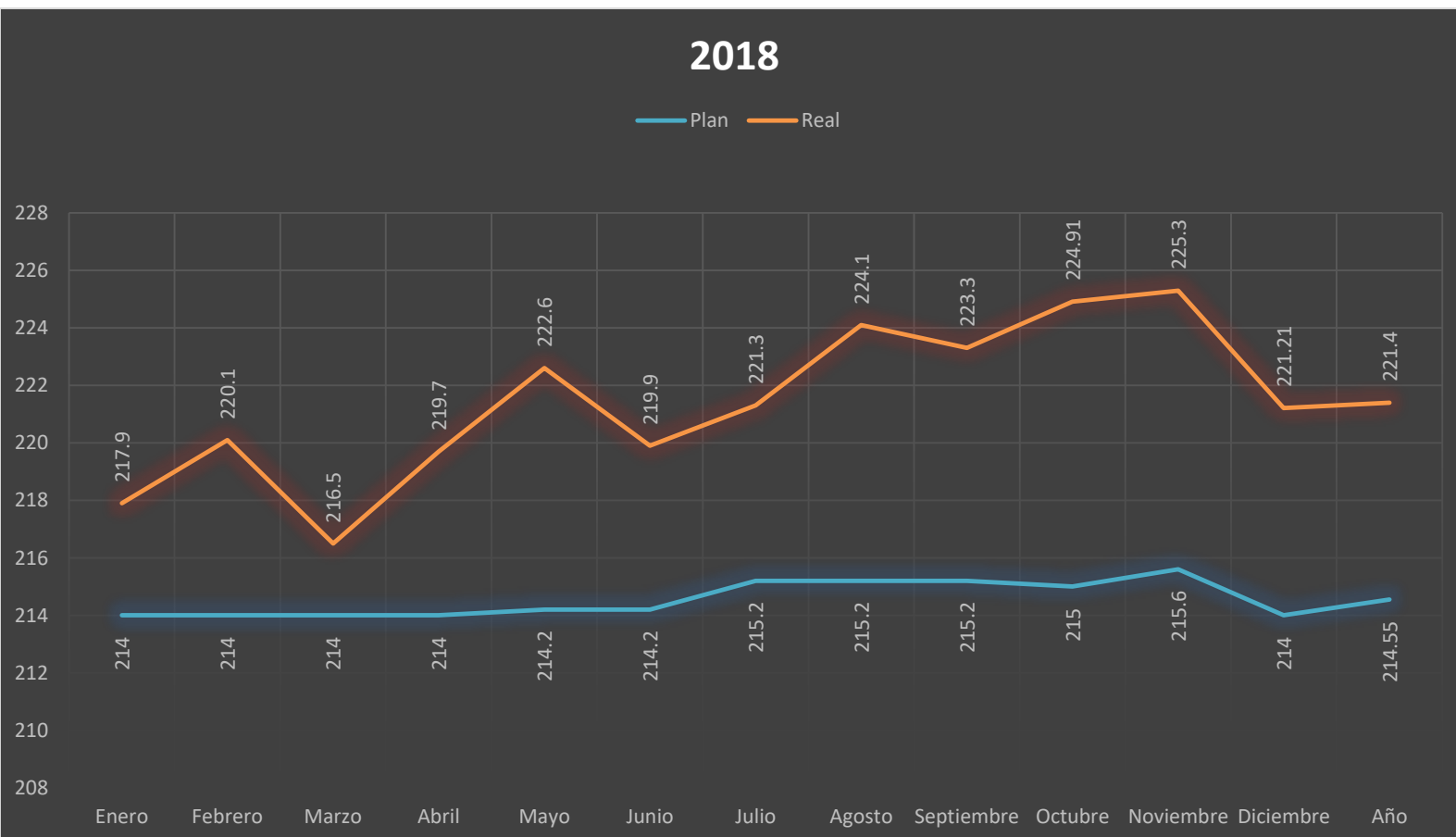
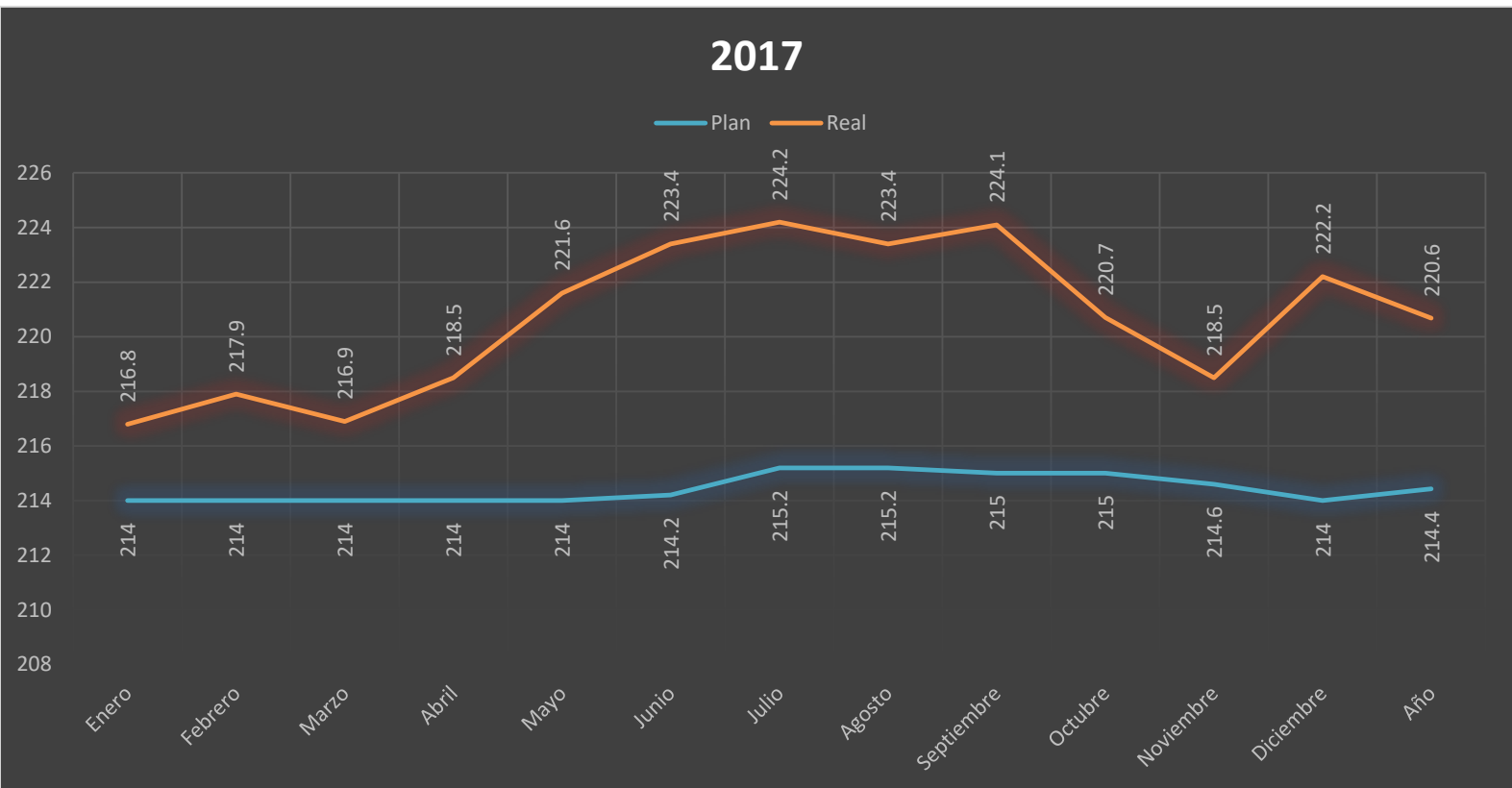
```

-end

```

Anexo 3 Comportamiento del plan de consumo de la planta





Anexo 4 Carta combustibles



Refinería Cienfuegos S.A. Gerencia Calidad. Grupo Control de la Calidad.
Finca Carolina. Cienfuegos. Cuba. CP: 55100
Teléfonos: +(53) 43 543255. E mail: bmartell@cuenpetrol.cu

DECLARACIÓN DE CONFORMIDAD

Datos del cliente y contrato:	Venta de Producto a Cupet.	Origen de la muestra:	TK-1031
Nombre del producto:	PETRÓLEO COMBUSTIBLE MEDIANO BV	Número de la muestra:	I-013496/19
Número del Lote:	TK-1031-33	Número de la declaración:	75
Cantidad (t):	----	Fecha emisión:	21/04/2019
Resultados:		Hora de emisión:	11:40 AM

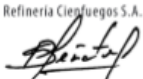
No.	ÍNDICE	UM	MÉTODO	LÍMITES	RESULTADO
1.	VISCOSIDAD A 50 °C	mm ² /s	ASTM D 88	181- 400	368.0
2.	AZUFRE TOTAL	% m/m	ASTM D 4294	3.0 máx	1.798
3.	TEMP. DE INFLAMACION	°C	ASTM D 93	62 mín	87.0
4.	TEMPERATURA DE FLUIDEZ	°C	ASTM D 97	+16 máx	3
5.	CENIZAS	% m/m	ASTMD 482	0.10 máx (1)	0.038
6.	CARBON CONRADSON	% m/m	ASTM D 189	15.0 máx	10.466
7.	VALOR CALÓRICO NETO	kcal/kg	ASTM D 4868	9500 mín	9752.71
8.	DENSIDAD A 15 °C	g/cm ³	ASTM D1298	0.9959 máx	0.9523
9.	GRAVEDAD A 15 °C	°API	ASTM D1298	10.5 min	17.0
10.	AGUA POR DESTILACION	% v/v	ASTM D 95	1.5 máx (1)	0.10
11.	SEDIMENTOS POR EXTRACCIÓN	% m/m	ASTM D 473	0.10 máx	0.01
12.	SEDIMENTO TOTAL ENVEJECIDO	% m/m	ISO 10307-2	(1)	0.01
13.	ASFÁLTENOS	% m/m	IP143	10.0 máx (1)	6.07
14.	ALUMINIO + SILICIO	ppm	IP 470	80 máx	8.34
15.	VANADIO	ppm	ASTM-D 5863	180 máx (1)	90.0
16.	SODIO	ppm	ASTM-D 5863	40 máx	13.38

Declaración:

Los índices de calidad de este producto están conforme al valor especificado en la enmienda #1 del catálogo de especificaciones de productos. Rama combustibles OC- MM 01/C 06 en su Versión 03, emitida el 03 de Enero de 2018..

Información adicional:

(1)-PARA LOS GRUPOS ELECTRÓGENOS SE ESPECIFICA EL GRADO BAJO VANADIO
CON: CENIZAS: 0.05 % m/m máx.; AGUA: 0.5 % v/v máx.; ASFALTENOS: 8 % m/m máx.; VANADIO: 150 ppm máx y SEDIMENTO TOTAL ENVEJECIDO: Reportar

Refinería Cienfuegos S.A.

Nestor David Alonso García
Téc. Gestión de la Calidad

Nestor David Alonso García .
Técnico en Gestión de la Calidad



