



Análisis de Combustibles Búnker C y Diésel en las Plantas de Generación Termoeléctricas en Honduras

Performance analysis of Bunker C and Diesel Fuels in Thermoelectric Generation Plants in Honduras

K.J. FLORES-VÁSQUEZ¹, M.A. FIGUEROA-RIVERA²

Recibido: 21 de febrero de 2022 / Aceptado: 25 de marzo de 2022

¹Universidad Nacional Autónoma de Honduras.

kfloresv@unah.hn

²Secretaría de Energía, Honduras

mfigueroa@sen.hn

RESUMEN

Se presenta una investigación exploratoria y documental sobre rendimientos térmicos de tecnologías de generación de energía eléctrica con el uso de combustibles fósiles (Búnker y Diésel). Al no contar con información técnica de los generadores usados en el país, el análisis consiste en la comparación de las estimaciones teóricas obtenidas de datos típicos de funcionamiento con los datos reportados por la Empresa Nacional de Energía Eléctrica (ENEE) y Operador del Sistema (ODS).

Este trabajo surge como una necesidad de contar con un recurso de soporte técnico para validar, corregir y mejorar los criterios usados por la Secretaría de Estado en el Despacho de Energía (SEN) en dictámenes técnicos de las solicitudes realizadas por las empresas generadoras de energía eléctrica para el trámite de exoneración de impuestos en el importe por concepto de Aporte para la Atención a Programas Sociales y Conservación del Patrimonio Vial (ACPV).

ABSTRACT

This report is an exploratory and documentary research on the performance of electricity generation technologies with the use of fossil fuels (Bunker and Diesel). As there is no technical information on the generators used in the country, the analysis consists of comparing the theoretical estimates obtained from typical operating data with the data reported by the National Electric Power Company (ENEE) and ODS (Operator of the Electric Power System). This work arises as a need to have a technical support resource to validate, correct and improve the criteria used by the Secretary of State in the Energy Office (SEN) in technical opinions of the requests made by electricity generating companies for the tax exemption process in the amount for the Contribution for Attention to Social Programs and Conservation of Road Assets (ACPV).

PALABRAS CLAVES

Combustible, Propiedades, Rendimiento

KEYWORDS

fuel, performance, properties

* Esta obra está bajo una licencia Creative Commons Reconocimiento - NoComercial 4.0 Internacional

* This work is licensed under a Creative Commons Attribution-NonCommercial 4.0 International License.

I | INTRODUCCIÓN

La energía proveniente de las plantas térmicas es sumamente importante para Honduras ya que en 2020, de acuerdo con el informe estadístico anual del subsector eléctrico de la Dirección General de Electricidad y Mercados (DGEM) , representó el 36.49 % de la producción total del país de los cuales, aproximadamente, el 99 % lo generó el sector privado del país. En Honduras, las tecnologías que usan combustibles fósiles más utilizadas son los motores de combustión interna con diésel y búnker “C” ya que son más fáciles de instalar, más pequeñas, menos costosas y más simples que las de combustión externa. También se ha generado energía con turbinas de gas (ciclo abierto) con Gas Licuado de Petróleo (GLP) pero desde octubre de 2019 no aparecen registros de generación con GLP, de igual forma, este último no es de nuestro interés principal ya que, a pesar de que sí es un combustible exonerado no lo cubre la Ley de Equidad Tributaria.

Este estudio es importante como soporte en el establecimiento de criterios para una fiscalización más rigurosa en la aprobación de exentos en conformidad con la ley de equidad tributaria de Honduras contenida en el Decreto Legislativo No. 51-2003, de forma que el bien exonerado sea destinados únicamente a las actividades que correspondan al marco de la ley y regulaciones vigentes en Honduras.

II | MARCO TEÓRICO

1 | Central Térmica

Una central térmica o central termoeléctrica, es una central en la que la energía calorífica contenida en el combustible se convierte en energía eléctrica. En Honduras las centrales térmicas son muy importantes ya que, según la DEGM, en 2020 representó el 36.49 % de la producción total y su distribución está plasmada en la tabla 1.

Tipo	Combustible	Gen. neta [GW-h]	Porcentaje [%]
Turbina a vapor	Bagazo	222.80	5 %
	Biomasa y residuos	201.26	5 %
	Coque de petróleo	424.09	10 %
Motor de CI	Diésel	186.81	4 %
	Búnker C	3240.83	74 %
Turbina a gas ciclo abierto	GLP	95.32	2 %
TOTAL		4371.10	100 %

Tabla 1: Energía generada por centrales termoeléctricas de acuerdo a tecnología y combustible

Fuente: Elaboración propia con datos de sieHONDURAS

⁰La DGEM es una unidad técnica especializada perteneciente a la SEN que se encarga de planificar, organizar, dirigir, asesorar las labores relativas a la formulación, coordinación, ejecución y evaluación de políticas, estrategias, y medidas relacionadas al desarrollo y modernización del subsector electricidad, fomento a la competitividad y eficiencia del mercado eléctrico nacional y acceso universal a la energía eléctrica.

La que nos interesa para este estudio es el motor de combustión interna y es en este donde la combustión ocurre fuera de la máquina a través de una máquina recíproca o intercambiador de calor. Se clasifican en turbinas de gas y motores-generadores que funcionan bajo los ciclos de funcionamiento de Otto, diésel y Combustión doble o mixto. Las eficiencias de estos motores-generadores varía entre el 35 % al 60 %, la eficiencia de la planta es una eficiencia conjunta entre el motor y el alternador variando de 30 % a 55 %.

Las máquinas de combustión interna que funcionan con combustibles derivados del petróleo como el diésel y el búnker, independientemente del ciclo en el que funcionen, presentan cuatro procesos: compresión y expansión adiabática, es decir, frontera aislada térmicamente; adición y rechazo de calor, isocórica (volumen constante) o isobárica (presión constante).

2 | Conceptos relacionados a rendimientos

A continuación, se definen matemáticamente las eficiencias:

2.1 | Eficiencia de Carnot

La eficiencia de Carnot es la eficiencia de un proceso térmico ideal. Naturalmente, las eficiencias de los procesos reales son menores ya que hay pérdidas involucradas. Es importante hacer una distinción entre pérdidas energéticas y exérgicas. Las pérdidas energéticas son principalmente pérdidas de calor y, por lo tanto, son energía que se pierde en el proceso. Las pérdidas exérgicas son pérdidas internas provocadas por procesos irreversibles de acuerdo con la segunda ley de la termodinámica.

2.2 | Eficiencia neta directa

$$\eta_{neta} = \frac{P_{neta}}{HI} = \frac{P_{neta}}{J\dot{M}_f Q'} \quad (1)$$

donde:

- P_{neta} : es la potencia de salida en los terminales de alta tensión del transformador elevador en MW. Este número considera el consumo de energía de todos los auxiliares de la planta
- HI : es la entrada de calor a la central eléctrica en MJ s^{-1} medida en el límite de la planta (es decir, flujo másico del combustible multiplicado por el poder calorífico, que a menudo suele tomarse el inferior (LHV), del combustible)
- J : Coeficiente de la ley de Joule
- \dot{M}_f : Masa del fluido por unidad de tiempo en Kg s^{-1}
- Q'_C : Calor que fluye al sistema por unidad de masa en MJ Kg^{-1}

3 | Combustibles

El combustible es definido como una sustancia compuesta principalmente por carbono e hidrógeno. Estos elementos al combinarse con el oxígeno de la atmósfera bajo ciertas circunstancias pueden

producir una considerable cantidad de energía (calor liberado de la combustión). Los combustibles son conocidos como aceites combustibles o *Fuel Oil* (FO) ya que tienen una menor densidad que el agua y no se disuelven en esta.

4 | Propiedades importantes de los combustibles

En la tabla 2 se muestran los valores aproximados de las propiedades de los combustibles ya que estos cambian de acuerdo a la composición de los mismos.

- La densidad relativa (DR) cantidad adimensional que expresa la relación entre la densidad del combustible a $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ y la de una sustancia estándar (agua a $4\text{ }^{\circ}\text{C}$).
- Poder Calorífico Inferior (PCI) y Poder Calorífico Superior (PCS)¹ Calor mínimo y máximo liberado de la reacción de combustión por unidad de masa o volumen de combustible.
- Capacidad calorífica específica (c)² Cantidad de calor necesario para aumentar la temperatura en 1 K de una muestra de 1 kg. La que se presenta en tabla es c_p capacidad calorífica específica a presión constante de $15\text{ }^{\circ}\text{C}$ a $27\text{ }^{\circ}\text{C}$.

$$c = \frac{Q}{m\Delta T} \quad (2)$$

- Peso molecular (mf) es la suma de los pesos atómicos de los átomos en una molécula.
- Viscosidad (V) es una medida de la resistencia interna de flujo, esta cantidad varía de acuerdo a la temperatura de forma inversa, si aumenta la temperatura el fluido es menos viscoso y si disminuye es más viscoso. En la tabla se presenta una comparación con la del agua.
- Punto de vertido o punto pobre (PP) es la temperatura más baja a la que el combustible es fácilmente bombeable.
- Punto de Flama (PF) es la temperatura más baja a la que se puede calentar el combustible para que el vapor destelle momentáneamente cuando se pasa una llama abierta sobre él.
- Punto de Autoignición (PAI) es la temperatura más baja en la que el elemento se enciende en una presión normal ($\approx 1\text{ atm}$) sin la presencia de una agente externo como una flama o una chispa.

¹ Son equivalentes a Low Heating Value (LHV) y High Heating Value (HHV) respectivamente

² La capacidad calorífica específica puede ser bien a presión o a volumen constante, estos valores son bastantes cercanos para sólidos. Para los combustibles líquidos es necesario considerar un factor $k \approx 1.05$ que es la relación entre los calores específicos.

	FO2 Diésel	FO6 Búnker C
Composición aproximada	30% Parafinas 45% Naftenos 25% Aromáticos	15% Parafinas 15% Mezcla ³ 25% Aromáticos 45% Alcanos
mf [u]	170	198
DR	0.825~0.925 Común: 0.876	0.958~0.982 Común: 0.980
Cp [kJ/kg K]	1.884	1.717
PCI [MJ/gal]	140.47	149.73
PCS [MJ/gal]	148.09	160.48
GAS Cp a 15 °C	0.4	0.4
Fuel + air γ	1.4	1.4
PF	~38 °C	>66 °C
PP	-7 °C	<16 °C
PAI	257 °C	407 °C
PN	No	104~127 °C
V ⁴	Lig. Alta	Muy Alta

Tabla 2: Propiedades de los combustibles

Fuente: Elaboración propia con datos de referencia Curl y O'Donnell (1977), Taylor (1985)

5 | Clasificación de los combustibles

La nomenclatura de la clasificación de los combustibles varía con los estándares de los países que se utilicen. Si se clasifica de acuerdo al punto de ebullición, composición y uso tendremos siete tipos de combustibles. Dentro de los aceites combustibles ligeros están: FO0 (gasolina), FO1 (queroseno), FO2 (diésel), FO3 (actualmente fusionado con FO2). Dentro de los aceites combustibles pesados o residuales: FO4 (Búnker A), FO5 (Búnker B) y FO6 (Búnker C).

Los combustibles más utilizados para generación de electricidad a nivel comercial son el Diésel y Búnker C. El búnker C, es el más barato y tiene el poder calorífico más alto por unidad volumétrica, esto significa que proporciona mayor energía 1 galón de Búnker C que 1 galón de gasolina o diésel. Sin embargo, a diferencia de los combustibles ligeros, el búnker C necesita un pretratado y esto hace que la máquina a base de Búnker C sea más grande y requiera un mayor costo de operación, lo que hace que la máquina a base de diésel sea una alternativa rentable y sea la segunda más utilizada en el país.

III | ANÁLISIS TERMODINÁMICO

1 | Ciclo Diésel

En este ciclo, inicialmente se aspira aire al cilindro durante la carrera de succión, el aire es comprimido a una presión alta de ≈ 3500 KPa y a una temperatura superior a la de ignición del combustible. El combustible es bombeado al cilindro por medio de la válvula justo antes del final de la compresión. La mezcla se realiza en el cilindro al final de la compresión. Debido a la alta temperatura del aire comprimido, se dispara el combustible. La inyección de combustible continúa regulada por el gobernador,

³ Mezcla con N₂, O₂, S

⁴ V: Viscosidad comparada con la viscosidad del agua

de tal manera que la combustión del combustible tiene lugar teóricamente, a presión constante. El aumento de presión resultante, debido a la combustión de combustible y la expansión de los productos de combustión, expulsa el pistón en su carrera de potencia y gira el cigüeñal. El cigüeñal a su vez impulsa la máquina conectada a él. Una vez completa la expansión de los productos de combustión, los gases quemados deberán eliminarse del cilindro del motor para dejar espacio para una mezcla fresca de combustible y aire.

- Tasa de compresión r y de corte r_c

$$r = \frac{v_1}{v_2} \quad \text{y} \quad r_c = \frac{v_3}{v_2}$$

- Eficiencia térmica:

$$\eta_{Diesel} = \frac{W}{Q_{ent}} = 1 - \frac{1}{r^{\gamma-1}} \left(\frac{r_c^\gamma - 1}{\gamma(r_c - 1)} \right) \quad (3)$$

Esta eficiencia no toma en cuenta las entradas o salidas de calor durante el proceso de compresión o expansión, no se consideran las pérdidas por fricción ni por la ignición instantánea a volumen constante. En la realidad el diagrama P-V de estos ciclos son muy parecidos al ideal pero el área es un poco menor.

2 | Método 1: Estimación rendimientos teóricos de máquina de combustión

La gran mayoría de los máquinas térmicas diésel comerciales tienen las siguientes características:

- $\gamma = \frac{c_p}{c_v}$ va de 1.38 a 1.43
- La relación de compresión típica va de 15.0:1 a 20.0:1
- La relación de corte típica va de 3.0:1 a 4.0:1
- A partir de la tabla 2 tenemos que el PCI de 140.47 MJ/gal para Diésel No. 2 y 149.73 para búnker C.

Entonces, usando la ecuación (3) sin considerar pérdidas se obtiene una eficiencia de 54 % a 60 %. En una planta no solo contamos con la máquina térmica, sino que también tenemos el alternador o generador, transformadores y las líneas de transmisión que se deben considerar para estimar la eficiencia general ya que es el dato que entrega el medidor en subestación el que se considera para venta. En la fig. 1 se muestra un estimado de los rendimientos de los elementos a considerar. Si estimamos las pérdidas de la siguiente forma:

- Máquina térmica: del 10 % al 15 % por calor, exceso de aire, reversibilidad, etc.
- Conversión mecánica a eléctricas: Las pérdidas varían de si se utiliza un alternador o un generador para esta etapa. También varía de acuerdo con el valor de funcionamiento, mientras más cercano esté de su valor nominal mayor será la eficiencia. Los valores típicos rondan entre 2 % y 20 %.
- Transformadores: pérdidas del 1 % al 5 %.
- Transmisión: Las pérdidas en transmisión en Honduras son inferiores al 3.5 %.

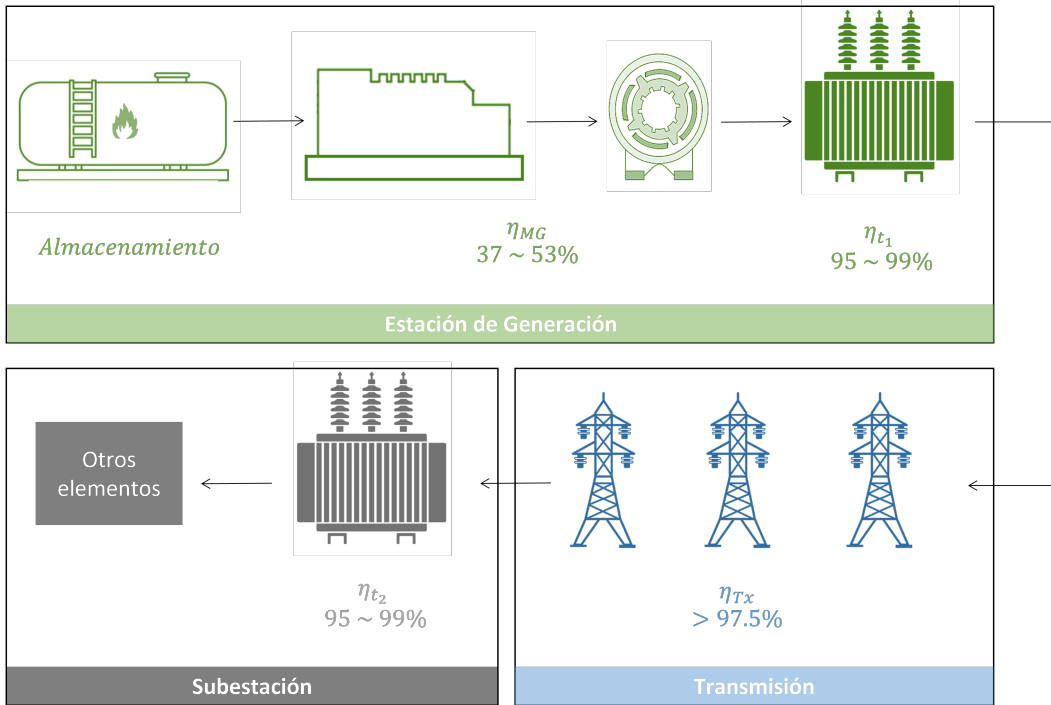


Figura 1: Diagrama de rendimientos

Fuente: Elaboración propia

En caso de que el medidor está localizado en la subestación la eficiencia media es de 44% con una incertidumbre del 9% y en caso de que esté justo después de la primera etapa de transformación tenemos una eficiencia media de $42\% \pm 8\%$.

Partiendo de (1) tenemos que la densidad de energía ($\frac{E_{neta}}{V}$ en kVA-h/gal se puede escribir como $\eta * \frac{PCI}{3.6}$ dado que $PCI = JQ'_c$ y para el Diésel este valor va de 140.47 a 148.09 MJ/gal. Entonces, se tiene una energía por galón media de 18 ± 4 kVA-h/gal para el caso del FO2.

Para el combustible FO6 consideramos la relación de PCI en MJ/gal y obtenemos: 1 gal de FO6 \approx 1.066 gal de FO2. Entonces, se tiene una energía por galón media de 19 ± 4 kVA-h/gal para el caso del FO6.

Considerando ahora el consumo propio de la planta, para el caso del Diésel la diferencia no es mucha, en general representa un poco menos del 2% de lo producido. Para el caso del búnker sí debemos considerar este término ya que el búnker necesita un precalentamiento para que el motor arranque con mayor suavidad y que consuma menos combustible; además, en caso que haya estado en contacto con agua u otros residuos es necesario usar un separador.

Si estimamos el precalentamiento despreciando la variación de la capacidad calorífica específica

con respecto a la temperatura, usando la ecuación de calor específico (2), usando los datos para el búnker de la tabla 2 y asumiendo un rendimiento mayor a un 75 % tenemos que la energía consumida para el precalentamiento de un galón de búnker es de aproximadamente 0.31 ± 0.08 kVA-h, ahora, considerando los demás elementos, deja un margen considerable el considerar un consumo propio de 1 kVA-h por cada galón. Ya con esta corrección se obtienen los resultados:

- Combustible de FO2 y FO6 de 18 ± 4 kVA-h/gal

3 | Método 2: Aproximaciones a partir de antecedentes

Hasta el momento no hay datos oficiales sobre el consumo de los generadores diésel. Utilizando los datos de *SHAKTI SUSTAINABLE ENERGY FOUNDATION* y los datos aproximados de *A GENERATOR SOURCE* se obtiene la eficiencia térmica promedio de los generadores a nivel mundial y el consumo específico de combustible con esto es posible construir la tabla 3.

Carga	Energía producida por galón [kVA-h]		
	≤ 300	De 300 a 600	≥ 600
25 %	10 ± 1	11 ± 1	11 ± 1
50 %	13 ± 2	14 ± 2	13 ± 2
75 %	13 ± 2	14 ± 2	14 ± 2
100 %	14 ± 2	14 ± 2	13 ± 2

Tabla 3: Energía producida por galón de acuerdo a capacidad de la máquina
Fuente: Elaboración propia con datos aproximados de Source (2020) y Foundation (2014)

4 | Método 3: Estimación a partir de datos del fabricante

Se analizaron las hojas de datos de 23 motores-generadores diésel elegidos de forma aleatoria de 9 fabricantes diferentes que suministran equipo al país. Dichos motores tienen diferentes capacidades, en su mayoría son trifásicos y funcionan en cuatro ciclos y la fecha de fabricación es posterior al año 1995. Los resultados se muestran a continuación:

Carga	Energía por galón [kVA-h/gal]	
	Fabricante	Estimado
25 %	13.6 ± 0.4	12.2 ± 0.4
50 %	15.3 ± 0.3	13.9 ± 0.3
75 %	16.0 ± 0.4	14.5 ± 0.4
100 %	16.8 ± 0.5	15.2 ± 0.5
Promedio	15.4 ± 0.8	14.0 ± 0.7

Tabla 4: Energía neta producida por galón de Diésel según % de carga conectada

Carga	Energía por galón [kVA-h/gal]	
	Fabricante	Estimado
25 %	13.6 ± 0.7	12.2 ± 0.6
50 %	15.4 ± 0.4	13.9 ± 0.4
75 %	16.2 ± 0.5	14.5 ± 0.4
100 %	17.1 ± 0.6	15.3 ± 0.5
Promedio	16 ± 1	14 ± 1

Tabla 5: Energía neta producida por galón de búnker según % de carga conectada

IV | COMPARACIÓN Y DISCUSIÓN DE RESULTADOS

Como pudimos ver en las secciones anteriores, no es posible determinar un rango con una baja incertidumbre ya que los elementos involucrados que se muestran en la figura 1 tienen un rendimiento que varía de acuerdo a varios parámetros. Los resultados sintetizados se muestran en las Tablas 6 y 7

	η_{min}	η_{max}	E_{min}/v [kVA-h/gal]	E_{max}/v [kVA-h/gal]	E/v [kVA-h/gal]
Antecedentes conjunto	35 %	60 %	9	16	12 ± 4
Teórico estimado	35 %	55 %	15.7	22.1	18 ± 4
Obtenido por modelo	30 %	38 %	11.8	17.3	15 ± 3

Tabla 6: Comparación de resultados para el combustible Diésel (FO2)

Fuente: Elaboración propia

	η_{min}	η_{max}	E_{min}/v [kVA-h/gal]	E_{max}/v [kVA-h/gal]	E/v [kVA-h/gal]
Antecedentes conjunto	ND	ND	ND	ND	ND
Teórico estimado	33 %	53 %	15.8	21.7	18 ± 4
Obtenido por modelo	29 %	36 %	11.6	17.7	15 ± 3

Tabla 7: Comparación de resultados para el combustible Búnker C (FO6)

Fuente: Elaboración propia

Pareciera un poco raro obtener datos similares de generación por volumen para el búnker y diésel; sin embargo, si comparamos los poderes caloríficos de ambos podemos inferir que se requiere un mayor volumen de diésel para generar el mismo calor al quemarlo por lo que este resultado es razonable. El combustible usado para la generación de energía eléctrica en 2020 está expuesto en la tabla 8 y lo generado por las máquinas de combustión interna de baja velocidad (MCDBV) y por las turbinas a gas se expone en la tabla 9.

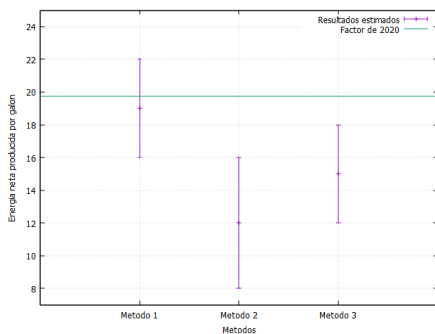
Combustible	BBL comercializados	Porcentaje
Diésel	225640.01	4.29%
Búnker	4803851.72	91.44%
Otro	224168.32	4.27%

Tabla 8: Distribución de combustibles comercializados en 2020 destinados a la generación de energía
Fuente: Informe estadístico anual 2020 de comercialización de Hidrocarburos en Honduras de la Dirección General de Hidrocarburos y Biocombustibles

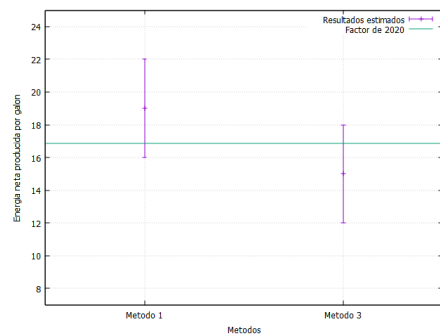
Tecnología	Combustible	Gen. Bruta [GW-h]	Gen. Neta [GWh]	Cons. Propio [%]
MCDBV	Diésel	187.10	186.81	0.15%
MCDBV	Búnker C	3423.83	3240.83	5%

Tabla 9: Distribución de generación de energía termoeléctrica de 2020
Fuente: Informe sieHONDURAS

A partir de las gráficas podemos ver que el método 2 discrepa mucho del primero y no es muy relevante si es descartado o no. Si combinamos los 3 métodos se tiene una densidad de energía que va de 8 a 22 kVA-h/gal para el FO2 y de 12 a 22 kVA-h/gal para el FO6. Ahora, el factor medio obtenido de los datos de Honduras está dentro del intervalo de confianza pero esperaríamos que dicho valor para el búnker fuese ligeramente superior o parecido al del diésel ya que el búnker tiene mayor poder calorífico. Dicha variación podría deberse a muchas cosas, entre ellas, maquinaria demasiado vieja y con detalles que necesitan repararse, o no operar a plena carga, o no usar el total del combustible comprado para la generación y usarlo en otras actividades.



(a) FO2 - Diésel



(b) FO6 - Búnker C

Figura 2: Comparación de resultados

Fuente: Elaboración propia

V | COMENTARIOS Y RECOMENDACIONES

- Considerando los valores obtenidos en los métodos únicamente como de referencia, el factor obtenido en el país para el año 2020 es razonable.
- Es necesario tener un listado con todas las máquinas que se usan para la generación de energía eléctrica que están en el país junto con sus características para tener un mayor orden, control y para tener mayor precisión.
- Es necesario hacer auditorías para determinar el consumo específico de combustibles y de otros parámetros de las máquinas de CI para poder determinar la energía que va a producir por galón de combustible. Para eso, se propone el método explicado en el trabajo de Eduard Cordero en el que se hacen mediciones del consumo específico de combustible, potencia, torque, flujo, humedad, presión, temperatura y velocidad de giro de acuerdo con la norma ISO 1585. (Véase E. (2020) para más información)

I | REFERENCIAS

- Bahadori, A. (2016). *Essentials of oil and gas utilities: Process design, equipment, and operations*. Elsevier Inc.
- Curl, H. C., y O'Donnell, K. (1977). *Chemical and physical properties of refined petroleum products*. de Hidrocarburos y Biocombustibles, D. G. (2020). *Informe estadístico anual de comercialización de hidrocarburos en honduras*. Descargado de <https://sen.hn/wp-content/uploads/2021/04/Informe-Estadístico-de-Hidrocarburos-2020.pdf>
- E., C. (2020). *Evaluación del comportamiento de un motor de combustión interna de encendido por compresión con mezclas de biodiésel con diésel*. Descargado de <https://www.ingbiosistemas.ucr.ac.cr/wp-content/uploads/2020/12/TFG-EduardCorderoNavarro.pdf>
- Environment, y Canada, C. C. (2021). *Environment canada crude oil and petroleum product database - eccc petroleum products database 2021-01-22*.
- Foundation, S. S. E. (2014). *Diesel generators: Improving efficiency and emission performance in india*.
- Kehlhofer, R., Bachmann, R., Nielsen, H., y Warner, J. (1999). *Combined cycle gas steam turbine power plants*. PennWell.
- Pattel, R. C., y Karamchandani, C. J. (1999a). *Combined cycle gas steam turbine power plants* (16ta ed. ed., Vol. 2). Acharya Publications, Opp. Gandhi Nagar Gruh, Vadodara - 390 001.
- Pattel, R. C., y Karamchandani, C. J. (1999b). *Combined cycle gas steam turbine power plants* (18va ed. ed., Vol. 1). Acharya Publications, Opp. Gandhi Nagar Gruh, Vadodara - 390 001.
- Sankar, V. (s.f.). *Introduction to internal combustion engines*.
- Sarkar, D. K. (2015). *Thermal power plant*. Elsevier Inc.
- Soares, C. (2008a). *Gas turbine fuel systems and fuels*.
- Soares, C. (2008b). *Gas turbines: A handbook of air, land, and sea applications*. Elsevier Inc.
- Source, G. (2020). Descargado de https://www.generatorsource.com/Diesel_Fuel_Consumption.aspx
- T, J. (s.f.). *Internal combustion engines*.
- Taylor, C. F. (1985). *The internal combustion engine in theory and practice: Thermodynamics fluid flow, performance* (2nd ed. ed.). The M.I.T. Press: Massachusetts Institute of Technology.
- Thirumaleshwar, M. (2014). *Applied thermodynamics software solutions part i (gas power cycles)* (1era ed. ed.). bookboon.