

Ensayo de Turbina a Gas Kingtech K-100 con Biodiesel

**Nicolás Lipchak¹, Franco Aiducic², Santiago Baieli²,
Gastón Bustamante¹ y Ayelén Zanitti¹**

Universidad Tecnológica Nacional, Facultad Regional de Buenos Aires,

¹ Departamento de Ingeniería Industrial,

² Departamento de Ingeniería Mecánica, Medrano 951, (C1179AAQ), Ciudad Autónoma de Buenos Aires, Argentina

lipchakster@gmail.com

Recibido el 4 de junio de 2018, aprobado el 12 de julio de 2018

Resumen

Este trabajo de la FRBA de la UTN apunta a experimentar el uso de biodiesel en una turbina a gas KingTech K-100 para verificar la correcta operación de la misma. En este sentido, los ensayos han sido desarrollados para obtener datos reales de los parámetros inherentes al ciclo de trabajo, para poder utilizarlos luego como parámetros de comparación y análisis de funcionamiento.

En primer lugar, el estudio consistió en operar la turbina con una mezcla de composición 50% Biodiesel y 50% Diesel (B50). Los parámetros surgidos de las mediciones realizadas fueron comparados con los parámetros de funcionamiento de la turbina utilizando una mezcla de composición 90% Diesel y 10% Biodiesel (B10).

En segundo lugar, los parámetros medidos fueron utilizados para calcular la potencia generada y la eficiencia de propulsión de la turbina KingTech K-100. La turbina también fue inspeccionada para verificar el estado de los componentes internos luego de su funcionamiento con biocombustibles.

La conclusión obtenida permite demostrar empíricamente que es factible usar biodiesel en este tipo de turbinas de gas, sin una pérdida de potencia significativa o deterioro de sus componentes.

PALABRAS CLAVE: BIODIESEL – EFICIENCIA – KINGTECH - TURBINA

* El presente trabajo es parte del proyecto de investigación denominado "Ensayo de turbina a gas KingTech con biodiesel", llevado a cabo por el Departamento de Ingeniería Industrial. También participaron de este trabajo Gonzalo Raffa y Carlos Arceri

Abstract

This work aims to experiment with biodiesel in a gas turbine KingTech K-100 to verify the correct operation of it. In this sense, tests have been developed to obtain real data of parameters inherent to the work cycle, to be used as parameters of comparison and performance analysis. On the first instance, the study consisted in testing the gas turbine with a mixture composition of 50% Biodiesel and 50% Diesel (B50). The parameters arising from the measurements made were compared with the parameters of the gas turbine with a composition of 90% Diesel and 10% Biodiesel (B10).

On the second instance, the measured parameters were used to calculate the power generated and the propulsion efficiency of the KingTech K-100 turbine. The turbine was also inspected to verify the status of the internals due to the use of biofuels.

The conclusions obtained allow us to empirically demonstrate that it is feasible to use biodiesel in this type of gas turbines, without the use of this fuel generating a significant loss of power or degradation of internals.

PALABRAS CLAVE: BIODIESEL – EFFICIENCY – KINGTECH - TURBINE

Introducción

El fuerte aumento de la demanda de energía hace necesaria la generación de soluciones flexibles que permitan satisfacerla. El Biodiesel es una alternativa de origen vegetal que se utiliza en diferentes proporciones para reemplazar al gas oil convencional en turbinas de gas, logrando resultados de operación óptimos.

Este trabajo experimental consistió en ensayar una turbina de gas KingTech K-100 con una mezcla de 50% Biodiesel y 50% Diesel (B50). Esta turbina fue previamente instrumentada con el fin de poder medir los parámetros inherentes al ciclo de trabajo tales como temperaturas, presiones, caudales de aire y combustible, empuje y r.p.m.

El objetivo principal es demostrar la viabilidad técnica de operar estas turbinas con biocombustibles sin realizar modificaciones en su diseño, logrando una eficiencia y un empuje similar al logrado con el uso de diesel comercial (B10), que en Argentina tiene un corte obligatorio del 10% de biodiesel (Ministerio de Planificación Federal, 2013).

Materiales y métodos

A. Configuración experimental

Para esta investigación, se ha utilizado una micro-turbina a gas KingTech K-100, que puede

funcionar con Diesel, Kerosene y Jet-A. Esta turbina es utilizada normalmente en aviones a radiocontrol. Tiene un compresor radial, una cámara de combustión anular y una turbina axial de una etapa.

La turbina está montada sobre rodamientos lineales y tiene colocada una celda de carga FLEXAR CZA-30 entre la turbina y la superficie fija, la cual es utilizada para medir el empuje. Esta celda de carga está conectada a un transductor que lee los valores recibidos de la celda y los transforma en datos digitales.

En la admisión, se coloca un conducto del mismo diámetro que el de la carcasa de la turbina para montar otros dispositivos de medición.

Junto a la segunda termocupla, un sensor industrial de presión, ADZ-Nagano GmbH. / SML-10.0-0000400-BAR-G-G14E-22-MVS/C, está montado para medir la presión de compresión. Este sensor de presión se encuentra unido a un tubo flexible que se conecta a una perforación en la carcasa y una señal de 4-20mA es enviada a una pantalla de monitoreo PIXSYS SNC / ATR121-AD. La configuración es tal que es posible la medición de presión estática y dinámica.

En el conducto de admisión se coloca un tubo Pitot. Este tubo tiene dos entradas de aire. La primera de ellas en la dirección de la corriente de aire, y mide la presión total. La segunda se coloca en forma perpendicular a la corriente de

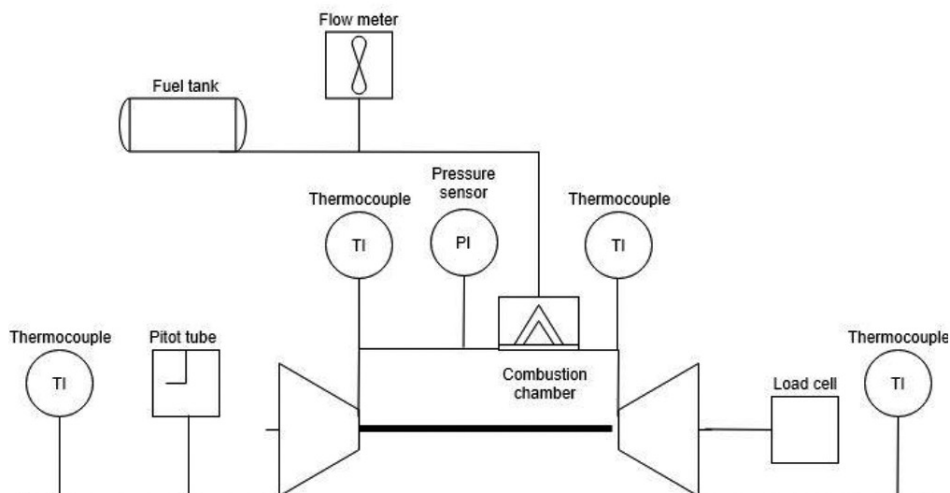


Fig. 1. Diagrama esquemático

aire, y así mide la presión estática. Ambas presiones son detectadas por un sensor de presión diferencial MPXV7002DP. El MPXV7002DP que está diseñado para medir presiones positivas y negativas: -2 a +2 kPa (-0,3 a +0,3 psi) que se corresponden con 0,5 a 4,5 V lineales en la salida.

Para medir el consumo de combustible se coloca un caudalímetro del tipo SEA YF-S401 entre el tanque y la bomba de combustible. Este caudalímetro funciona bajo el principio del efecto Hall y posee internamente una rueda para medir la cantidad de líquido que circula a través de ella. El sensor de efecto Hall magnético integrado emite un pulso eléctrico en cada revolución de la rueda.

El transductor de la celda de carga (FLEXAR CZA-30), el caudalímetro y el sensor diferencial de presiones del tubo Pitot están conectados a un microcontrolador que registra los valores. Este microcontrolador está también conectado a una computadora que, mediante una aplicación, muestra los valores y los graba para procesarlos y analizarlos posteriormente.

Para medir la temperatura, se utilizan cuatro termocuplas-K, colocadas en diferentes ubicaciones. La primera de ellas se ubica en el tubo de admisión. La segunda, se encuentra instalada a la salida del compresor mediante una perforación en la carcasa de la turbina. La tercera también se encuentra instalada en una perforación de la carcasa, pero a la salida de la cámara de combustión. La cuarta y última, se ubica a la salida de la turbina.

Las termocuplas están conectadas a una unidad de control y a una unidad de medición, Kyowa EDX-10 and EDX13A, que convierte la señal analógica a una señal de salida digital. Estas unidades también están conectadas a una computadora que recibe los valores, los grafica y los almacena.

B. Especificaciones técnicas del Diesel comercial

Se ha utilizado diesel comercial para preparar la mezcla B50 con las siguientes especificaciones técnicas otorgadas por el fabricante (Ficha técnica Shell).

Tabla 1. Especificaciones técnicas del diesel comercial

Propiedad	Norma	Valor
Densidad a 15°C	ASTM D1298	0,84 g/cc
Recuperado a 360 °C	ASTM D86	93,1 % v/v
Color	ASTM D1500	1,5
Número de cetano	ASTM D976	52
Punto de inflamabilidad	ASTM D93	>45 °C
Viscosidad a 40°C	ASTM D445	3,3 cSt
Azufre	ASTM D4294	< 0,140 % p/p
Biodiesel	-	10%

Tabla 2. Especificaciones técnicas del biodiesel puro

Propiedad	Norma	Valor
Densidad a 15°C	ASTM D4052	0,85537 g/cc
Ésteres	EN 14103	98,3 % m/m
Número de cetano	ASTM D6890	47
Punto de inflamabilidad	ASTM D93	180 °C
Viscosidad a 40°C	ASTM D445	4,253 cSt
Acidez	ASTM D664	0,42 mg KOH/g
Azufre	ASTM D5453	0,0001 % m/m
Fósforo	ASTM D4951	0,0002 % m/m
Na + K	EN 14538	0,3 mg/kg
Ca + Mg	EN 14538	nd
Agua	ASTM D4927	0,014 % m/m
Glicerina total	EN 14105	0,19 % m/m
Yodo	EN 14111	131,8 gI ₂ /100g

C. Especificaciones técnicas del biodiesel
Se ha utilizado biodiesel puro para preparar la mezcla B50 con las siguientes especificaciones técnicas otorgadas por el fabricante (Ficha técnica UITEC).

D. Leyes fundamentales y ecuaciones

La relación de presiones (P_r) puede obtenerse con la presión del aire (P_c) comprimido y la presión atmosférica según (1).

$$P_r = \frac{P_c}{P_a} \quad (1)$$

El caudal másico de aire (\dot{m}_a) puede obtenerse con la velocidad del aire entrante (v_a), la sección de la entrada al compresor A_i y la densidad del aire a presión atmosférica (δ_a) según (2):

$$\dot{m}_a = v_a \times A_i \times \delta_a \quad (2)$$

El caudal másico de combustible (\dot{m}_f) puede obtenerse con el caudal volumétrico (\dot{V}_f) y de su densidad (δ_f) según (3):

$$\dot{m}_f = \dot{V}_f \times \delta_f \quad (3)$$

La potencia de compresión (P_r) puede obtenerse del caudal másico de aire, su calor específico a presión constante (c_p) y la diferencia entre la temperatura de compresión (T_c) y la temperatura de aire atmosférico (T_a) según (4).

$$P_c = \dot{m}_a \times c_p \times (T_c - T_a) \quad (4)$$

El poder calorífico (P_h) puede obtenerse a partir del caudal másico de aire, el calor específico a presión constante y de la diferencia entre la temperatura en la cámara de combustión (T_{cc}) y la temperatura de compresión (T_c) según (5).

$$P_h = \dot{m}_a \times c_p \times (T_{CC} - T_c) \quad (5)$$

La velocidad de los gases de combustión a la salida de la turbina (C_g) se puede obtener mediante el empuje (T), el caudal másico de aire másico y la velocidad del aire de admisión (C_a) según (6).

$$C_g = \frac{T}{\dot{m}_a} + C_a \quad (6)$$

La potencia de propulsión (P_p) puede obtenerse a partir del empuje y la velocidad del aire de admisión según (7).

$$P_p = T \times C_a \quad (7)$$

La diferencia de energía cinética (ΔE_k) entre el caudal de aire entrante y el saliente, puede obtenerse a partir del caudal másico de aire según (8).

$$\Delta E_k = 0,5 \times \dot{m}_a \times (C_g - C_a)^2 \quad (8)$$

La eficiencia de propulsión puede calcularse según (9):

$$n_p = \frac{P_p}{(P_p + \Delta E_k)} \quad (9)$$

Resultados

A. Temperatura de compresión

La temperatura del aire comprimido para diferentes aceleraciones de la turbina con B10 y B50 se muestran en la Figura 2. Como es de esperarse, no se observan variaciones significativas con el uso de ambas mezclas.

B. Temperatura de la cámara de combustión

La temperatura de los gases a la salida de la cámara de combustión para diferentes aceleraciones de la turbina con mezclas B10 y B50 se muestra en la Figura 3. Los resultados con B10 son menores que con B50 debido a la dinámica de combustión.

C. Temperatura de los gases de escape

En la Figura 4 se muestra la temperatura de los gases de combustión a la salida de la turbina para diferentes aceleraciones con B10 y B50. Los resultados con B10 son menores que con B50 debido a la dinámica de combustión.

D. Termografía

En la Figura 5 se muestra la distribución de temperaturas en la turbina funcionando a 130.000 rpm con B10 y B50.

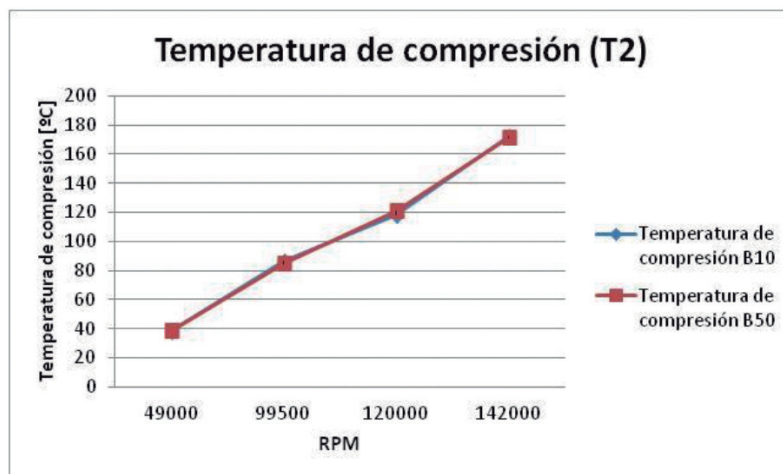


Fig. 2. Temperatura de compresión

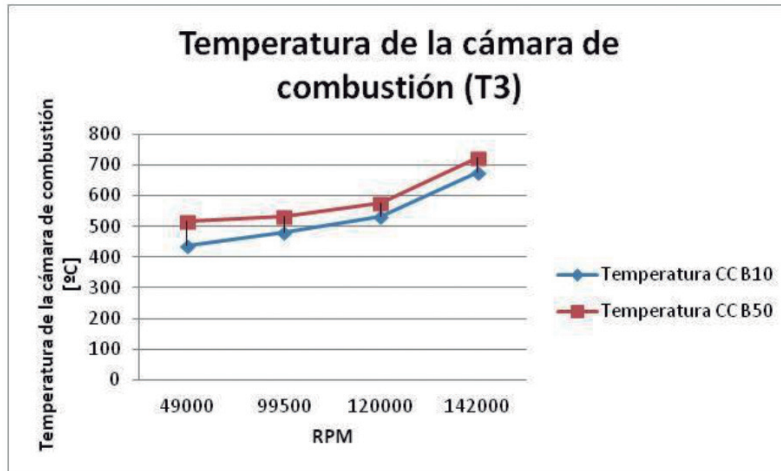


Fig. 3. Temperatura de la cámara de combustión

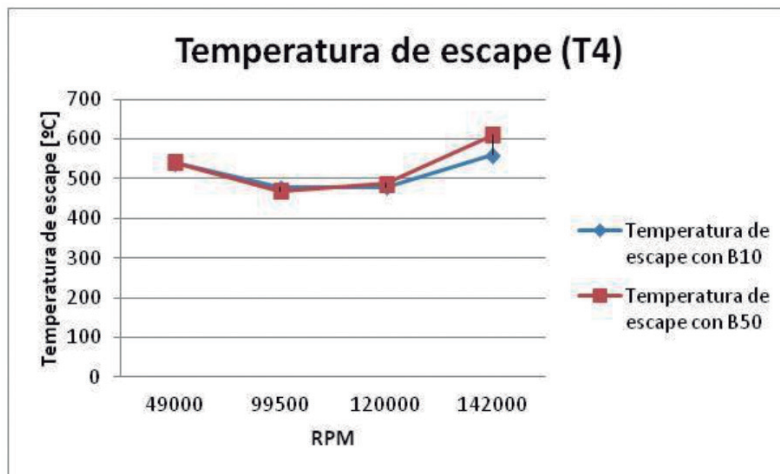


Fig. 4. Temperatura de gases de escape

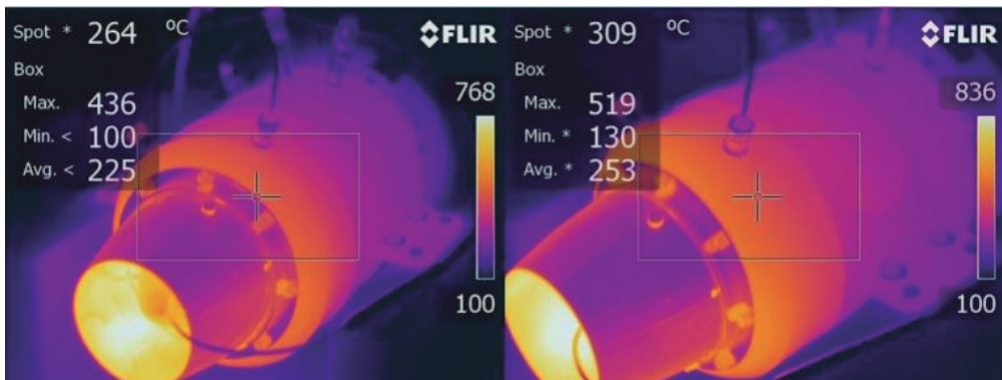


Fig. 5. Termografía

E. Relación de presión

En la Figura 6 se muestra la relación de presión para diferentes aceleraciones de la turbina con B10 y B50. Como es de esperarse, no se observan cambios significativos utilizando ambas mezclas.

F. Caudal de aire

En la Figura 7 se muestra el caudal de aire para diferentes aceleraciones de la turbina con B10 y B50. Como es de esperarse, no se observan cambios significativos utilizando ambas mezclas.

G. Consumo de combustible

En la Figura 8 se muestra el consumo de combustible para diferentes aceleraciones de la

turbina con B10 y B50. Los resultados con B50 son menores que con B10 debido a la dinámica de combustión.

H. Potencia de compresión

En la Figura 9 se muestra la potencia de compresión para diferentes aceleraciones de la turbina con B10 y B50. Los resultados con B10 son levemente mayores que con B50.

I. Potencia calórica

En la Figura 10 se muestra la potencia calórica para diferentes aceleraciones de la turbina con B10 y B50. Los resultados con B50 son levemente mayores que con B10 debido a la dinámica de combustión.

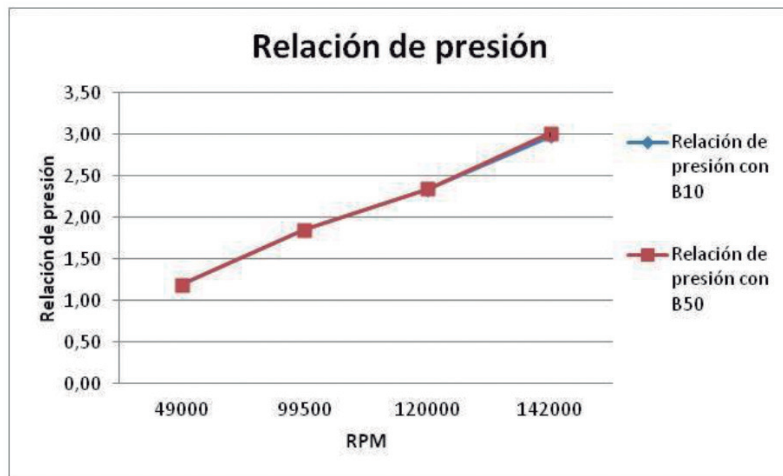


Fig. 6. Relación de presión

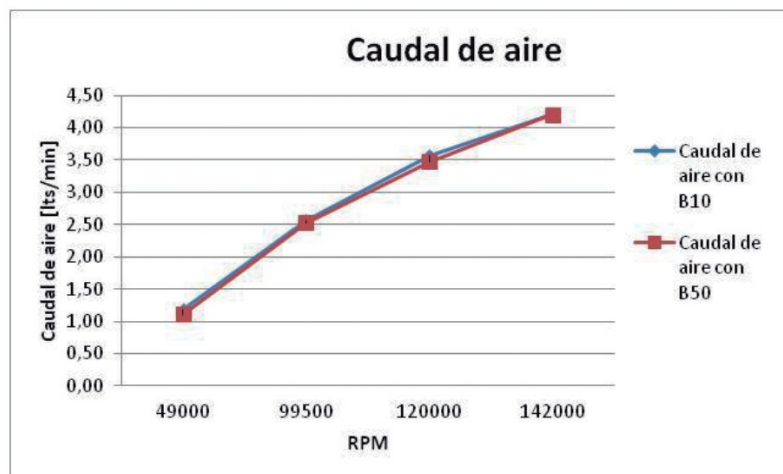


Fig. 7. Caudal de aire

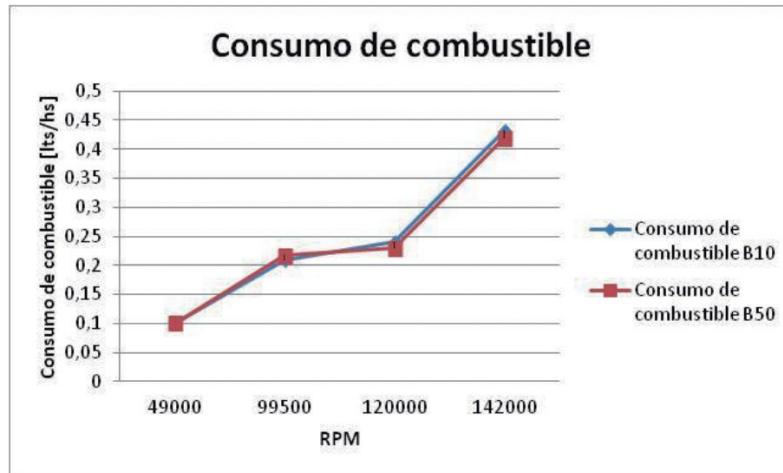


Fig. 8. Consumo de combustible

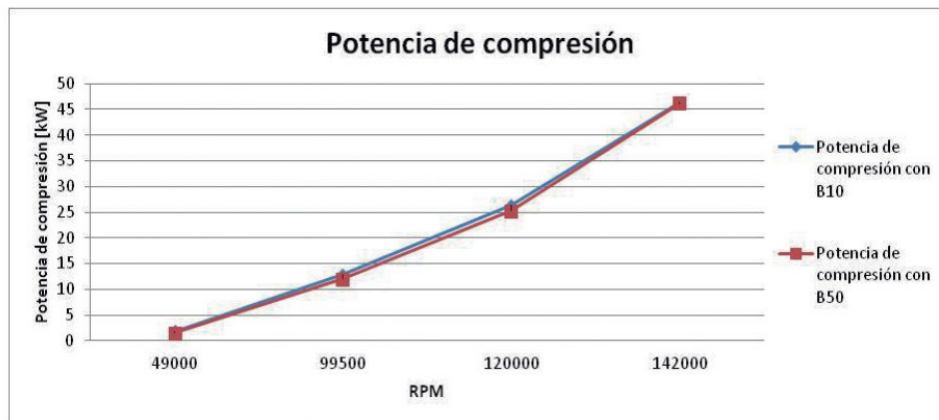


Fig. 9. Potencia de compresión

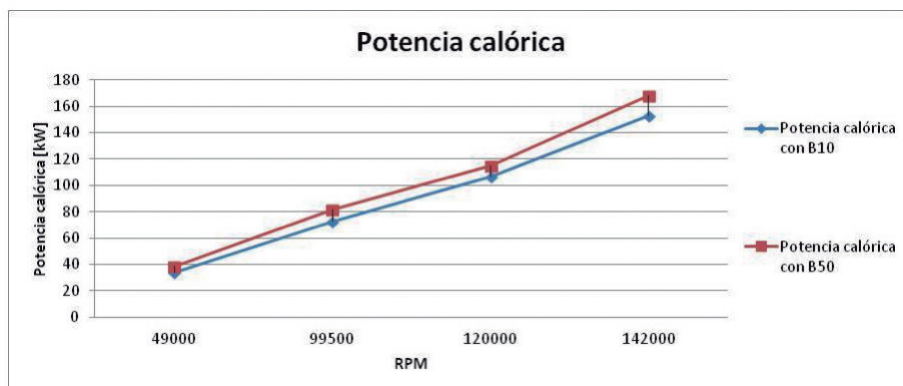


Fig. 10. Potencia calórica

J. Empuje

En la Figura 11 se muestra el empuje para diferentes aceleraciones de la turbina con B10 y B50. Los resultados con B50 son similares a los obtenidos con B10, sin cambios significativos.

K. Eficiencia de propulsión

En la Figura 12 se muestra la eficiencia de propulsión para diferentes aceleraciones de la turbina con B10 y B50. Los resultados con B50 son similares a los obtenidos con B10.

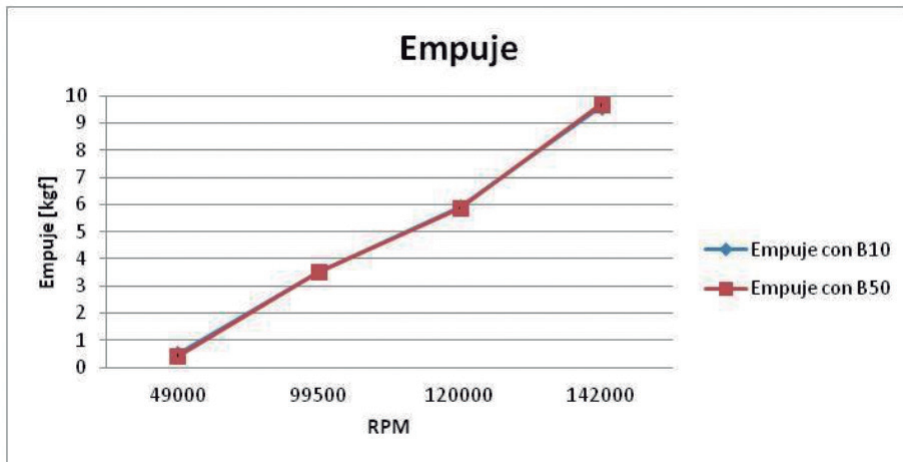


Fig. 11. Empuje

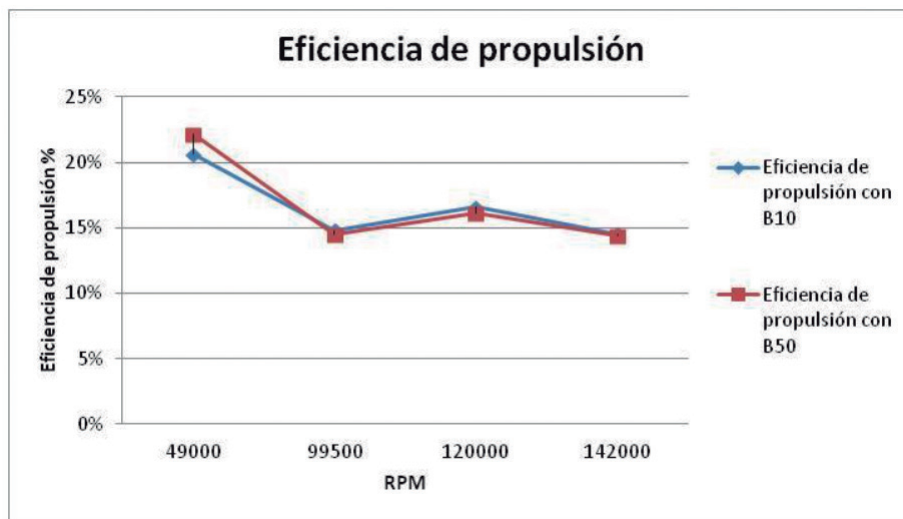


Fig. 12. Eficiencia de propulsión

Conclusiones

A partir de los resultados, se puede notar que la mayoría de los parámetros de operación son muy similares para ambas mezclas empleadas.

La temperatura de los gases de escape aumenta al incrementar el contenido de biodiesel en la mezcla. Esto se debe al proceso de combustión, ya que los parámetros de operación en la ECU de la turbina fueron establecidos para el uso de diesel y un cambio en la composición del combustible puede llevar a una dinámica de combustión diferente.

Este fenómeno también puede observarse en la temperatura obtenida en la cámara de combustión. La diferencia de la temperatura es notable. Por ejemplo, a 120.000 RPM, la diferencia de temperatura de la cámara de combustión usando los dos tipos diferentes de mezclas de combustibles es de aproximadamente un 10%. Para otros parámetros, como el empuje, los valores obtenidos son casi iguales.

A 142.000 RPM, el empuje difiere tan sólo en 0,1 kg. Esta diferencia es pequeña, teniendo en cuenta que la celda de carga, como cualquier instrumento de medición, tiene una determinada precisión.

Las conclusiones obtenidas permiten demostrar empíricamente que es posible utilizar biodiesel en este tipo de turbinas. Para estos niveles de potencia, casi no hay pérdida de la misma y, en el corto plazo, no se observa deterioro en los componentes internos. Para demostrar si este tipo de combustibles afecta o no dichos componentes internos, es necesario hacer funcionar múltiples turbinas durante un tiempo más prolongado, utilizando en cada una de ellas diferentes mezclas.

Reconocimientos

El equipo de investigación agradece enormemente al Ing. Raúl Sack, a la Secretaría de Ciencia y Tecnología de la UTN.BA y a la Cámara Argentina de Biocombustibles por el apoyo brindado en el transcurso de la investigación.

Referencias

Ministerio de Planificación Federal, Inversión Pública y Servicios. Resolución N° 1125/2013.
Shell, Ficha técnica "Gas Oil 1500".
UNITEC, "Ficha técnica Biodiesel".