

Diagnóstico de Procesos de combustión utilizando Biodiesel

Robinson Betancourt A¹, Jesús Casanova², Rodrigo Navia¹, Oscar Farias³,
Raúl Delgado C¹

*Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad de La Frontera. Av. Francisco Salazar
01145 Temuco – Chile.*
rbeta@ufro.cl rauldelgado.i.m@gmail.com

[1] Universidad de la Frontera, [2] Universidad Politécnica de Madrid, [3] Universidad de Concepción

RESUMEN

El presente trabajo, utiliza como combustible Biodiesel generado a partir de Brassica Napus (colza), el cual es empleado en distintas proporciones mezclado con Petróleo.

El diagnóstico del proceso de combustión se realiza evaluando la imagen de la llama, la cual es capturada mediante el uso de cámara CCD.

Los gases productos de la combustión, CO, CO₂, NO, NO₂, NO_x, SO₂, O₂, λ se miden, para efectuar la corrección, en el servosistema del quemador, de la relación aire- combustible y obtener proceso de combustión completo.

La utilización de Biodiesel 100% entrega resultados muy satisfactorios, y desde el punto de vista de operación mecánico no se registran dificultades.

Para el control de operación de quemadores y regulación del ingreso de aire, se ha instalado un sistema de servomotor, el cual es accionado mediante plataforma Labview El sistema de control, es retroalimentado con la información de monóxido de carbono, para obtener el punto de operación eficiente, controlando las emisiones al medio ambiente.

1. INTRODUCCIÓN

La cantidad de emisiones de gases contaminantes y el rendimiento de la combustión están directamente relacionados con la cantidad de aire que participa en la combustión, es por ello que este se considera trascendental, ya que este comburente (catalizador) participa directamente en la reacción del combustible, que ingresando en cantidades optimas puede alcanzar la relación estequiométrica. El problema de los gases producidos en la combustión es un tema tanto ambiental como económico, donde las concentraciones de los gases contaminantes se debe mantener lo más bajo posible (material particulado, CO, NOx, SO₂, CO₂) y estar dentro de los límites de las políticas ambientales.

El control del proceso de combustión es de gran interés, porque permite mantener una operación segura del quemador y una relación de aire-combustible optima relacionando el rendimiento y las emisiones de gases contaminantes. Actualmente los sistemas de control de combustión se centran en mediciones del flujo de combustible y características de los gases de salida; el flujo de aire es determinado de relaciones prefijadas.

Desde el punto de vista óptimo, la razón aire-combustible varíe entre 15% a 20% de su valor , al aumentar esta relación se produce perjuicios al ambiente sin descartar las pérdidas económicas que esto conlleva. Las bajas de rendimientos y aumentos en la emisiones de gases ,geberan la necesidad de, buscar alternativas para optimizar la combustión en caderas. El incremento en los consumos de energéticos de la población mundial ha intensificado los problemas de contaminación ocasionados por combustión ineficiente, teniendo como consecuencias el deterioro de la capa de ozono, problemas en la salud humana por material particulado, lluvia ácida que afectan los suelos, etc..

Los altos costos asociados a los combustibles fósiles y una legislación ambiental cada vez más estricta, constituyen una importante preocupación por mejorar tales situaciones, esto ha llevado a la necesidad de diversificar la matriz energética de nuestra país, con lo cual se han formando centros de investigación para la mejorar de los procesos de combustión y creación de Biocombustibles, que contribuyan a la disminución de los contaminantes al ambientales.

2. Planteamiento

La figura 1a muestra los flujos de energía de la caldera, de donde se obtiene el balance de energía, En la figura 1b. se muestra la caldera Ivar 409, quemador RL-50, tarjetas de adquisición y sensores que componen el banco de ensayo.

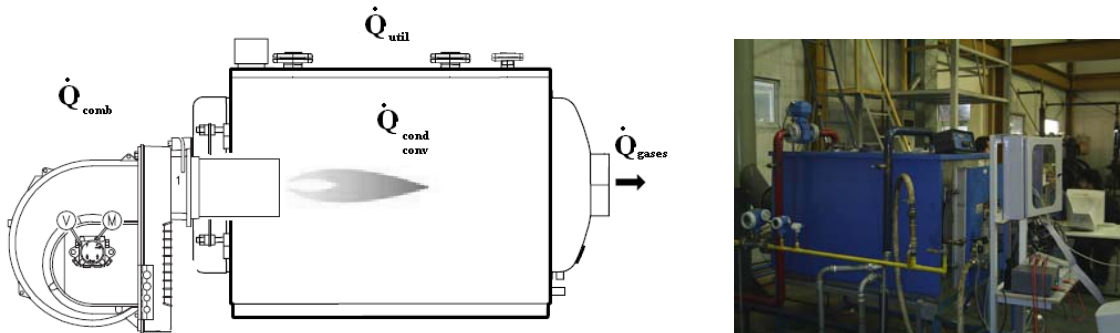


Figura 1a y 1b. Esquema del balance de energía en la caldera e instalación de banco de ensayo de combustión. Respectivamente

Realizando un balance de energía se tiene entonces:

$$\dot{Q}_{comb} = \dot{Q}_{Util} + \dot{Q}_{gases} + \dot{Q}_{Amb} \quad (1)$$

Rendimiento Directo. El rendimiento o eficiencia térmica se define como la relación entre el calor absorbido y el calor liberado (expresado en porcentaje).

$$\eta_{directo} = \frac{\dot{Q}_{Util} * 100}{\dot{V}_{Comb} * PCI} \quad (2)$$

Rendimiento Indirecto. El rendimiento térmico indirecto es calculado por la ecuación numero cuatro el cual esta asociado a las perdidas, es decir, la energía no utilizada por el fluido de trabajo.

Para el cálculo de las pérdidas la norma ASME PTC 4.1 considera las siguientes pérdidas [1-3]

$$\eta = \left(1 - \frac{\dot{Q}_{gases} + \dot{Q}_{Amb} + \dot{Q}_{Aire}}{PCI} \right) * 100 \quad (3)$$

Donde el \dot{Q}_{aire} está definida por:

$$\dot{Q}_{aire} = R \frac{a}{c} * m_{Comb} * H_{aire} * \rho_{aire} \quad (4)$$

Y dentro de la ecuación E.5 se encuentra.

$$H_{aire} = H_{aire}(T_{aire}) - H_{aire}(T_{ref}) \quad (5)$$

Para la obtención del Q_{humos} , se tiene [4-8]:

$$Q_{Gases} = \sum n_g * (h_g(T_{gases}) - h_g(T_0)) \quad (7)$$

2.1 Control del Damper de Aire

El damper de aire del quemador Riello RL-50 posee posiciones angulares de apertura que van desde los 0 hasta los 90 grados. Este sistema de posiciones es controlado en el quemador RS-50 por un servo motor. En el RL-50 la posición del damper de aire es controlada por un pistón el cual es accionado por el combustible a presión que sale de la bomba del quemador.

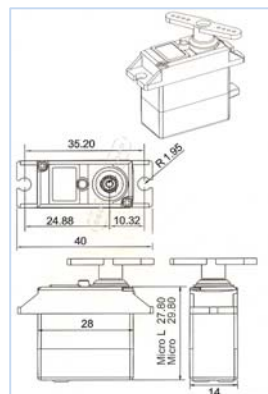


Figura2a y 2b. Servo motor GWS modelo Mirco-2BBM Sistema de control del damper de aire en los quemador

El servo motor, posee tres conductores: uno para la alimentación de 5V continuos, otro para la conexión a tierra y el último corresponde a la señal codificada de entrada.

La relación posición versus ancho de pulso es lineal para los servo motores, así por ejemplo, si para la posición 0 grados del servo corresponde un ancho de pulso de 1ms, y para la posición de 180 grados corresponde un ancho de 2ms, entonces para los 90 grados corresponderá un ancho de pulso de 1,5ms. Del mismo modo dividiendo el rango completo de pulsos que acepta el servo motor vemos que para cambiar en un grado la posición será necesario variar en 0,0111ms (1ms /90°) aproximadamente, el ancho de la señal enviada.

2.2. Resultados de gases productos

Las mediciones que se muestran en la figura 3a se realizan con intervalos de tiempo (una vez de haber logrado conseguir una estabilidad de la caldera), luego se hace variar la abertura del dámper, dando tiempo para la estabilización. Los datos mostrados a continuación revelan los valores promedios por cada abertura de dámper una vez estabilizados, comenzando con dámper bajo, logrando emisiones altas alrededor de 400 ppm para luego ir disminuyendo las emisiones con abertura de dámper mayores.

Claramente se puede observar que las comparaciones de emisiones entre diesel y biodiesel, llegando a conseguir bajar las emisiones de en la zona de apertura entre 10 [ ] y 16 [ ].

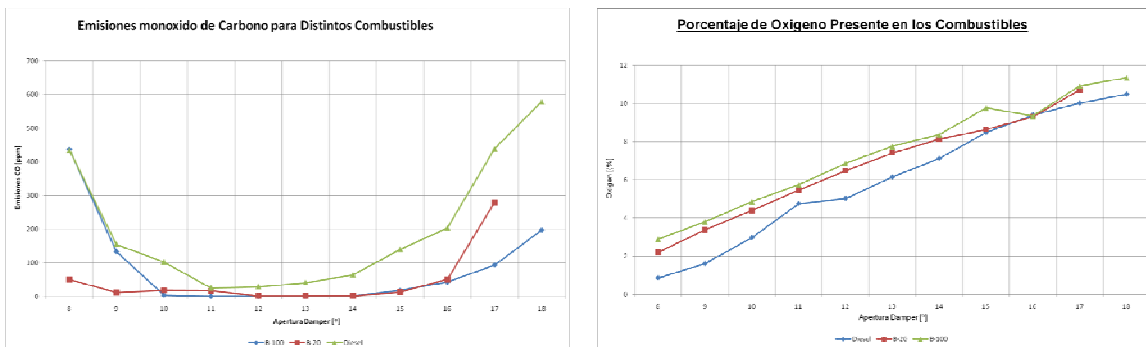


Figura 3a y 3b. Emisiones de monóxido de carbono y porcentaje de oxigeno, respectivamente, presente en los gases de escape utilizando diesel, biodiesel, y mezcla B-20.

En la figura 3b. se pueden apreciar los porcentajes de oxígenos que escapan en la chimenea utilizando diesel, B-100 y mezcla B-20, se observa que para el biodiesel, al tener en composición química moléculas de oxigeno se tendrá un porcentaje de oxigeno mas alto en la salida los gases de escape la chimenea. , comparados con el mismo flujo de aire ingresado por el dámper.

La figura 4a y 4b, se pueden observa temperatura de humos y NOx respectivamente, teniendo presente que para la temperatura de escape emitidas por combustible B-100 es mas alta que la del diesel teniendo por lo tanto emisiones de óxidos de n tr geno mas altas de diesel, debido a que a mayor temperatura de gases de escape se produce mas NOx. [9]

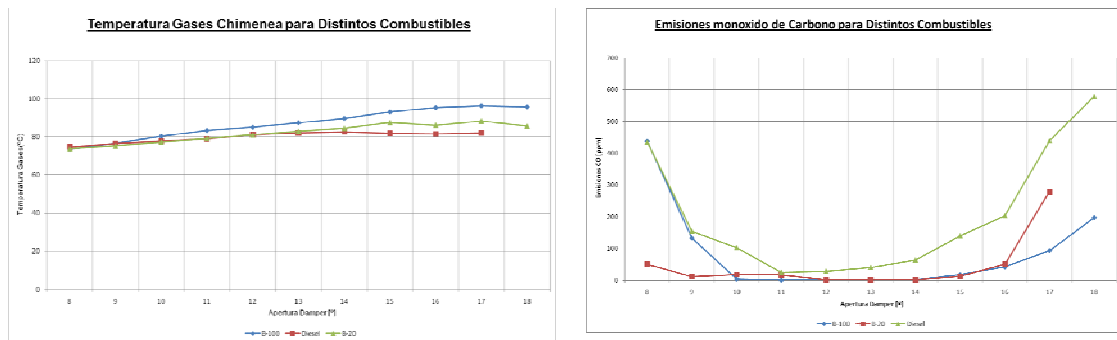


Figura 4a y 4b. Temperatura de los gases de escape y . Emisiones de óxidos nitrosos, respectivamente, presente en los gases de escape. Para combustible Diesel, biodiesel y mezcla B-20

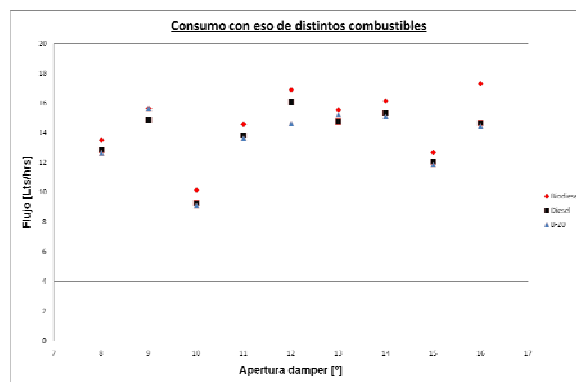
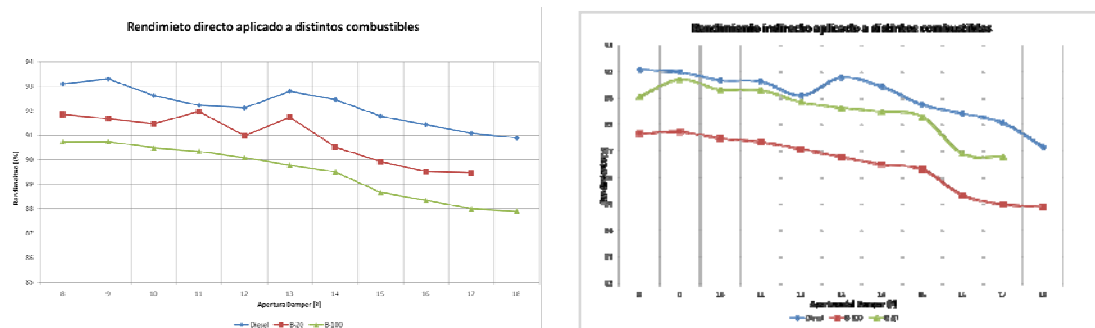


Figura 5. Flujo de combustible en Diesel, biodiesel y mezcla B-20.

En la figura.6a y 6b se pueden apreciar los rendimientos obtenidos por cálculo directo e indirectos respectivamente con diesel biodiesel y mezcla B-20 . Pudiéndose observar que al utilizar el biodiesel (B-100) los rendimientos, para cada abertura de dâmpen, bajan en comparación con los rendimientos obtenidos con diesel. Esto se da debido a que le poder calorífico del biocombustible es menor que el del biocombustible entregando por lo tanto menor potencia calórica.



Figuras 6a y 6b. Rendimiento directo y Rendimiento indirecto, respectivamente, para diesel biodiesel y mezcla B-20

2.3. Análisis Imagen promedio.

En la figura 7 podemos apreciar una imagen promedio de la Muestra para cada apertura de Damper, lo que al calcular su área nos puede entregar una variable más estable para su estudio.



Figura 7 Área promedio Imagen Petróleo Confinado.

La forma de Calcular el Área de Llama en la Imagen promedio ($A_{fp}(k)$) queda determinado por :

$$A_{fp}(k) = A_{LL_k} \quad (8)$$

Donde (k) representa su respectiva componente RGB. Finalmente mediante se define área de la Imagen promedio con respecto al área de mirilla de la caldera (A_{fpM}) como;

$$A_{fpM}(k) = \frac{100 * A_{fp}(k)}{AM} \quad (9)$$

Donde (k) representa su respectiva componente RGB

Los análisis realizados, garantizan obtener imagen promedio óptima para el análisis realizando la selección de las 20 mejores imágenes. Hemos definido diferentes formas de calcular la imagen promedio dependiendo estas, del área o de la intensidad de píxeles de llama. Esto nos permite procesar indistintamente, diferentes formatos de imagen promedio presentados en la grafica. Es por ello que para el análisis se trabajara con la imagen promedio en su formato RGB, es decir, el promedio de las componentes individuales de la foto promedio obtenida con las 20 imágenes, ya que es esta es la más representativa de las imágenes reales. [10]

A continuación se presentan imágenes promedio de gas y petróleo en su formato RGB para diferentes aperturas de dámper.

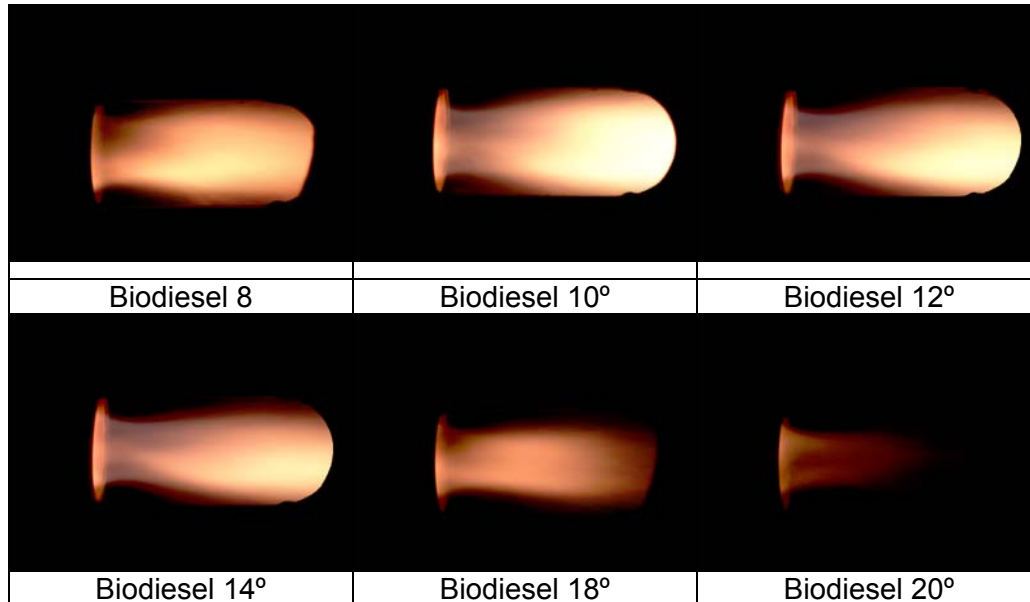


Figura 8 .Imágenes Promedio.

Como se puede observar las imágenes promedios son más suaves y menos turbulentas. Se precisan tonalidades más definidas y en gran medida se eliminan problemas parciales de saturación de imagen.

En la figura 9 se presenta el comportamiento de la llama de Biodiesel a través de un análisis espectral de llama, para observar la presencia de los radicales en cuestión, utilizando la mirilla disponible en la caldera y donde es posible observar el comportamiento de las intensidades en sus distintas longitudes de onda.[10-12]

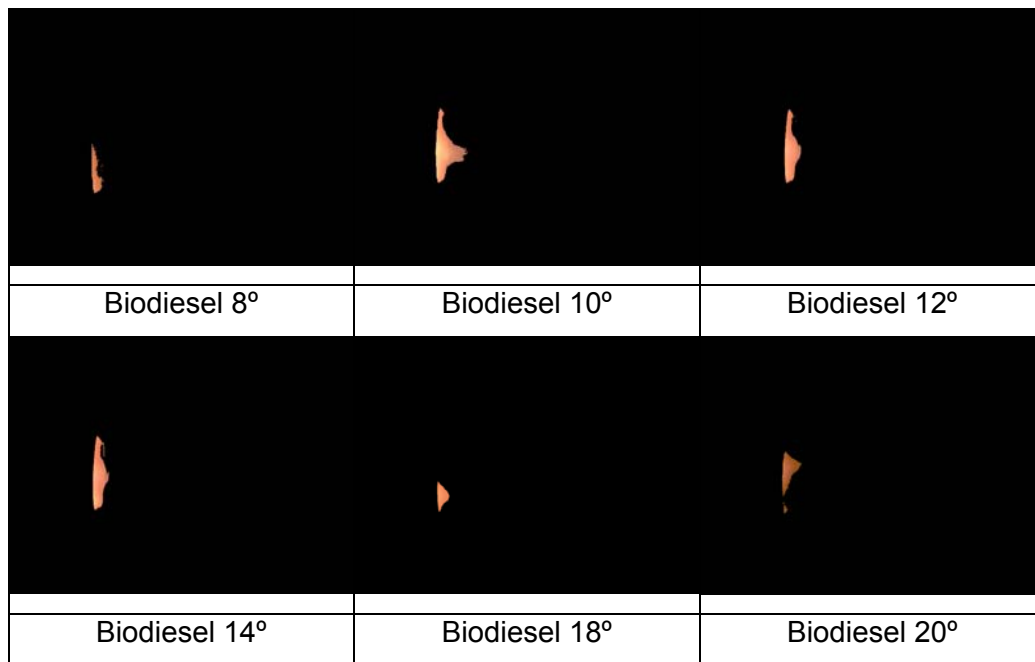


Figura 9. Análisis espectral

3. Conclusiones

En términos de imágenes con respecto al biodiesel, se tomo el rango de 8° y 18° de apertura de Damper, si bien el quemador permite acceder a un límite inferior a 8°, las condiciones para la toma de imágenes no son las apropiadas debido al inmediato opacamiento de la mirilla de observación, debido a las altas concentraciones de material particulado. El límite superior quedó establecido en 18°, debido a que superior a este el quemador los niveles de emisiones aumentan saturando los el analizador y posteriormente el quemador se bloquea por el exceso de aire existente en la combustión.

Se implementó un sistema de procesamientos dinámicos de datos el cual capta las variables de CO, NO_x, Lambda, O₂, Temperatura de humos, Caudal de agua, Temperatura de entrada y salida de agua de la caldera en plataforma Labview. Este programa facilita la visualización del comportamiento del sistema logrando obtener de este, un cálculo estadístico de los datos tomados.

Los análisis realizados, indican que con uso del biodiesel, disminuyen las emisiones de monóxido de carbono al ambiente en 30.1% en promedio, pero se debe tener en consideración que la potencia disminuye en 2,24%, debido a que este biodiesel, posee menor poder calorífico que el diesel.

El Flujo de combustible en el quemador es mayor al usar biodiesel como se muestra en la figura 5, observando que para alcanzar la potencia generada por diesel se consume más biocombustible.

Claramente podemos observar que las zonas de trabajo del quemador según análisis de combustión, rendimiento y procesamiento de imágenes, se sitúa en la zona de apertura de entre los 10 y los 15 grados, obteniendo aquí resultados satisfactorios como los mostrados en el presente trabajo.

La posición del disco estabilizador llama óptimo en este quemador Riello, en el cual se trabajó en la realización de las experiencias (disco estabilizador numero 3), ya que en este disco tenemos un mayor rango de aperturas de dámper para las mediciones.

El estudio revela que mezclas de biodiesel-diesel en proporciones hasta 50% son recomendables para el uso en quemadores, debido a que se logran disminuir emisiones, reemplazo parcial de diesel y reducción de emisión de CO₂ a la atmósfera.

4. REFERENCIAS

- [1] Wilfrid Francis. *Los combustibles y su tecnología*. 1965
- [2] R.Norris Shreve. *Industria de productos químicos*. 1945
- [3] W.H. Severns, H.E. Degle, J.C. Miles. *La producción de energía mediante el vapor de agua, el aire y los gases*. 1982.
- [4] Henry Burgay *Energy, the Biomass options*. . 1981
- [5] Frank Kreith, Mark S. Bohn. *Principios de transferencia de calor*. 2001
- [6] Frank P. Incropera, David P. Dewitt. *Fundamentos de transferencia de calor*. 1999.
- [7] Yunus A. Cengel, Michael A. Boles. *Termodinámica*. 1986
- [8] Mark W. Zemansky. *Calor y termodinámica* 1964.
- [9] Garg A., Specify Better Low-NOx Burners for Furnaces, *Chemical Engineering Progress*, pp 46-49, January, 1994
- [10] Oscar Farias Fuentes. *Towards the Development of an Optimal Combustion Control in fuel-Oil Boilers from the Flame Emission Spectrum*. 1997.
- [11] Kurihara H, Nishikama M, Watanabe A. *Combustion Diagnosis method for coal boilers using flame-image recognition technology, IEEE Transaction on Energy Conversion*, Vol EC-1, N°2, 99-103. 1986
- [12] Ngendakumana Ph. And Farias O. *Automatic Control of Combustion in fuel oil Boilers*, IEA Combustion Agreement Task Leaders Meeting, Cranfield University, England. 1996.

5. Agradecimientos

PROYECTO FONDEF D05110391. Utilización de Brassica Napus para la producción de Biodiesel: Desarrollo y optimización del proceso. Por apoyo y financiamiento a la investigación.