



TRABAJO TEORICO EXPERIMENTALES

Evaluación del desempeño de un motor Yuchai trabajando con biodiesel cubano

Performance evaluation of Yuchai Engine working with Biodiesel

Ramón Piloto - Rodríguez

Noel Ferrer - Frontela

Nayvi Ferrer - Frontela

Recibido: Junio del 2008

Aprobado: Septiembre del 2008

Resumen/ Abstract

En el presente trabajo se realiza una característica exterior de velocidad para un motor trabajando con Biodiesel y sus mezclas, así como se analiza la composición en NOx de los gases contaminantes producto de la combustión. Se comprueba la pérdida en prestaciones del motor y aumento del consumo específico de combustible a medida que aumentamos la cantidad de Biodiesel en la mezcla. Esto se debe al menor poder calórico del Biodiesel. Se observa como la carga contaminante disminuye en más de un 40% cuando se utiliza Biodiesel y se hace un análisis de las posibles causas de este comportamiento. Finalmente se hace una proposición de la mezcla carburante más recomendable para su utilización.

Palabras clave: biodiesel, emisiones, característica exterior de velocidad

At the present work, the authors obtain the engine outer velocity characterization working with Biodiesel and its mixtures, and show the chemical composition of the exhaust gases respect to NOx. It is observed a decrease in the engine performance when the Biodiesel per cent is growing. This behaviour must be due to the lower heat power for Biodiesel respect to Diesel. They obtain a 40% decrease in the NOx formation respect to Diesel and it is developed an analysis of the reasons of that. Finally they propose the optimized mixture for the use in an internal combustion engine, about the 20% of Biodiesel, because this is the equilibrium between contamination and engine performance.

Keywords: biodiesel, emissions, outer velocity characteristic

INTRODUCCIÓN

La producción y explotación de Biocombustibles como una alternativa energética para la sustitución paulatina y el alargamiento del tiempo de vida de los combustibles fósiles tradicionales, es hoy fundamentalmente en Europa, Estados Unidos y Brasil un tema de primer orden en el desarrollo tecnológico. La producción y uso de biocombustibles como todos conocemos puede generar problemas éticos y de crisis alimentaria si no se maneja adecuadamente.

En Cuba se han estado realizando en los últimos años investigaciones importantes respecto a biocombustibles, en especial el Bioetanol y el Biodiesel. Nuestro trabajo se concentra solamente en este último, que es el de mayor desarrollo en Europa. El Biodiesel es una alternativa energética real que si se maneja adecuadamente, no compete con la producción de alimentos[1].

Al respecto, el mundo esta centrado la producción del mismo a partir de plantas oleaginosas no comestibles como la *Jatropha* e *Higuereta*, que además nos ofrecen los mayores rendimientos por hectáreas de Biodiesel [2].

Los motores Diesel al trabajar con Biodiesel experimentan una pérdida de potencia debido principalmente al menor poder calorífico del Biodiesel, aunque esto se ve compensado con el hecho de ser este un recurso renovable y amigo del medio ambiente.

En este trabajo se presentan las variaciones que ocurren en los parámetros técnicos y medio ambientales del motor Yuchai al utilizar Biodiesel.

MATERIALES Y MÉTODOS

Es necesario señalar que se utilizo en este trabajo Biodiesel a partir de aceite de soya, materia prima comestible, debido a que es solo de este aceite que se disponía en ese momento, por lo que se decidió probar nuestra tecnología con este sin esperar por un aceite más adecuado para este fin como es el procedente de *Jatropha* e *Higuereta*.

Esto no constituye un problema técnico debido a que las diferencias entre Biodiesel de diferente procedencia tanto química como físicamente son mucho menores que las debidas al uso de diferentes fuentes de Diesel que constituye nuestro sistema de referencia. En la tabla 1 se muestran las especificaciones técnicas del motor utilizado en nuestras pruebas de laboratorio. Para la medición de humedad relativa, así como la temperatura en el local de pruebas se utilizo un Testo 445 de fabricación alemana con un rango de medición de la temperatura desde -20 a +70°C ± 0.2 °C y mide la humedad relativa desde 0-100% HR ± 0.1 %.

Se utilizo para medir las emisiones de NO, NOx y la temperatura de los gases de escape un analizador de gases Testo-300L de fabricación alemana con un rango de medición de 0 a 3000 ppm ± 1 ppm . También a la salida de los gases de escape es capaz de medir las temperaturas desde -40°C a 1200°C ± 0.5 °C.

Para la medición de presión se utilizo un barómetro digital Vacubrand CVC-2, también de procedencia alemana. Para la medición de consumo de combustible fue utilizada una balanza técnica Sartorius con una precisión de 0.1 g.

Para las pruebas en la sala de motores del CETER, se utilizaron una muestra patrón de Diesel y mezclas de este con Biodiesel en distintos por cientos, a las cuales se les realiza la Característica Exterior de Velocidad. Esta no es mas que el estudio de la variación que sufren los parámetros Potencia Efectiva (Ne), Torque (Me), Consumo de Combustible Horario (Gc) y Consumo Específico (gc) contra la Frecuencia de Giro (rpm) cuando la cremallera está totalmente abierta, es decir cuando se logra la máxima dosificación de combustible. Como se puede apreciar esta característica aporta una valiosa información al darnos los parámetros máximos de Potencia y Torque que entrega el motor con su Consumo Específico Mínimo y las revoluciones a los cuales se encuentran estos.

Para realizar las diferentes pruebas fue necesario primero llevar el motor a un periodo de asentamiento para lograr una buena estabilidad y rendimiento del mismo. Además, se tuvo en cuenta que al pasar de un punto de medición a otro siempre se esperó a que se lograra la estabilidad térmica para realizar la medición.

Tabla 1. Especificaciones técnicas del motor YUCHAI	
ITEM	Especificación
Modelo.	YC61108Q
Tipo.	Vertical, en línea, cuatro tiempos, enfriamiento por agua.
Cámara de combustión.	Inyección directa
Número de cilindros.	6
Diámetro del cilindro. (mm)	108
Recorrido del émbolo. (mm)	125
Proporción de compresión.	16.5:1
Potencia nominal. (KW)	100
Revolución nominal. (r/min.)	2800
Torque máximo. (Nm)	428
Revolución en el torque máximo. (r/min.)	428
Consumo mínimo de combustible a plena carga.	≤224.4
Proporción de consumo de combustible y de aceite. (%)	≤0.8
Temperatura de escape. (°C)	≤650
Número de humo de escape. (Bosch)	≤4.0
Vel. media del pistón. (m/s)	11.7

METODOLOGÍA DE REALIZACIÓN DEL ENSAYO

1. Se arranca el motor y se lleva al régimen térmico óptimo de trabajo, aproximadamente 70 °C en el agua de enfriamiento a la entrada y 85 °C a la salida del motor. Esto se hace manteniendo el motor a media velocidad con ligera carga durante 5 ó 10 min.

2. Se lleva la cremallera hasta su tope máximo donde se logra la máxima dosificación de combustible.
3. Se va aumentando la carga externa del freno, de esta forma el motor está estabilizado y se toman las lecturas de torque, revoluciones, tiempo en consumir los gramos establecidos (50g) de combustible temperaturas del agua de enfriamiento, de salida de los gases de escape, temperatura ambiente, las emisiones de oxido de nitrógeno (NO) y óxidos nitrosos (NOx)

4. Se varía la carga del freno para obtener otro punto de medición de las características, realizándose las mismas lecturas, siendo necesario esperar la estabilización del sistema, en cada punto.
5. Con los resultados obtenidos se elaboran las curvas características exteriores de velocidad con respecto a cada prueba realizada.
6. Se realiza una comparación entre el torque, la potencia el consumo específico y la emisión de los gases contaminantes medidos para el motor con la utilización del Diesel patrón y los diferentes por cientos de mezclas Biodiesel-Diesel y con esto se pasa al proceso de selección de la mezcla adecuada para el mejor funcionamiento del motor y reducción de los gases contaminantes.

Estos experimentos se realizaron primero con el Diesel y después con las diferentes mezclas Biodiesel-Diesel que son B20 (20% Biodiesel -80% Diesel), B50 (50% Biodiesel - 50% Diesel) y B100 (Biodiesel puro). Para la realización de los experimentos se utilizó como combustible Patrón Diesel (CUPET) y Biodiesel cubano obtenido a partir de aceite de Soya.

El momento efectivo se obtuvo directamente del panel de control. Los cálculos para la obtención de los resultados de la Potencia Efectiva, el *gasto horario* y el *consumo específico* se obtuvieron a través de las formulas siguientes y en el orden mencionado:

$$N_e = rpm \frac{\pi}{30} \left[\frac{M_e}{1000} \right] = [kW] \quad (1)$$

$$Gh = 3.6 \frac{m}{tc} = \left[\frac{kg}{h} \right] \quad (2)$$

$$ge = \frac{Gh(1000)}{N_e} = \left[\frac{g}{kW-h} \right] \quad (3)$$

Donde:

Gh: Consumo horario

tc :Tiempo de consumo

m: masa (en todos los casos se utilizaron 50g)

RESULTADOS EXPERIMENTALES

Para la obtención de la característica exterior de velocidad tanto con Diesel patrón como con Biodiesel y sus mezclas se determinaron los parámetros: Potencia Efectiva (N_e) en (kW), el Momento Efectivo (M_e) en (N-m) y el Consumo Especifico (ge) en (g/kW-h), a diferentes rpm. Los resultados son mostrados a continuación en Tablas y gráficos. Estos últimos debido al espacio limitado que se dispone se muestran condensados en tres gráficos, uno para cada parámetro analizado.

En la tabla 2 se muestran las prestaciones obtenidas utilizando Diesel y en la Tabla 3 las correspondientes a las mezclas con Biodiesel al 20%.

En la tabla 3, se puede observar en todas las características exteriores de velocidad que el Momento efectivo máximo se encuentra alrededor de las 2000 revoluciones. La potencia efectiva máxima se encuentra siempre en las máximas rpm medidas que en todos los casos es de 2800 y el consumo específico mínimo de combustible esta alrededor de las 2000 rpm. Esto se observa en las figuras 1,2 y 3 respectivamente.

Tabla 2. Resultados con el Diesel Patrón

rpm	Me(N-m)	Ne(kW)	Gh(Kg/h)	ge(g/kW-h)
1000	312	32,67	6,8	208,1
1500	332	52,15	10,6	203,3
2000	370	77,49	15,5	200
2500	350	91,63	19,4	211,7
2800	322	94,41	21,7	229,8

Tabla 3. Resultados con la mezcla B20

rpm	Me(N-m)	Ne(kW)	Gh(Kg/h)	ge(g/kW-h)
1000	285	29,84	6,4	215
1500	317	49,79	10,3	206,9
2000	347	72,67	14,7	202,3
2500	320	83,77	18,1	216,1
2800	300	87,96	20,5	234,2

En los motores de combustión interna el análisis de las prestaciones del motor en cuanto a Ne, Ge, Me es de suma importancia ya que estos indicadores son los estimados reales de explotación del usuario. En la figura 1 se muestra el comportamiento de los diferentes *momentos efectivos* obtenidos para las diferentes mezclas y la muestra patrón. Se puede observar además que las curvas están por debajo de la muestra patrón de Diesel, de forma tal que al aumentar el por

ciento de mezcla de Diesel-Biodiesel disminuye el Momento Efectivo del motor. Las pérdidas de Momento Efectivo llegan a estar en un orden del 18% si se compara el Diesel con el Biodiesel sin mezclar. De todas las mezclas la que menos pérdida de Momento experimenta es la B20. El mismo tipo de estudio comparativo pero en el caso de *consumo específico* de combustible se muestra en la figura 2. Se evidencia que la mezcla B20 es más eficiente que la mezcla B50 y el B100 ya que a todas las revoluciones estudiadas consume menos cantidad de combustible. Ver tablas 4 y 5.

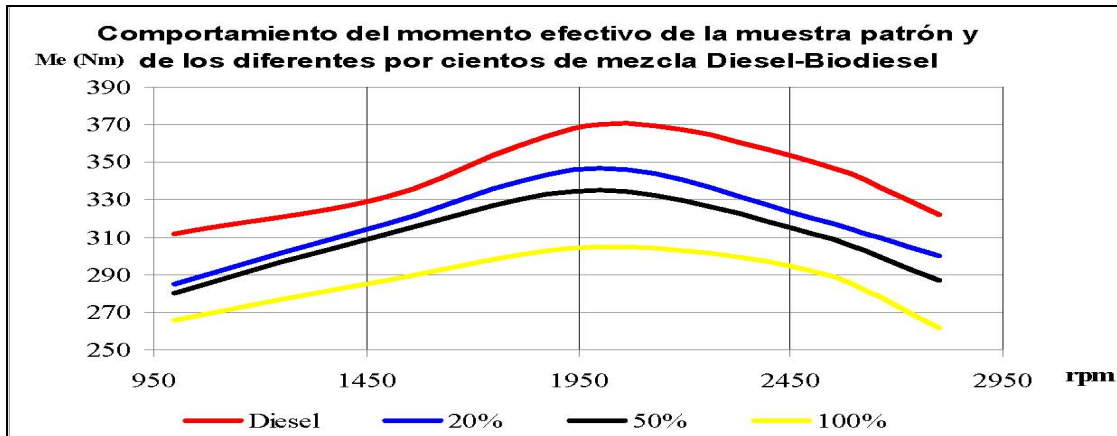


Fig.1 Momento efectivo para las diferentes mezclas estudiadas.

Tabla 4. Resultados con la mezcla B50

rpm	Me(N-m)	Ne(kW)	Gh(Kg/h)	ge(g/kW-h)
1000	29,32	29,84	6,4	221,7
1500	49,01	49,79	10,3	212
2000	70,16	72,67	14,6	208,1
2500	81,68	83,77	17,9	219,1
2800	84,15	87,96	19,8	235,3

Tabla 5. Resultados con Biodiesel

rpm	Me(N-m)	Ne(kW)	Gh(Kg/h)	ge(g/kW-h)
1000	266	27,85	6,3	230
1500	287	45,08	9,8	217,4
2000	305	63,88	13,6	215
2500	292	76,44	17,6	230,2
2800	262	76,82	18,9	246

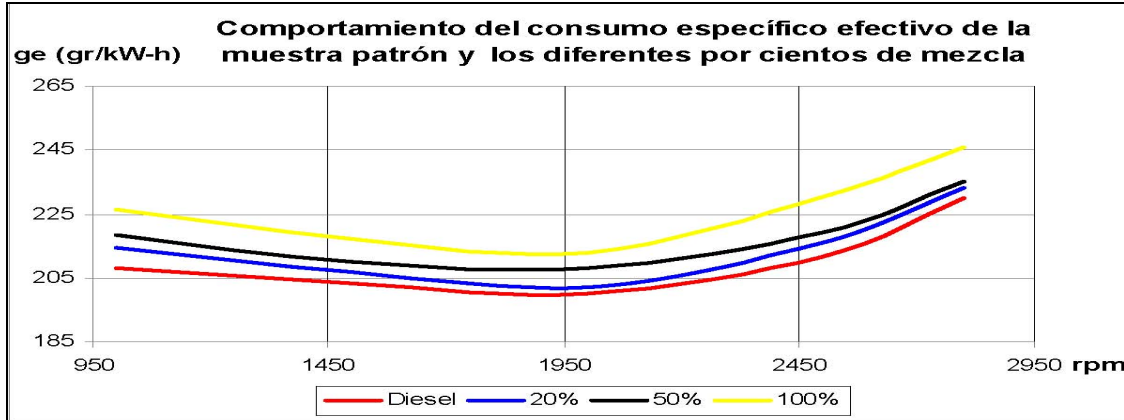


Fig.2 Comparación del Consumo Específico de combustible.

Los resultados comparativos siguen indicando como se aprecia que la mezcla mas adecuada en cuanto a las prestaciones del motor es la B20. La comparación de Potencia Efectiva se muestra en la figura 3. Los resultados presentados en esta última figura nos demuestran como la potencia disminuye a medida que aumenta el porcentaje de Biodiesel en la mezcla. Esta pérdida de potencia se debe al menor poder calórico del Biodiesel con respecto al Diesel [3]. Como conclusión parcial del trabajo podemos decir que las prestaciones del motor analizadas mediante las curvas exteriores de velocidad obtenidas para las diferentes mezclas, disminuyen en todos los parámetros analizados a medida que aumentamos el por ciento de Biodiesel en la mezcla, por lo que se recomienda el uso de la mezcla B20 como se reporta en la mayoría de las investigaciones realizadas en este sentido internacionalmente. Por ultimo se realizó el estudio de composición química de los gases de escape para evaluar la carga contaminante emitida por las mezclas analizadas. El análisis químico está focalizado en la determinación de la familia de los NOx, debido fundamentalmente a dificultades para la medición del resto de los contaminantes. El análisis de la emisión de CO₂ en el caso del Biodiesel no es importante si se analiza el ciclo de vida completo de la planta. El contenido de humos se conoce es bastante bajo, así que el aporte fundamental de estas mezclas con Biodiesel para reducir o

no la carga contaminante se debe fundamentalmente al análisis de los NOx. Los resultados se muestran en la figura 4.

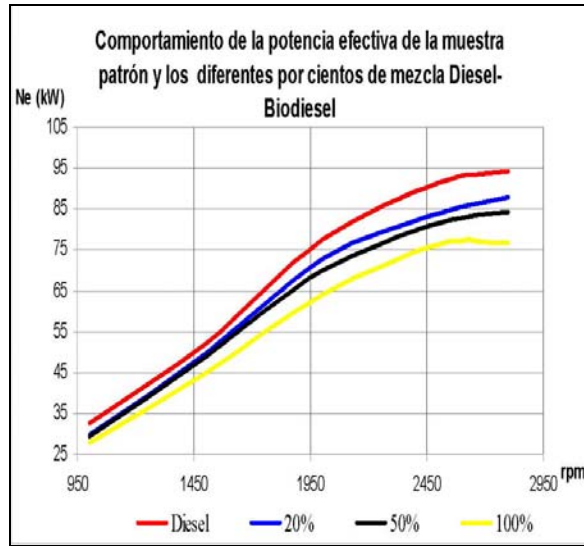


Fig.3. Comparación de Potencia Efectiva.

Estas determinaciones fueron realizadas a diferentes rpm y para todas las mezclas, midiendo la temperatura de los gases de escape, para tener idea de la variación de temperatura en el proceso de combustión. Se conoce que entre otros factores la temperatura influye en las emisiones de NOx. La regulación del motor se mantuvo constante para las diferentes mezclas. En la figura 4 se evidencia que en todas las rpm existe

una tendencia bien marcada a reducir las emisiones de NOx a medida que se aumenta el porcentaje de Biodiesel. Esta reducción cuando se analizan las emisiones de Biodiesel puro con respecto al patrón de Diesel llegan a ser inferiores en un 40%. La literatura señala en una gran mayoría de los estudios realizados resultados opuestos a los obtenidos en este trabajo, es decir, un aumento de los NOx a medida que aumenta el Biodiesel [4].

Estos experimentos fueron realizados varias veces por lo que se comprobó la validez de nuestros resultados. Además, la literatura internacional al respecto no es absoluta ya que también se ha reportado que las emisiones de NOx pueden incrementarse o disminuir al aumentar el por ciento de NOx [5], dependiendo esto fundamentalmente del tipo y la tecnología del motor utilizado en las pruebas.

Además depende de la forma en que sea suministrado el aire, su presión, y la temperatura que influye notablemente en las emisiones de NOx, depende también del diseño del motor y de la eficiencia de su sistema de refrigeración.

Se han reportado resultados de investigación donde se ha reducido la emisión de NOx hasta en un 10% utilizando Biodiesel. La explicación a nuestros resultados puede ser debido al tipo de motor utilizado, que es de cámara de combustión única y no dividida.

Si se dispusieran de datos de temperatura dentro de la cámara de combustión se le podría dar una explicación a este fenómeno, pues es de esperar que debido al menor poder calórico del Biodiesel, este y sus mezclas tengan una menor temperatura dentro de la cámara y por ende no se favorezcan las emisiones de NOx, sino todo lo contrario.

Para reafirmar esta Hipótesis se realizó un estudio final de la temperatura de los gases de escape medidas. Los resultados se muestran en la tabla 6. Aunque los cambios no son muy acentuados a medida que aumenta el contenido de Biodiesel, sí se evidencia una disminución, más clara cuando se analizan los extremos, es decir, Diesel y Biodiesel.

La última columna de la tabla 6 muestra la diferencia de temperatura al pasar a Biodiesel con respecto al Diesel. Se nota una gran diferencia en el ultimo caso, a 2800 rpm, que cuando se compara con los gráficos de contenido de NOx de la figura 4 se observa que es precisamente a estas rpm que se observa la tendencia más acentuada a la disminución de los NOx, por lo que hay evidencias que podría ser esta la explicación de la disminución. Esto debería ser estudiado y analizado en trabajos posteriores siempre que se disponga de mediciones de temperatura dentro de la cámara de combustión.

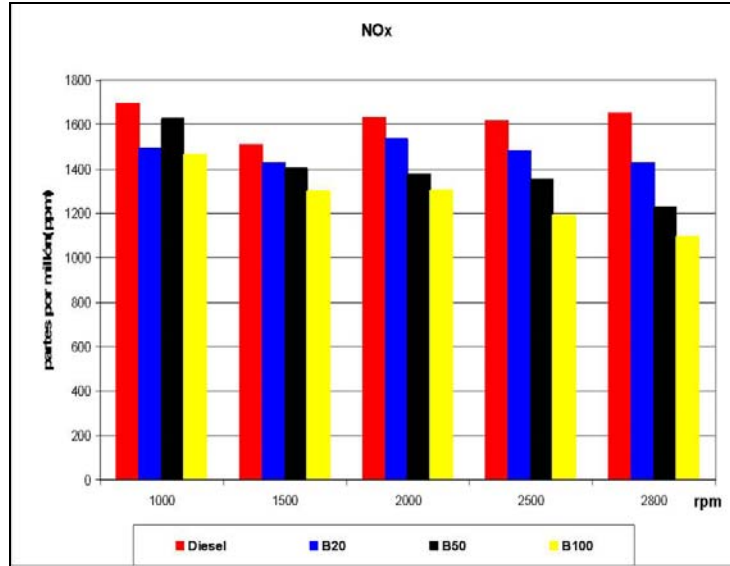


Fig.4 Emisiones de NOx para Biodiesel y sus mezclas.

rpm	Diesel	B5	B20	B50	B100	ΔT
800	220	220	202	203	203	17
1000	242	239	225	220	222	20
1500	274	270	269	275	267	17
2000	298	293	289	298	293	5
2500	294	300	278	291	289	5
2800	357	273	260	275	265	92

CONCLUSIONES

1. Como resultado de este trabajo se concluye que a medida que se aumenta el contenido de Biodiesel, disminuyen las prestaciones del motor y aumenta el consumo específico de combustible.
2. Las emisiones de NOx disminuyen acentuadamente a medida que aumentamos el contenido de Biodiesel, lo cual puede ser debido al diseño de la cámara de combustión y/o a la disminución de temperatura a medida que aumentamos el contenido de Biodiesel.
3. La mezcla adecuada para su uso en este Motor de Combustión Interna es B20, es decir al 20% de Biodiesel, debido a que en esta se llega a un compromiso entre las emisiones y las prestaciones del motor.

REFERENCIAS

- [1] OPENSHAW K. A : Review of Jatropha Curcas. An oil plant of unfulfilled promise. Biomass and Bioenergy. 19. 2000. 1-15.
- [2] SARIN R., et al: Jatropha-Palm Biodiesel blends. An optimum mix for Asia. Fuel. 84.. 1365-1371. 2007.
- [3] FAJARDO, J.: Estudio del desempeño mecánico y ambiental de los motores de encendido por compresión al utilizar Biodiesel como combustible. Universidad Técnica de Bolívar. Colombia. 2006.
- [4] SZYBIST J.P. and SONG J.: Biodiesel combustion, emissions and emission control. Fuel Processing Technology. 2007. National Biodiesel Board. Biodiesel Emissions. 2006
- [5] PETERSON C.L. and REECE D.: Toxicology, Biodegradability and Environmental Benefits of Biodiesel. Department of Agricultural Engineering, University of Idaho, 1994.

AUTORES

Ramón Piloto Rodríguez

Ingeniero Químico, Master en Química Analítica. Profesor Asistente. Centro de Estudio de Tecnologías Energéticas Renovables (CETER). Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
email: rpiloto@ceter.cujae.edu.cu

Noel Ferrer Frontela

Ingeniero Mecánico, Profesor Instructor. CETER. Facultad de Ingeniería Mecánica. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
email: noel@ceter.cujae.edu.cu

Nayvi Ferrer Frontela

Ingeniera Mecánica, Profesor Instructor. CETER. Instituto Superior Politécnico “José Antonio Echeverría”.
email: nferrer@ceter.cujae.edu.cu