

Interfaz Gráfica de Usuario para el Análisis de una Turbina de Gas con Regeneración y Recalentamiento

Graphical User Interface for the Analysis of Gas Turbine with Regeneration and Reheat

Francisco Javier Ortega Herrera¹, José Antonio González Rivas², Rafael Alejandro Rodríguez Moreno¹, José Miguel García Guzmán¹ , Fernando Figueroa Godoy¹, Juan Pablo Razon Gonzalez¹ 
frortega@itesi.edu.mx, antoniorivas262@gmail.com, rafrodriguez@itesi.edu.mx, migarcia@itesi.edu.mx, fernando.figueroa@itesi.edu.mx, jurazon@itesi.edu.mx

¹Profesor de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carr. Irapuato-Silao km 12.5, Colonia El Copal, C.P. 36821, Irapuato Guanajuato, México.

²Estudiante de Ingeniería Electromecánica, Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, Carr. Irapuato-Silao km 12.5, Colonia El Copal, C.P. 36821, Irapuato Guanajuato, México.

PALABRAS CLAVE:

Trabajo, Eficiencia, Ciclo, Brayton, Regenerador, Recalentador

RESUMEN

En el presente trabajo una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) es desarrollada para el análisis de una turbina de gas con un compresor, dos turbinas, un recalentador, un regenerador y una cámara de combustión, la GUI permite analizar el funcionamiento de dicha turbina cuando el fluido de trabajo es aire, oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono. La GUI calcula entre otros parámetros el trabajo neto y la eficiencia térmica de la turbina de gas, introduciendo las condiciones iniciales del sistema como son las relaciones de presiones, las eficiencias y las temperaturas de entrada en el compresor y las turbinas. El modelo matemático realizado para elaborar la GUI es basado en la primera ley de la termodinámica y el método de calores específicos variables. La GUI desarrollada facilita el estudio de la turbina de gas seleccionada.

KEYWORDS:

Work, Efficiency, Cycle, Brayton, Reheat, Regenerator

ABSTRACT

In this paper, a Graphic User Interface (GUI) is developed for the analysis of a gas turbine with a compressor, two turbines, a reheat, a regenerator and a combustion chamber, the GUI allows to analyze the operation of the turbine when the working fluid is air, oxygen, nitrogen and carbon dioxide. The GUI calculates among other parameters, the net work and thermal efficiency of the gas turbine, introducing the initial conditions of the system such as the pressure ratios, efficiencies and inlet temperatures in the compressor and turbines. The mathematical model created to develop the GUI is based on the first law of thermodynamics and the method of variable specific heats. The GUI facilitates the analysis of the gas turbine shown in this study case.

Recibido: 8 de octubre del 2015 Aceptado: 12 de abril del 2016 • Publicado en línea: 9 de junio 2016

1 INTRODUCCIÓN

Muchos estudios se han realizado en el ámbito del funcionamiento de turbinas de gas que funcionan bajo el ciclo Brayton entre los más importantes se pueden mencionar los siguientes. Villamar, Santos, Rondón y Valera (2012) desarrollan un modelo que permite determinar los principales parámetros de funcionamiento del ciclo Brayton, además de realizar su análisis energético y exergético. Malaver (2012) considera las irreversibilidades asociadas a los ciclos de turbina de gas reales, optimizando el trabajo neto en un ciclo Brayton para un motor de turbina a gas en términos de la relación de trabajo de retroceso. Alfaro, Gallegos, Riesco, Elizalde y Mendoza (2012) estudian el desempeño termodinámico de un ciclo de potencia consideran tres tipos de combustibles, dos convencionales y un bio-combustible.

Lugo, Zamora, Salazar y Toledo (2009) estudian el comportamiento termodinámico de turbinas de gas complejas que incluyen varias etapas de compresión y enfriamiento, seguidas de dos o más secciones de combustión-expansión. Malaver de la Fuente (2010) menciona que la relación que existe entre las temperaturas, la relación de trabajo de retroceso y el trabajo neto en el ciclo Brayton, la aplicación de programas computarizados ayuda a mostrar la influencia de la relación de trabajo de retroceso o relación de acoplamiento, la temperatura de entrada al compresor y la temperatura de entrada a la turbina en este ciclo termodinámico ideal.

Aragón-Camarasa, Aragón-Gonzalez, Canales y León (2013) analizan un ciclo Brayton con irreversibilidades externas e internas, se realiza la optimización del trabajo adimensional respecto a dos parámetros: razón de las temperaturas isentrópicas y la razón de las dimensiones de los intercambiadores de calor. Abou, Matrawy y Abdel-Rahim (2013) desarrollan un modelo matemático general para especificar el rendimiento de una turbina de gas irreversible que funciona bajo el ciclo Brayton, se incorpora un compresor de dos etapas, una turbina dos etapas con recalentador, y regenerador, las irreversibilidades son debidas a las tasas de transferencia de calor finitas y las caídas de presión.

Zhu y Frey (2007) realizan una evaluación de un sistema de turbina de gas utilizando simuladores de procesos para el modelado, con el fin de facilitar el análisis crean un modelo simplificado para las turbinas de gas que funcionan bajo el ciclo Brayton utilizando Microsoft Excel. Nieto, Gonzalez, Lopez y Jiménez

(2011) obtienen curvas que relacionan la eficiencia y las emisiones con el número de carbonos presentes en el combustible. Existen pérdidas irreversibles en la producción de trabajo en las máquinas térmicas las cuales pueden ahorrarse significativamente si se utilizan los calores residuales (Fushimi, Zárate, Díaz de Quintana, Moreda, Fernández y Hall, 2007).

Ortega, Gonzalez, Pineda, Garcia y Figueroa (2015) analizan la influencia que tienen las eficiencias del compresor y las turbinas en la eficiencia térmica, el trabajo neto y el trabajo de retroceso de una turbina de gas que funciona bajo el ciclo Brayton, la cual tiene un compresor, dos turbinas, cámara de combustión, regenerador y recalentador.

En el presente trabajo se desarrolla una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) para el análisis de una turbina de gas formada por un compresor, dos turbinas, una cámara de combustión, un regenerador y un recalentador, dicha turbina funciona bajo el ciclo Brayton, la GUI permite analizar el trabajo neto, la eficiencia térmica, el trabajo de retroceso, el trabajo en el compresor, el trabajo total en las turbinas, además de la presión y la temperatura de todos los estados termodinámicos que intervienen en el análisis del caso de estudio analizado. La GUI puede realizar dichos análisis utilizando como fluidos de trabajo aire, oxígeno, nitrógeno y dióxido de carbono.

2 CASO DE ESTUDIO

El caso de estudio consiste en realizar una Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) que permita analizar el comportamiento termodinámico de una turbina de gas formada por un compresor, dos turbinas, una cámara de combustión, un regenerador y un recalentador. Para resolver el caso de estudio planteado, primeramente se desarrolla un modelo termodinámico partiendo de la primera ley de la termodinámica y utilizando el método de calores específicos variables, el sistema es modelado como un ciclo Brayton con recalentamiento y regeneración. El modelo matemático se desarrolla en forma paramétrica para ser utilizado con diferentes fluidos de trabajo y diversas condiciones de operación.

Los fluidos de trabajo que se utilizan son el aire, dióxido de carbono, oxígeno y nitrógeno, estos fluidos son modelados como gases ideales. La GUI es desarrollada utilizando el software Engineering Equation Solver (EES), se selecciona este software ya que entre tiene precargadas en sus librerías tablas de propiedades termodinámicas, lo cual facilita la creación de la GUI. En las

siguientes secciones se muestra el modelo matemático desarrollado y la GUI elaborada para el análisis del caso de estudio planteado.

3 MODELO MATEMÁTICO

A continuación se presenta el modelo matemático desarrollado para el análisis del caso de estudio. En la Tabla 1 se presenta la nomenclatura utilizada en el desarrollo del modelo matemático.

Tabla 1. Nomenclatura

Símbolo	Significado
$h_{1...7}$	Entalpía en los estados termodinámicos 1, 2, 3, 4, 5, 6 o 7
$h_{2r, 3r, 5r, 7r}$	Entalpía en los estados termodinámicos 2r, 3r, 5r y 7r
$P_{1...7}$	Presión en los estados termodinámicos 1, 2, 3, 4, 5, 6 o 7
$P_{2r, 3r, 5r, 7r}$	Presión en los estados termodinámicos 2r, 3r, 5r y 7r
Q_{reg}	Calor que entra al sistema
Q_{reg}	Calor regenerado

Tabla 1. Nomenclatura (continuación)

Símbolo	Significado
r_{p1}	Relación de presión en el compresor
r_{p2}	Relación de presión en la turbina 1
r_{p3}	Relación de presión en la turbina 2
W_c	Trabajo del compresor
W_{neto}	Trabajo neto del ciclo
W_{reg}	Trabajo de retroceso
W_T	Trabajo de las turbinas
$s_{1...7}$	Entropía de los estados termodinámicos 1, 2, 3, 4, 5, 6 o 7
η_c	Eficiencia térmica del compresor
η_t	Eficiencia térmica del ciclo
η_{reg}	Eficacia del regenerador
η_{T1}	Eficiencia térmica de la turbina 1
η_{T2}	Eficiencia térmica de la turbina 2

La Figura 1 muestra el diagrama esquemático de la turbina de gas analizada y la Figura 2 presenta su correspondiente diagrama termodinámico T-s.

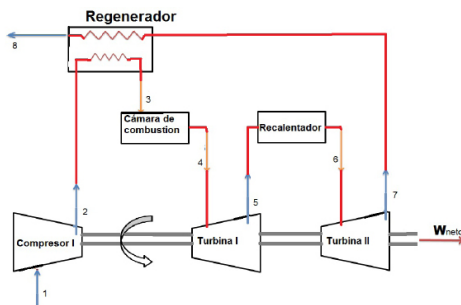


Figura 1. Diagrama esquemático.

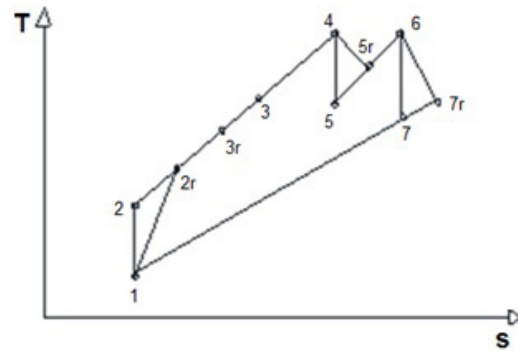


Figura 2. Diagrama termodinámico de la turbina de gas analizada.

En la Figura 1 se observa que el sistema presenta las relaciones de presión mostradas en las Ecuaciones (1) a (3).

$$P_2=P_{2r}=P_3=P_{3r}=P_4 \quad (1)$$

$$P_5=P_{5r}=P_6 \quad (2)$$

$$P_7=P_{7r}=P_1 \quad (3)$$

Las relaciones isoentrópicas del sistemas están definidas por las Ecuaciones (4) a (6).

$$s_1=s_2 \quad (4)$$

$$s_5=s_4 \quad (5)$$

$$s_7=s_6 \quad (6)$$

La relación de presión en el compresor está definida por la Ecuación (7), la cual muestra la relación entre las presiones de entrada y salida del compresor.

$$R_{p1}= P_2/P_1 \quad (7)$$

Las relaciones de presión en las turbinas son determinadas por las Ecuaciones (8) y (9), dichas Ecuaciones representan el cambio en la presión que sufre el fluido de trabajo entre la entrada y la salida de las turbinas.

$$r_{p2}=P_4/P_5 \quad (8)$$

$$r_{p3}=P_6/P_7 \quad (9)$$

La eficiencia térmica del compresor se define por la Ecuación (10), la eficiencia del compresor representa la razón que existe entre el trabajo ideal y el trabajo real que realiza el compresor, dicha Ecuación está en función de las entalpías de los estados termodinámicos que

intervienen en el funcionamiento del compresor.

$$nc = h_2 - h_1 / h_{2r} - h_1 \quad (10)$$

Las eficiencias térmicas de las turbinas son determinadas por las Ecuaciones (11) y (12), la eficiencia de la turbina representa la razón que existe entre el trabajo real y el trabajo ideal que realiza la turbina, dichas Ecuaciones están en función de las entalpías de los estados termodinámicos que intervienen en el funcionamiento de las turbinas.

$$nr_1 = h_4 - h_{5r} / h_4 - h_5 \quad (11)$$

$$nr_2 = h_6 - h_r / h_6 - h_7 \quad (12)$$

Mientras que la eficacia del regenerador es determinada por la Ecuación (13).

$$n_{reg} = h_{3r} - h_{2r} / h_3 - h_{2r} \quad (13)$$

El calor que entra al sistema se define por la Ecuación (14), el calor entra al sistema tanto en la cámara de combustión como en el recalentador, la Ecuación (14) es definida en función de las entalpías de los estados termodinámicos que intervienen en el funcionamiento de la cámara de combustión y del recalentador.

$$q_{ent} = (h_4 - h_{3r}) + (h_6 - h_{5r}) \quad (14)$$

El calor del regenerador es determinado por la Ecuación (15), el regenerador aprovecha el calor que tiene el fluido del trabajo una vez que sale de la segunda turbina.

$$q_{reg} = h_{3r} - h_{2r} \quad (15)$$

El trabajo del compresor se determina por la Ecuación (16) y representa el trabajo que consume el compresor para su funcionamiento. La Ecuación (16) es definida en función de las entalpías de salida y entrada del fluido de trabajo del compresor.

$$wc = h_{2r} - h_1 \quad (16)$$

El trabajo en las turbinas se define por la Ecuación (17) y representa el trabajo que generan las turbinas. La Ecuación (17) es definida en función de las entalpías de entrada y salida del fluido de trabajo en las turbinas.

$$wr = (h_4 - h_{5r}) + (h_6 - h_7) \quad (17)$$

El trabajo neto es determinado por la Ecuación (18), dicha Ecuación representa la diferencia entre el trabajo que genera las turbinas y el trabajo que consume el compresor.

$$w_{neto} = wr - wc \quad (18)$$

La eficiencia térmica del ciclo es determinada por la Ecuación (19), la eficiencia térmica es la razón obtenida entre el trabajo neto y el calor que entra al sistema.

$$\eta_t = w_{neto} / q_{ent} \quad (19)$$

Finalmente el trabajo de retroceso es determinado por la Ecuación (20), dicha Ecuación representa la razón que existe entre el trabajo del compresor y el trabajo de las turbinas, el trabajo de retroceso se puede definir como la fracción del trabajo que produce la turbina utilizado para accionar el compresor.

$$\eta_t = wc / w_T \quad (20)$$

Las Ecuaciones (1) a (20) representan el modelo matemático utilizado para desarrollar la GUI presentada en la siguiente sección.

4 INTERFAZ GRÁFICA DE USUARIO

El modelo matemático desarrollado es programado en el Software Engineering Equation Solver (EES), en dicho software es creada la Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) mostrada en la Figura 3, la cual permite analizar el funcionamiento de una turbina de gas con un compresor, dos turbinas, una cámara de combustión, recalentador y regenerador, considerando como fluidos de trabajo aire, nitrógeno, dióxido de carbono y oxígeno.

Para el funcionamiento de la GUI solamente es necesario introducir las condiciones iniciales de operación de la turbina gas como son: temperatura de entrada del fluido de trabajo al compresor, a las dos turbinas, las relaciones de presiones en las turbinas y el compresor, además de las eficiencias del compresor y las turbinas, así como la eficacia del regenerador.

La GUI creada como un archivo ejecutable, por tal motivo puede ser utilizada en cualquier equipo de cómputo sin necesidad de instalar otro software especializado. La GUI funciona como un archivo portable por lo cual no requiere ser instalada en el equipo de cómputo y puede funcionar directamente desde una memoria USB.

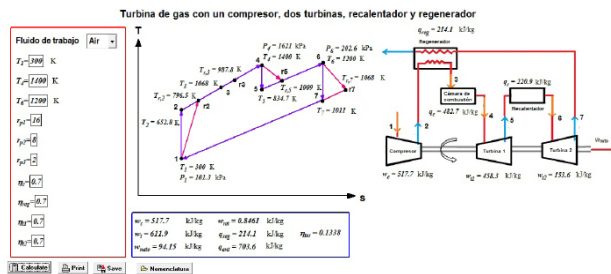


Figura 3. Interfaz Gráfica de Usuario (GUI) creada para el análisis de una turbina de gas un compresor, dos turbinas, una cámara de combustión, recalentador y regenerador.

La GUI desarrollada consta de 6 partes, las cuales son mostradas en las Figuras 4 a 9. La Figura 4 muestra la sección de la GUI donde se introducen los datos iniciales de funcionamiento del sistema, en esta parte se selecciona el fluido de trabajo (aire, oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno) con el cual se realiza el análisis, se debe introducir el valor de la temperatura de entrada del fluido de trabajo al compresor (T_1), la temperatura de entrada del fluido de trabajo a la turbina 1 (T_4), la temperatura de entrada del fluido de trabajo a la turbina 2 (T_6), la relación de presión en el compresor (r_{p1}), la relación de presión en la turbina 1 (r_{p2}), la relación de presión en la turbina 2 (r_{p3}), la eficacia del regenerador (η_{reg}), la eficacia térmica del compresor (η_c), la eficacia térmica de la turbina 1 (η_{t1}) y la eficacia térmica de la turbina 2 (η_{t2}).

Para el funcionamiento de la GUI primeramente debe seleccionarse el fluido de trabajo (aire, oxígeno, dióxido de carbono y nitrógeno), al realizar esto el programa carga automáticamente los valores de las propiedades termodinámicas del fluido bajo el cual se realiza el análisis, posteriormente se escriben los valores de las temperaturas indicadas, dichas temperaturas debe introducirse en la escala Kelvin.

La GUI funciona para un rango de temperaturas de 100 K a 3500 K, si el fluido de trabajo seleccionado es aire, y en un rango de 250 K a 3500 K, si el fluido de trabajo seleccionado es oxígeno, dióxido de carbono o nitrógeno. Por su parte, la razón de presión tanto en el compresor como para las turbinas debe ser superior a 1.1. Finalmente los valores de las eficiencias del compresor y las turbinas, además de la eficacia del regenerador deben estar en un rango de 0.1 a 1.

Fluido de trabajo
Air

$T_1 =$

 K

$T_4 =$

 K

$T_6 =$

 K

$r_{p1} =$

$r_{p2} =$

$r_{p3} =$

$\eta_c =$

$\eta_{reg} =$

$\eta_{t1} =$

$\eta_{t2} =$

Figura 4. Condiciones iniciales de operación del sistema.

Una vez introducidos los valores iniciales de operación del sistemas mostrados en la Figura 4, la GUI obtiene las condiciones de presión y temperatura de todos los estados termodinámicos que intervienen en el análisis del sistema tal y como se muestra en la Figura 5.

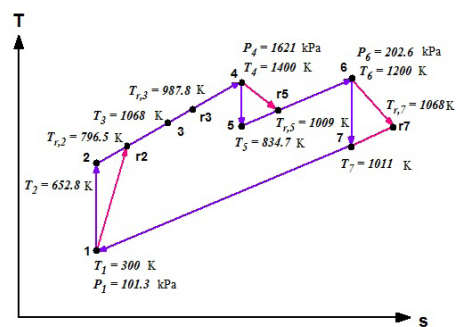


Figura 5. Condiciones de operación de los estados termodinámicos del sistema.

La GUI muestra un diagrama esquemático de la turbina de gas analizada, la cual se presenta a mayor detalle en la Figura 6, en dicho diagrama se puede consultar el valor de los calores y trabajos que generan o consumen los distintos equipos que forman la turbina de gas analizada.

El programa calcula internamente los valores de las propiedades termodinámicas necesarias para determinar los valores presentados en la Figura 6 y en la Figura 7.

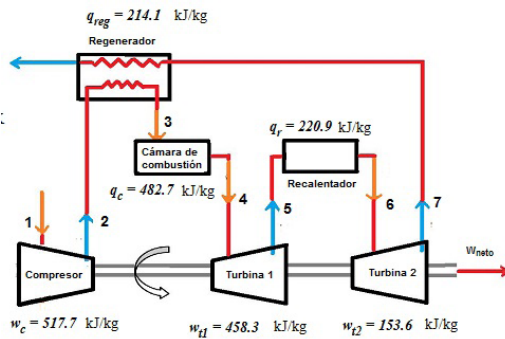


Figura 6. Diagrama esquemático del sistema analizado por la GUI

Adicionalmente la GUI calcula los valores del trabajo del compresor (w_c), el trabajo total de las turbinas (w_t), el trabajo neto producido por la turbina de gas (w_{neto}), el trabajo de retroceso (w_{ret}), el calor regenerado (q_{reg}), el calor que entra al sistema (q_{ent}) y la eficiencia térmica del sistema (η_t), la Figura 7 presenta la parte de la GUI que muestra los resultados calculados.

$w_c = 517.7$	kJ/kg	$w_{ret} = 0.8461$	kJ/kg	
$w_t = 611.9$	kJ/kg	$q_{reg} = 214.1$	kJ/kg	$\eta_{ter} = 0.1338$
$w_{neto} = 94.15$	kJ/kg	$q_{ent} = 703.6$	kJ/kg	

Figura 7. Resultados obtenidos mediante la GUI

La GUI presenta cuatro botones para su operación, los cuales son mostrados en la Figura 8, el botón Calculate permite realizar los cálculos del sistema sujetos a los valores de operación que se introduzcan en la GUI para realizar el análisis correspondiente, el botón Print permite imprimir los resultados obtenidos enviando un reporte directamente a la impresora conectada al equipo, el botón Save guarda en un archivo txt los resultados obtenidos para el análisis realizado (entalpía, entropía, temperatura, presión), además de los resultados que se obtienen mediante la GUI y el botón Nomenclatura, contiene un archivo txt con la definición

de la nomenclatura utilizada en la GUI.



Figura 8. Botones de funcionamiento de la GUI

5 CONCLUSIONES

La interfaz gráfica de usuario desarrollada permite analizar con facilidad el funcionamiento térmico de una turbina de gas con un compresor, dos turbinas, una cámara de combustión, un regenerador y un recalentador, solamente basta con introducir los parámetros iniciales de operación del sistema y la interfaz gráfica obtiene las condiciones de funcionamiento del sistema, además de las condiciones de presión y temperatura de todos los estados termodinámicos presentes en el sistema. La GUI facilita el estudio del funcionamiento de la turbina de gas del caso de estudio presentado, centrando la atención en la interpretación de los valores obtenidos y no en la forma de cómo estos valores son calculados, lo cual permite analizar bajo qué condiciones de operación se pueden obtener un mayor trabajo neto y una mejor eficiencia, buscando de esta forma mejorar el funcionamiento termodinámico de la turbina de gas analizada.

AGRADECIMIENTOS

"Programa apoyado por el CONACYT" mediante el proyecto "Programa para incrementar la participación de estudiantes de licenciatura en proyectos de investigación" apoyado en la convocatoria "Jóvenes talentos 2015".

REFERENCES

1. Villamar C., Santos R., Rondón A., Valera Y. Modelado energético y exergético para el estudio del ciclo Brayton, Ciencia e Ingeniería. 2012, 33(3), 119-128.
2. Malaver M. Optimización del trabajo en un ciclo Brayton con irreversibilidades, Ingeniería. 2012, 22(1), 69-81.
3. Lugo M., Zamora J., Salazar M., Toledo M. Relaciones de presiones óptimas de los ciclos complejos de las turbinas de gas. Información tecnológica. 2009, 20(6), 137-151.
4. Malaver de la Fuente M. La relación de trabajo de Retroceso de un ciclo Brayton. Ingeniería investigación y tecnología. 2010, 11(3), 259-266.
5. Aragón-Camarasa G., Aragon-Gonzalez G., Canales A., León G. Qualitative and quantitative optimization of a standard irreversible Brayton cycle, Revista mexicana de física. 2013. 59(1), 224-229.
6. Abou M., Matrawy K., Abdel-Rahim Y. Optimum parametric performance characterization of an irreversible gas turbine Brayton cycle, International journal of energy and environmental engineering. 2013, 4(37), 1-13.
7. Zhu Y., Frey H. Simplified performance model of gas turbine combined cycle Systems, Journal of Energy Engineering. 2007, 133(2), 82-90.
8. Nieto R., Gonzalez C., Lopez I., Jimenez A. Efficiency of a standard gas-turbine power generation cycle running on different fuels, International Journal Exergy. 2011, 9(1).
9. Fushimi, Zárate L., Díaz de Quintana G., Moreda M., Fernández J. P., Hall M. Análisis de la mejora de la eficiencia energética de los ciclos de vapor por utilización del calor de baja exergía, Avances en Energías Renovables y Medio Ambiente. 2007, 11(1), 09-015.
10. Ortega F., Gonzalez M., Pineda A., Garcia J., Figueroa F. Análisis del efecto de las eficiencias de los compresores y las turbinas en un ciclo brayton con una etapa de compresión y dos de expansión, Memorias del XII encuentro participacion de la mujer en la ciencia, Centro de Investigaciones en Optica, 13 al 15 de Mayo 2015, Leon, Guanajuto, Mexico, 2015.

Acerca de los autores



Francisco Javier Ortega Herrera, Ingeniero Mecánico y Maestría en Ingeniería ambos por la Universidad de Guanajuato, actualmente es Profesor Asociado C de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Es miembro activo de distintas organizaciones a nivel nacional e internacional como ASME, SOMIM, REDECYT, CENEVAL y CIMEI. frortega@itesi.edu.mx.



José Miguel García Guzmán, Ingeniero Electromecánico y Maestría en Ingeniería ambas por el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, actualmente es Profesor Asociado C de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Es miembro activo de distintas organizaciones a nivel nacional e internacional como REDECYT, CENEVAL y CIMEI. migarcia@itesi.edu.mx.



José Antonio González Rivas, estudiante de Ingeniería Electromecánica en el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, actualmente desarrolla su proyecto de titulación en el área de análisis de eficiencias térmicas en turbinas de gas.



Juan Pablo Razon Gonzalez, Maestría en Ingeniería ambos por el Instituto Tecnológico de Celaya, actualmente es Profesor Asociado C de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Es miembro activo de distintas organizaciones a nivel nacional e internacional como CENEVAL y CIMEI. jurazon@itesi.edu.mx.



Rafael Alejandro Rodriguez Moreno, Ingeniero Mecánico por la Universidad de Guanajuato, actualmente es Profesor Asociado A de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Es miembro activo del CENEVAL. rafrodriguez@itesi.edu.mx.



Fernando Figueroa Godoy, Ingeniero Electromecánico por el Instituto Tecnológico Superior de Irapuato, actualmente es Profesor Asociado C de la Coordinación de Ingeniería Electromecánica del Instituto Tecnológico Superior de Irapuato. Es miembro activo del CIMEI. fernando.figueroa@itesi.edu.mx.