

DESARROLLO DE UNA HERRAMIENTA DIDÁCTICA PARA UN GENERADOR DE VAPOR

DEVELOPMENT OF A DIDACTIC TOOL FOR A STEAM GENERATOR

Herrera-Toledo R. A.^{1*}, Zamora-Plata J. A.¹, Robles-Flores J. I.¹, Sánchez-Cárdenas J.P.¹.

¹Facultad de Estudios Superiores Zaragoza, Campus II, UNAM
Batalla del 5 de Mayo esq. Fuerte de Loreto, Col. Ejército de Oriente, Deleg. Iztapalapa, C.P. 09230,
Ciudad de México, México

* rherrera.toledo@comunidad.unam.mx

RESUMEN

Los generadores de vapor son utilizados ampliamente en la industria, se debe evaluar periódicamente su eficiencia, para el cuidado del consumo de combustible. Existen documentos para evaluar la eficiencia, pero pocos persiguen fines didácticos para los alumnos de ingeniería. Para realizar y validar la herramienta propuesta se hicieron mediciones en el generador de vapor de la FES Zaragoza en parámetros como: temperatura de agua, condensado, gases de combustión, y composición de gases que se midió con un equipo analizador de gases de combustión. En el programa se incluye el cálculo de entalpías, flujos térmicos y eficiencia. Se determinó un valor promedio de eficiencia de 82.2%, el exceso de aire se midió en un rango de 50 a 28% valor arriba del recomendado. Los resultados serán interpretados para el estudiante a través de los valores de exceso de aire, temperatura de gases de salida y de la eficiencia del equipo de forma general, resaltando el cuidado del consumo de combustible, la herramienta desarrollada para el generador de vapor será muy utilidad para la enseñanza de la ingeniería de servicios en la carrera de ingeniería química.

Palabras clave: Ahorro de Energía; Eficiencia Energética; Gases de Combustión.

ABSTRACT

Websites Implementation starts the appreciation of virtual environments in 3D, to access the meaning of relevance of the consulted spaces. So the objective of the present study, was to design a website, showing the major public spaces in the municipality of Cunduacan, Tabasco in a visual and interactive way. The study was descriptive, and based in the hybrid methodology for creation of websites. For the design, construction and operation of the website, the programming language JavaScript, CSS3 to define styles, the language HTML5 and the framework CreateJS with Adobe Animate CC were used. As a result, a responsive website of easy use was obtained; which in addition will be able to promoting local, regional, state and national tourism, which may be consulted by users interested in to the digital reconstruction of spaces.

Keywords: Energy Saving; Energy Efficiency; Combustion Gases.

INTRODUCCIÓN

1.1 Uso e importancia en la industria. Los generadores de vapor son utilizados ampliamente en la industria, el vapor es producido con diversos fines, siendo utilizado como fluido de calentamiento dentro de un proceso, como fluido de trabajo en sistemas de conversión a trabajo o inclusive empleándose como medio de

limpieza y esterilización. Al ser un servicio de uso común en la industria su producción, distribución y utilización el encargado del proceso debe garantizar el uso correcto de los recursos disponibles, de tal forma que la operación de las máquinas encargadas de producir el vapor (generadores de vapor- calderas) deben ser evaluadas periódicamente, ya que la eficiencia de estos equipos, afectará directamente el

consumo de combustible y por consecuencia las emisiones de gases de combustión que se realizan al medio ambiente. Por lo cual contar con una herramienta que prepare a los estudiantes aprender la forma en que se evalúan estos equipos es trascendente.

1.2 Clasificación de Generadores de Vapor y calderas.

Aunque es común utilizar indistintamente los términos: generador de vapor (GV) y caldera para referirse al mismo equipo, esto no es del todo correcto, ya que existen diferencias importantes entre ambos equipos, por ejemplo: el almacenamiento de agua dentro del equipo y por ende la velocidad a la que este puede empezar a generar vapor, siendo las calderas los equipos con mayor cantidad de agua dentro de sí, además de su versatilidad; una caldera resultaría más adecuada para calentar el agua (v.g. en una alberca) u obtener vapor saturado un GV tiene la finalidad

de producir vapor saturado o sobrecalentado.

La clasificación de los equipos es muy similar en ambos casos es por ello que suele confundirse como ya se expuso anteriormente [1]. Una clasificación común es por el fluido de trabajo que va por tubos si el agua pasa por los tubos se conoce como acuatubular, y si son los gases de combustión se llaman pirotubulares, otras clasificaciones son por tipo de combustible, circulación, rango de presión, entre otras (véase la **Figura. 1 y 2**).

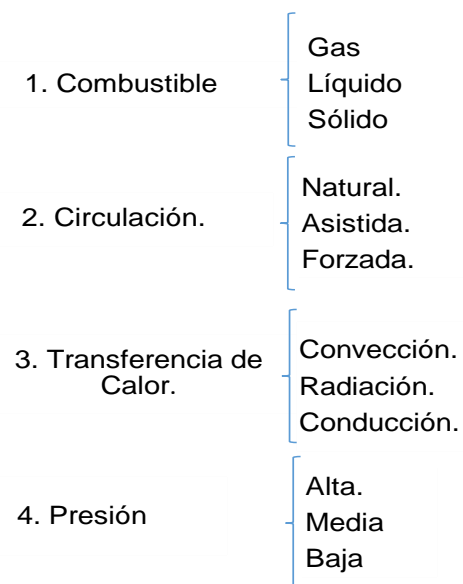


Figura 1.Tipos de clasificación.

1.3 **Selección de metodología de análisis.** Para determinar la eficiencia de los GV y calderas, existen dos métodos, frecuentemente utilizados, ambos métodos tienen el objetivo de cumplir con la normatividad del código ASME PTC 4.1. Por lo cual son los más aceptados, en la **Figura 2.**, se enlistan las ventajas y desventajas de los métodos “Entrada y Salidas” y el método de “Pérdidas” [3].

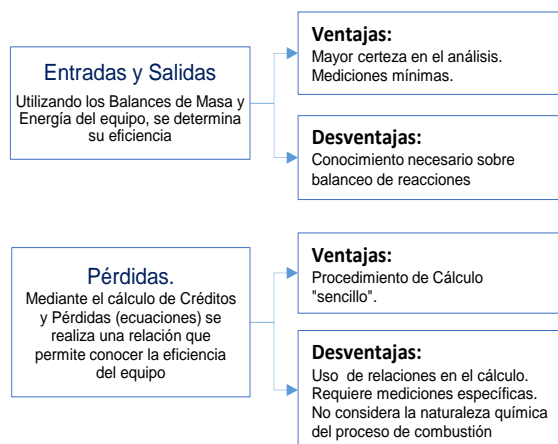


Figura 2. Comparativa de metodologías.

1.4 **Metrología requerida.** Como la idea principal es generar una herramienta didáctica, que sirva a los alumnos de las carreras de Ingeniería Química, el método de entradas y

salidas, presenta de forma explícita los balances de energía de cada uno de los flujos involucrados por lo tanto se decidió desarrollar la herramienta con este método, para lo cual fue necesario realizar las mediciones que se observan en la **Tabla 1** para las corrientes mostradas.

Tabla 1. Mediciones por corriente.

Corriente / Dato	T	P	m	%
Agua repuesto	X		X	
Aire			X	
Combustible.			X	
Vapor.	X	X	X	
Gases combustión	X		X	X
Purga.	X		X	

Donde:

T: Temperatura (°C).

P: Presión (kPa).

m: Flujo másico (kg/s).

#: Composición.

Para realizar las mediciones de composición se contó con el equipo FYRITE INTECH, con el cual se miden el O₂, CO, y CO₂, otras consideraciones del

modelo se describen en la siguiente sección.

METODOLOGÍA

El análisis energético de la caldera o generador de vapor tiene la problemática que la mayoría de los datos para realizar los cálculos tienen que ser medidos cuando el equipo se encuentre en operación, no se debe suponer la composición de los gases de combustión ya que esta medición, nos brinda precisamente la información de que tan efectiva se está llevando a cabo la reacción de combustión comparándola con su modelo ideal (combustión completa), únicamente se caracterizó la producción de vapor de acuerdo a la capacidad del equipo a analizar [4].

Por lo tanto, es de suma importancia para la herramienta didáctica la definición de las variables medidas, y cuáles serán datos estimados u obtenidos de la

literatura. El proceso que se siguió para realizar el análisis energético de la caldera o GV, antes de programar la herramienta didáctica, se muestra en la Figura. 3.

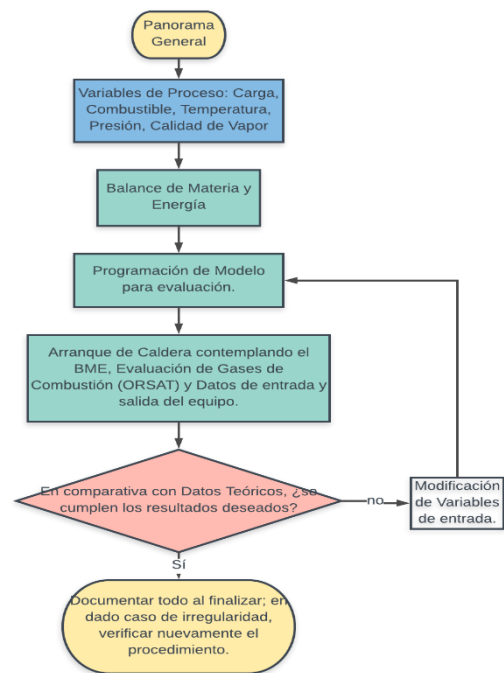


Figura 3. Algoritmo de análisis del problema.

2.1 Descripción y consideraciones del modelo.

El sistema de generación de vapor se ilustra en la Figura.4 en la cual se esquematiza las diferentes corrientes, involucradas en el proceso, para fines prácticos se consideró los siguientes flujos: agua de alimentación retorno de

condensados, aire atmosférico y combustible [5].

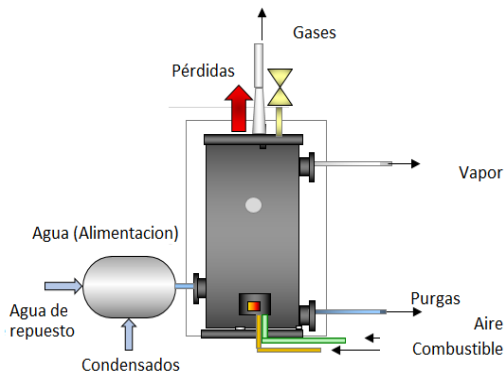


Figura 4. Diagrama de flujo del GV (diésel)

Así como corrientes de salida; gases productos de la combustión en el hogar, vapor y la purga dependiendo de si es continuos o no.

Con el fin de simplificar los procedimientos de cálculo y balanceo se tomaron ciertas consideraciones dentro de las cuales se pueden mencionar:

- Es posible trabajar con cuatro tipos de combustibles (gas natural, gas lp, diésel ligero y pesado).
- El poder calorífico inferior se calcula de acuerdo a la composición del combustible.

- El nitrógeno del aire es inerte.
- La temperatura de aire de entrada puede ser diferente y la temperatura ambiente es la de referencia.
- La temperatura de entrada del combustible se asume a 25 °C y la presión a 101.325 kPa
- La energía del condensado se asume como líquido saturado
- Los flujos de retorno de condensado y purga se consideran como una fracción del flujo de agua de alimentación.

2.2 Balances de Masa y Energía. El balance de masa se tiene que llevar a cabo paralelamente con las reacciones de combustión con la finalidad de determinar el exceso de aire que se tiene en los gases producto de combustión. En el caso del balance de energía se calculan las entalpías de mezcla para el aire de entrada, así como entalpías de agua y vapor a través de las tablas de vapor. Para los gases de combustión con

la siguiente expresión de la entalpía de mezcla [6]:

$$h_{gases\ comb} = \sum_{i=1}^n [y_i \int_{T_0}^{T_{gases}} Cp(T) dT] + y_{H_2O} \left[h_{vaporización} + \int_{T_{ebullición}}^{T_{gases}} Cp_{H_2O}(T) dT \right] \quad (1)$$

Con el cálculo de todas las energías de flujos se procede a realizar el balance de energía la ecuación que describe el análisis del equipo es la siguiente ecuación:

$$\dot{E}_{combustible} + \dot{E}_{aire} + \dot{E}_{agua} = \dot{E}_{vapor} + \dot{E}_{purga} + \dot{E}_{gases} + \dot{Q}_{perdido} \quad (2)$$

2.3 Cálculo de la Eficiencia. Hablando en términos sencillos se puede definir la eficiencia como la relación entre los recursos utilizados y los productos (deseados) obtenidos, la Ec. 3 se encuentra referenciada al aporte energético del combustible y el contenido energético del vapor.

$$\eta = \frac{E_{vapor}}{E_{combustible}} \quad (3)$$

2.4 Programación de la herramienta.

La a interfaz del programa permite seleccionar diferentes apartados para ver de manera separada los cálculos de cada una de los fluidos de trabajo o de acuerdo al tipo de combustible (véase **Figura.5**) según las necesidades del usuario.

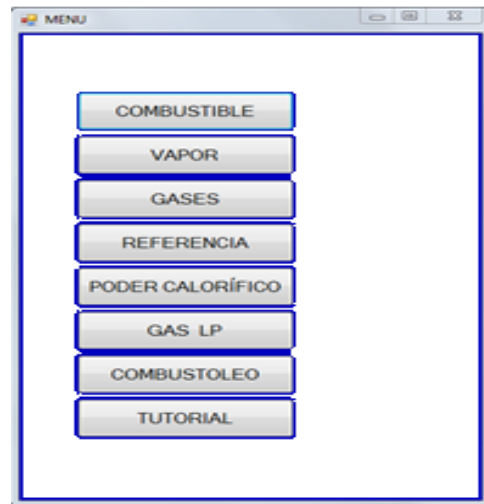


Figura 5. Menú de Herramienta didáctica

La **Figura 6**, ilustra la posibilidad de modificar las composiciones de los diferentes combustibles y del aire, así como la temperatura a la que este último ingresa al sistema.

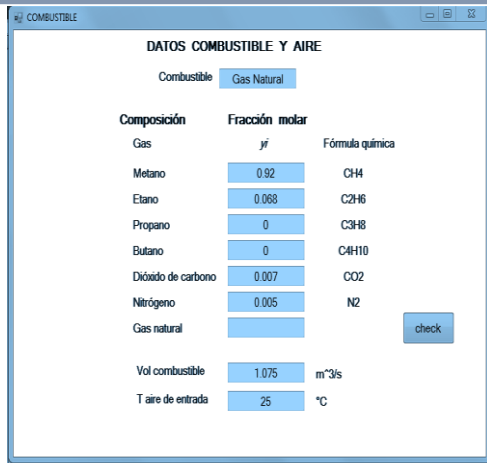


Figura 6. Composiciones variables en la herramienta didáctica.

2.4 Consideraciones de la herramienta. Las consideraciones que se deben tener en cuenta para el uso de esta herramienta se enlistan de lo contrario es posible que los resultados reportados no sean afines con la práctica.

- La cantidad de componentes está ajustada únicamente al análisis referente de la base de datos de gases de combustión.
- Se considera la programación de los valores de vapor saturado por lo que el modelo es para estas condiciones
- La programación es de uso

exclusivo en Windows y no necesita de otro tipo de paquetería para su ejecución.

- El programa realizará conclusiones a través de la comparativa del exceso real medido contra el exceso de aire recomendado. Por lo que se realizan los dos balances reactivos de manera interna.

RESULTADOS

Los resultados obtenidos de la simulación se resumirán de tal forma que el usuario pueda observar los flujos energéticos y los parámetros operacionales del proceso, tal como se muestra en la **Figura 7**.

RESULTADOS DE GENERADOR DE VAPOR		
	E ENTRADA	E SALIDA
FLUJOS	kw	kw
Combustible	38203	
Aire	0	
Condensados	2741	
Agua		
Gases		5793
Vapor		33700
Purga		320
Perdidas		1132
TOTAL	40944.63	40944.63
Eficiencia de Caldera = 82.31%		
Exceso de Aire		9.77%
Temperatura de gases de salida		371 °C

Figura 7. Resultados obtenidos por medio de la herramienta.

Enfatizando el exceso de aire, por otra parte los valores medidos del equipo de la FES Zaragoza el cual utiliza diésel con la que se validó el modelo de combustible líquido se encuentra resumido en la

Tabla 3.

Tabla 3. Medición de Gases de Combustión

	Fuego Alto	Fuego Bajo	
O ₂	7.6	4.9	%
CO	130	48	ppm
T-STK	241	141	°C
EA	53.1	28.8	%
CO ₂	9.9	11.9	%
T-AIR	23.8	22.1	°C
Eff	82.6	88.7	%
CO(0)	204	62	ppm
PRE	0.18	0.01	in _{wc}

DISCUSIÓN

La diferencia de resultados que se muestran a partir de las recomendaciones iniciales y los datos

reales en cuanto al exceso de aire, ponen pauta a las condiciones de operación, ya sean de carácter físico del equipo o de características propias de cada combustible.

Se determinó un valor promedio de eficiencia igual a 82.2%, el exceso de aire se encuentra en un rango de 53.1 a 28.0% siendo un valor arriba del recomendado (20% de exceso de aire), y para obtener una eficiencia de esta magnitud. La **Figura. 8** demuestra esta comparativa.

La vinculación de las tablas de vapor para que la herramienta pueda manejar tanto vapor saturado como sobrecalentado no es trivial, por lo que se decidió manejar únicamente la opción de vapor saturado a través de los datos de la campana de saturación.

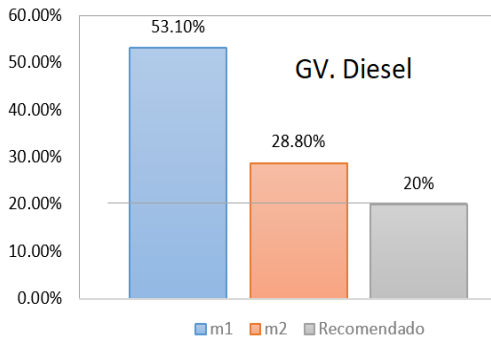


Figura 8. Mediciones de exceso de aire.

En términos generales, el flujo de aire se expresa en la siguiente **Tabla 4**.

Tabla 4. Flujo molar Exceso de Aire (EA).

EA Teórico	118.665 kmol/s
EA Real	151.964 kmol/s

Tomando en cuenta el uso didáctico de esta herramienta, el alumno reconocerá e interpretará las condiciones reales del equipo, además tendrá una visión más crítica del comportamiento de un modelo teórico de cálculo diferenciado al comportamiento real, podrá realizar modificaciones de acuerdo a las distintas condiciones de operación, así mismo llegar a una resolución a las problemáticas presentes con el fin de

hacer más efectivo el carácter formativo en la carrera de Ingeniería Química.

CONCLUSIONES

Abordando el análisis desde un punto de vista técnico, resulta bastante útil tener la capacidad de realizar de manera ágil operaciones de complejidad un poco elevada. La facilidad con la que se presentan los resultados permite identificar los parámetros que no se encuentren en los límites establecidos y en consecuencia realizar cambios en la forma de operar los equipos o incluso en la configuración de estos. La evaluación de gases, es válida con referencia a las consideraciones propuestas con datos acercados a las mediciones y las propuestas de cálculo. La herramienta representa la validación y verificación entre aspectos prácticos y teóricos los cuales dan veracidad a los resultados obtenidos.

El conocimiento elemental de varias disciplinas abordadas en las diferentes asignaturas de la carrera de Ingeniería Química halla su aplicación en problemáticas presentes en el día a día y por sencillo que pueda parecer un problema, el nivel de conocimientos necesarios para su resolución dependerá de las consideraciones aplicadas a dicha problemática. Desde el punto de vista pedagógico, la enseñanza tradicional apoyada con el uso de una herramienta que facilite la visualización del comportamiento de un sistema complejo a medida que sus variables son modificadas, es un recurso que permite una mayor comprensión y profundización de los temas abordados por el alumno, dicho sea de paso, la intervención del docente es de vital importancia ya que sin su ayuda en la interpretación de los resultados arrojados por la programación esta herramienta no sería más que una caja negra la cual podría ser manipulada

mas no comprendida del todo por el alumnado.

AGRADECIMIENTOS.

Proyecto PAPIIME PE102518, UNAM.

REFERENCIAS

- [1] Annaratone D. 2008. Springer-Verlag Berlin Heidelberg. Steam Generators: Description and Design. Milan.
- [2] Montes, M.J., Muñoz, M., & Rovira, A. (2014). Ingeniería Térmica. Madrid, España: UNED.
- [3] López Posada L.M. (2017). Evaluación de la eficiencia de generadores de vapor-estudio de caso: Ecopetrol S.A. Pereira, Colombia.
- [4] Clara, P. L., (2017). Propuesta Metodológica para el Levantamiento de Información para determinar la eficiencia térmica de una Caldera (Tesina). Universidad Nacional Autónoma de México, México.
- [5] CLAYTON. (2017). Generador de Vapor Serie E. Marzo, 2018, de Clayton de México Sitio web:<http://www.clayton.com.mx/generador-de-vapor-serie-e/>.
- [6] Cengel Y. A., (2015) Termodinámica 8 ED, 997, Editorial: McGraw-Hil.

