



Enero - junio 2020

Recibido: 19-6-2019

Aceptado: 6-10-2019

## **¿SOFTWARE PARA LA EFICIENCIA ENERGÉTICA? UN ALIADO PARA EL DESARROLLO SOSTENIBLE**

Autor (a)<sup>1</sup> José F. Becerra<sup>1</sup> y José Canache<sup>2</sup>

Dirección electrónica: [franb9@gmail.com](mailto:franb9@gmail.com)

Adscripción: Universidad Politécnica Territorial Valencia

### **Resumen:**

La principal evaluación del desempeño energético de una central termoeléctrica a vapor radica en el estudio de la eficiencia o rendimiento térmico, parámetro clave que nos permite conocer si la central está funcionando de manera adecuada haciendo un buen uso del recurso energético combustible. En la actualidad la Central Termoeléctrica del Centro (Planta Centro) carece de un software que le permita evaluar este parámetro. El objetivo de este trabajo consiste en presentar una experiencia de desarrollo tecnológico para la mejora de la eficiencia energética en Planta Centro, en armonía con los Objetivo de Desarrollo Sostenible N.º 7, 9 y 12 que promueven: la investigación y desarrollo en eficiencia energética; el apoyo al desarrollo de tecnologías, la investigación y la innovación nacionales en los países en desarrollo, y a la gestión sostenible y el uso eficiente de los recursos naturales, como el recurso energético combustible, de aquí al 2030. Dicho proyecto consiste en el Desarrollo de

---

<sup>1</sup> <sup>1</sup> Especialista en Ingeniería de Procesos y Ambiente. Profesor en la UPV. Estudiante del postgrado E.D.S. – FaCyT, UC. Maestrante en Ingeniería de Procesos Químicos, F.I. - UC. Jefe del G.T. Control y Análisis Químico en Planta Centro. [franb9@gmail.com](mailto:franb9@gmail.com). <sup>2</sup> Magister en Matemática y Computación. Profesor de postgrado en E.D.S. – FaCyT. Profesor de pregrado FaCyT. Doctorando en Ingeniería. Director de Informática de la UC. [jcanache@uc.edu.ve](mailto:jcanache@uc.edu.ve)

un Software de Cálculo de Eficiencias Térmicas, donde se implementó una biblioteca de funciones termodinámicas basada en software libre, siguiendo el decreto 3.390 que establece la prioridad en el empleo de software libre en la Administración Pública Nacional, ya que brinda un marco para el impulso del desarrollo de tecnología propia y sostenible en nuestro país. El software desarrollado brindará una valiosa herramienta al personal de operaciones de la planta que les permitirá evaluar la eficiencia energética, y un ejemplo a la colectividad profesional multidisciplinaria, de iniciativas para impulsar el desarrollo sostenible en nuestro país.

**Palabras clave:** biblioteca de funciones termodinámicas, eficiencia térmica, desarrollo de software sustentable, gratis, nacional.

### **SOFTWARE FOR ENERGY EFFICIENCY? AN ALLY FOR SUSTAINABLE DEVELOPMENT**

**Abstract:** The main evaluation of the energy performance of a steam thermoelectric plant is the study of the efficiency or thermal performance, a key parameter that allows us to know if the plant is functioning properly, making good use of the combustible energy resource. Currently, the Central Thermoelectric Power Plant (Central Plant) lacks a software that allows it to evaluate this parameter. The objective of this work is to present a technological development experience for the improvement of energy efficiency for the Central Plant, in harmony with the Sustainable Development Goals No. 7, 9 and 12 that promote: research and development in energy efficiency; support for the development of national technologies, research and innovation in developing countries; and for the sustainable management and efficient use of natural resources, such as fuel energy resources, by 2030. This project consists of the Development of a Software for the Calculation of Thermal Efficiencies, where a library of thermodynamic functions based on free software was

implemented, following decree 3,390 that establishes the priority in the use of free software in the National Public Administration, it provides a framework for the promotion of the development of sustainable technology in our country. The software developed will provide a valuable tool to the operations staff of the plant that will allow them to evaluate the energy efficiency, and as an example for the multidisciplinary professional community to create initiatives to promote sustainable development in our country.

**Keywords:** library of thermodynamic functions, thermal efficiency, sustainable software development, free, national

### ***Introducción.***

En los actuales momentos la Planta Termoeléctrica del Centro (Planta Centro) se encuentra en un proceso de repotenciación y mejora de sus instalaciones, con la finalidad de ofrecer una generación eléctrica más confiable, sostenible en el tiempo y con mayor eficiencia energética, lo cual implica un menor consumo de combustible por unidad de energía generada. Planta Centro al día de hoy, es la planta que tiene mayor consumo de combustible en el país, y día a día este consumo se mantiene y está previsto que aumentará debido a la activación de las unidades que actualmente se encuentran fuera de servicio. Todo esto, hace necesario que la operación de esta central se haga con los niveles más óptimos de eficiencia energética, lo cual implica obtener un mayor rendimiento por consumo de combustible. Uno de los factores claves para lograr la optimización de los procesos de generación eléctrica, es poder calcular la eficiencia térmica en cada una de sus etapas, con la finalidad de conocer con exactitud, que etapa del proceso pueda estar disminuyendo la eficiencia global de la planta.

Hoy en día, no existe herramienta informática o software que permita calcular u obtener información de las eficiencias térmicas en cada una de las etapas del proceso de generación de la Termoeléctrica del Centro, escasamente se utiliza una hoja de cálculo en MS Excel para realizar algunas determinaciones. Asimismo, el personal a cargo de supervisar y evaluar el proceso manifiesta el interés por un software de cálculo de eficiencias térmicas que les permita saber cómo está rindiendo la planta y como está la eficiencia en cada etapa del proceso, el único análisis que existe al respecto es el cualitativo; fundamentado en el comportamiento de algunas variables del proceso pero que no determinan con exactitud el valor de la eficiencia, y los que obtienen a través de la hoja de cálculo MS Excel, puede suponerse o conocerse que la planta mejoró o empeoró pero no se mide o calcula en cuanto disminuyó su eficiencia o aumentó con respecto a un valor promedio de desempeño. El no poder evaluar cuantitativamente la eficiencia energética en la planta deja un vacío en la operación de la central, ya que se puede estar generando el preciado fluido eléctrico que se suministra constantemente al sistema eléctrico nacional, pero a expensas de un gran consumo de otro rico y preciado fluido como lo es, el combustible que usa la central, combustible residual N°6 o Fueloil N° 650, para ser quemado en las calderas en donde su energía química es transformada en energía eléctrica en el proceso de generación.

La operación ineficiente de la planta se traduce en consumo excesivo del combustible, transfiriendo un impacto económico a la nación, ya que es un producto que deja de colocarse en el mercado internacional, por la necesidad de utilizarse en un sistema de eficiencia no controlada, dejándose de percibir ingresos en divisas por la venta de este combustible que podrían traducirse en beneficios sociales en la nación. Así mismo, este uso excesivo de combustible impacta al ambiente debido a las emisiones de gases de

escape, productos de la combustión, que aumentan conforme aumenta su consumo, contribuyendo a la problemática del calentamiento global por la emisión de gases de efecto invernadero CO<sub>2</sub> y CO, y al problema del fenómeno de la lluvia ácida debido a los gases NO<sub>x</sub> y SO<sub>x</sub>.

No operar eficientemente impacta la vida útil de la planta, ya que el número de mantenimientos se incrementa en distintas secciones del proceso, y muchos equipos son sometidos a un deterioro acelerado y un desgaste pronunciado debido a una eficiencia térmica de la planta baja y no controlada.

El problema se agudiza al vislumbrar la situación de divisas en el país ya que ha impedido el aprovisionamiento de software existente en el mercado exterior bajo licencias propietarias que deben ser canceladas en divisas a altos precios. Por lo cual se hace necesario el desarrollo de software nacional equivalente que pueda suplir la necesidad de la evaluación de la eficiencia térmica en la Planta. Dicho software debe poder calcular las eficiencias en cada etapa del proceso de generación termoeléctrica, y para que pueda realizar los cálculos de eficiencia necesita procesar información de propiedades termodinámicas de los fluidos involucrados en el proceso. Por lo cual, debe poder también calcular dichas propiedades y para lograr este fin es necesario desarrollar o implementar una biblioteca de funciones termodinámicas.

La normativa actual en la empresa es la migración hacia software libre debido al decreto 3.390 que dice:

La Administración Pública Nacional empleará prioritariamente Software Libre desarrollado con Estándares Abiertos, en sus sistemas, proyectos y servicios informáticos. A tales fines, todos los órganos y entes de la Administración Pública

## Nacional iniciarán los procesos de migración gradual y progresiva de éstos hacia el Software Libre desarrollado con Estándares Abiertos

El propósito de esta investigación fue el Desarrollo de un Software de Cálculo de Eficiencias Térmicas con la implementación de una biblioteca de funciones termodinámicas de código abierto (open source) que permita calcular las propiedades termodinámicas de los fluidos involucrados en el proceso de generación termoeléctrica y el uso de otras tecnologías libres. Este programa será utilizado por el equipo de soporte operativo de la planta, por el departamento de operaciones y otros interesados e involucrados en el desempeño de la misma. Utilizará datos obtenidos en la planta que día a día son generados y desde el punto de vista del estudio de la eficiencia energética no son procesados para su análisis.

La metodología de investigación empleada fue la investigación-acción y la metodología de Desarrollo de Software fue Ágil, Incremental, Iterativa y Orientada a Objeto. El tipo de estudio realizado en este trabajo ha sido de campo – documental, debido a que los datos que alimentan al programa computacional desarrollado para el cálculo de eficiencias térmicas “se tomarán directamente de la realidad (la planta) donde ocurren los hechos, sin manipular o controlar variable alguna” Arias (2006) y de las condiciones de diseño. Documental, ya que los modelos matemáticos y termodinámicos que se utilizaran en la biblioteca y en el software son tomados de las bibliografías técnicas especializadas y no desarrollos propios del autor.

El tipo de investigación fue interactiva, ya que como dice Hurtado (2000):

La investigación interactiva implica la realización de acciones por parte del investigador, ya sea solo o conjuntamente con algún grupo o

comunidad, con el propósito de modificar alguna situación o evento. Para llevar a cabo una investigación interactiva es necesario partir de un proceso de indagación y explicación, visualizar posibilidades futuras, planificar un conjunto de actividades o diseñar alguna propuesta, y posteriormente llevarla a cabo.

La situación a modificar en este trabajo es la ausencia de una herramienta de cálculo computacional para la determinación de eficiencias térmicas en las distintas etapas del proceso de generación eléctrica en la planta, por lo cual se realizó el diseño de un programa computacional que cumpla con tal fin, implementando en él una biblioteca de funciones termodinámicas libre que permitan calcular dichas eficiencias.

Con la finalidad de poder alcanzar el cumplimiento de los objetivos propuesto sin descuidar los aspecto de calidad del software y teniendo en cuenta que es necesario adquirir conocimiento y destrezas en el desarrollo de software como proceso evolutivo de la disciplina, sobre todo para desarrolladores noveles y con poca o ninguna experiencia, se consideró como oportuno e ideal, utilizar una metodología de desarrollo de software ágil, incremental e iterativa, centrada en el usuario, que pueda dar como resultado un software usable, confiable y eficiente.

Con respecto a las metodologías Ágiles en el Desarrollo de Software Herrera y Valencia (2007) expresan:

En la actualidad, las metodologías ágiles se convierten en un modelo para los iniciados en el Desarrollo de Software, estas metodologías presentan algunas ventajas ante las metodologías pesadas, pero son limitadas por el tamaño del proyecto y el número de programadores que pueden intervenir. Sin embargo, resultan muy

atractivas para el desarrollo de aplicaciones en empresas de software que estén iniciando o para el desarrollo de software por módulos, sin descuidar la calidad y garantizando la actualización de la documentación.

Además, Acosta (2011) manifiesta lo siguiente:

Las metodologías basadas en el "Manifiesto de desarrollo ágil de software" les dan más importancia a los individuos, funcionalidad, colaboración con el cliente y adaptación al cambio, que, a los procesos y herramientas, exceso de documentación, contratos y el seguimiento estricto de un plan. Las metodologías ágiles buscan ser más adaptables a los continuos cambios que se presentan durante el desarrollo de un sistema y para esto emplean un enfoque iterativo e incremental, con interacciones cortas, planificación adaptativa y entrega evolutiva. Se busca lograr que los cambios sean menos costosos, permitiendo que sean incorporados más fácilmente.

## ***Análisis***

Se observó que la metodología investigación – acción compaginó muy bien con la metodología de software escogida, y que además responde muy bien a la promoción de la innovación tecnológica siendo muy útil para los nuevos emprendimientos hacia los desarrollos de tecnologías propias.

Este tipo de enfoque metodológico promueve un marco para el desarrollo endógeno de nuevas tecnologías necesarios para dar cara a los retos que actualmente presentan las diversas economías de la región latinoamericana y que puede ser útil para la consecución de las metas de los Objetivos del

Desarrollo Sostenible con respecto a la investigación, y desarrollo de nuevas tecnologías. Los siguientes autores, citados por Pérez (2011:19) señalan lo siguiente:

Casilla e Inciarte (2004), “el término sostenibilidad está asociado al equilibrio que debe existir entre ecología, seguridad social y eficiencia económica.” y “Muller (1996), Reiche y Carls (1996) y Prager et al. (2002), lo especifican mejor con las definiciones de sostenibilidad: ecológica, económica y social.”

Para Prager et al. (2002) y Muller (1996), citado por Pérez (2011):

El Desarrollo Sostenible es un proceso de cambio donde la explotación de los recursos, la orientación de las inversiones y del desarrollo tecnológico, y el cambio institucional deben estar en armonía y mejorar el potencial actual y futuro para satisfacer las necesidades humanas, actuales y futuras. (p. 19).

Briceño (1998:40) señaló que: “en la tecnología descansan las esperanzas para evitar los problemas medio ambientales generados por el uso masivo de la misma y es la ingeniería quien tiene la obligación de lograr la aplicación de ésta en un concepto de Desarrollo Sustentable”. Yáñez et al., (2009:7) señalan que se debe: “evolucionar a una perspectiva transdisciplinaria de concebir los procesos industriales, en función de la relación/articulación con otras disciplinas vinculadas a estas temáticas (sociales, ecológicas, éticas, económicas, políticas, etc.), en un contexto local y global”.

Los argumentos expuestos anteriormente nos encaminan a pensar que cualquier forma o manifestación de la tecnología puede ser útil para contribuir al Desarrollo Sostenible de la región en lo ecológico, social y económico. Además, la perspectiva transdisciplinaria acerca a la percepción de un

todo, en mejor forma que la especificidad, ubica al individuo en un conjunto integral de conocimientos y en una mejor posición para hacer aportes más significativos, aportes con el potencial de construir la Sostenibilidad y de esta forma la posibilidad de alcanzar un mejor y verdadero Desarrollo.

El trabajo que se presenta en este artículo es de índole tecnológico, donde lo transdisciplinario es notable. Un conjunto de disciplinas está involucrado con la finalidad de dar respuesta a una necesidad real. En primer lugar, se presenta la necesidad de calcular la eficiencia térmica como parámetro clave para evaluar el comportamiento de una Central Termoeléctrica a Vapor, Planta Centro. Este requerimiento cae en el campo de la ingeniería de procesos, que, de cara al compromiso del Desarrollo Sostenible, tiene la responsabilidad de velar por una conversión eficiente del recurso energético combustible en recurso energético electricidad con el menor impacto (negativo) ambiental, económico y social posible.

El Informe Mundial de la Energía publicado en 2001 presenta un análisis de la situación energética mundial para ese año, sin embargo, ciertos razonamientos son todavía rescatables y aún están vigentes en muchos países. He aquí algunos resultados del análisis que el informe presenta:

...debemos hacer más para promover la eficiencia energética. (p. iii).

El uso de la energía está estrechamente vinculado a una serie de aspectos sociales, incluida la lucha contra la pobreza, el crecimiento de la población, la urbanización y la falta de oportunidades para la mujer. (p. 7).

Aunque el potencial de la energía para mejorar el bienestar de las personas es incuestionable, la producción y el consumo de energía convencional están estrechamente vinculados a la degradación

del medio ambiente. Esta degradación amenaza a la salud humana y a la calidad de vida a corto plazo, y afecta al equilibrio ecológico y a la diversidad biológica a largo plazo. (p. 10).

El análisis muestra que las tecnologías actuales están lejos de alcanzar los límites teóricos, y que eventualmente se podría duplicar la eficiencia de todo el sistema energético. Por diversas razones, el potencial técnico y económico de la eficiencia energética, así como su impacto positivo en el desarrollo sostenible, han estado desaprovechados tradicionalmente. (p. 13).

y como expresa Çengel (2008), al referirse a la eficiencia térmica:

Las centrales eléctricas de vapor son responsables de producir la mayor parte de la energía eléctrica del mundo, e incluso pequeños incrementos en la eficiencia térmica pueden significar grandes ahorros en los requerimientos de combustibles. En consecuencia, es válido cualquier esfuerzo para mejorar la eficiencia del ciclo con que operan estas centrales.

Tradicionalmente las veces que se ha hecho este estudio en la planta, se ha tenido que recurrir a contrataciones externas de empresas extranjeras que ofrecieran ese servicio a la planta y generalmente se hacía en el momento de entregar una nueva unidad de generación o después de la repotenciación de alguna unidad ya en servicio. El personal de la planta no realizaba esta tarea. Por lo cual surge el desafío, en estos tiempos de llamado a la sostenibilidad y desarrollo tecnológico, de realizar nuestra propia evaluación del comportamiento térmico de la central.

Optando por las nuevas y más eficientes tecnologías, se determinó que este proceso de evaluación debe realizarse de

manera computacional, el cual evita la fatiga humana y disminuye grandemente la posibilidad de fallo en los cálculos que son numerosos. De esta forma queda planteada la necesidad de aprovisionamiento de un software para realizar dicha tarea, que estando en casa, brinda la posibilidad de realizar la evaluación cada vez que se requiera, con un costo ínfimo de recursos en comparación con la contratación de empresas extranjeras.

Para la obtención del software se presentó la siguiente interrogante ¿comprarlo a terceros o desarrollar esta herramienta en casa (software hecho a la medida)? La opción propuesta fue el desarrollo en casa. Es aquí donde surge el proyecto del desarrollo de un software que calcule eficiencias térmicas en la central termoeléctrica a vapor. Este software tendrá que realizar gran cantidad de cálculos que necesitan como datos valores de propiedades termodinámicas del agua y el vapor para poder arrojar los valores de eficiencias térmicas esperados. Y de esta necesidad computacional brotó el proyecto de la implementación de una biblioteca de funciones termodinámicas que calcula los valores a través de la programación de las rutinas de cálculos de estas propiedades.

## ***Resultados***

Se seleccionó un conjunto de herramientas tecnológicas libres (software libre) que permitieron lograr el desarrollo del software y la implementación de una biblioteca de funciones termodinámicas. Las tecnologías seleccionadas fueron las siguientes:

- sistema operativo GNU/Linux Xubuntu 18.04
- el lenguaje de programación Python,
- el editor de código Geany,

- la biblioteca ReportLab para creación de documentos pdf en Python,
- la biblioteca openpyxl para la lectura y escritura de documentos en excel desde un programa python,
- la biblioteca numpy y math para el soporte en funciones matemáticas,
- la biblioteca iapws en python la cual es la biblioteca de funciones termodinámicas para el cálculo de las propiedades del agua y el vapor.

Una primera versión del software para cálculo de eficiencias térmicas fue desarrollada, dando como resultado un reporte en pdf de la evaluación del Tren de Calentadores de Agua de Alimentación, Consumo Térmico Unitario (CTU) y Régimen Térmico en la Unidad 6 de generación en Planta Centro, en condiciones de diseño. Este primer reporte fue necesario porque permitió comparar la calidad de los resultados del software contra los obtenidos por la empresa fabricante CMEC de China reportados en su informe del rendimiento de la Unidad al momento de la entrega a Corpoelec, los cuales fueron bastante aceptable y estuvieron en conformidad con los criterios de cálculo en ingeniería.

## ***Conclusiones***

Como se mencionó anteriormente este trabajo es netamente tecnológico, pero en el marco del Desarrollo Sostenible, con un alto potencial de ofrecer oportunidades de mejoras y optimización en los procesos de generación termoeléctrica.

De las mejoras en la eficiencia térmica en las centrales eléctricas se desprenden un conjunto de beneficios asociados con el consumo de combustible, que otorgan ganancias en lo económico al reducir el gasto por concepto de dicho consumo. Al reducir este parámetro, la emisión de gases de

efecto invernadero es menor, también se reduce la emisión de los gases que provocan la lluvia ácida, produciendo como beneficio global ambiental un mejor lugar para vivir y en lo local menos población afectada por los estragos erosivo de la lluvia ácida que impactan terriblemente la vegetación y el suelo deteriorando este último para la siembra y la producción agrícola.

La vinculación, en este proyecto, de la ingeniería de procesos con el desarrollo de software bajo el concepto de desarrollo sustentable se extiende a lo ecológico, social y económico. Claramente se puede observar que este proyecto de Desarrollo de Software por las características que lo definieron puede clasificarse como una iniciativa en el marco del Desarrollo Sostenible y para la empresa representa una innovación el proceso de desarrollar sus propias herramientas software.

## ***Agradecimientos***

Es imposible cerrar este artículo sin primero dar gracias a mi Dios por toda su ayuda y guía en mi vida, sin la fortaleza que ha otorgado cada día a mi familia sería imposible continuar, su mano ha sido muy evidente sobre nosotros ¡Gracias Señor por estar con nosotros! También deseo agradecer a mi esposa que ha sido una excelente compañera y ayuda idónea, tampoco sin su ayuda creo que hubiese hecho algo, ¡gracias mi amor por tu apoyo! Gracias a mis padres y hermanos quienes siempre saben como brindarme apoyo en momentos difíciles. Gracias a mi iglesia Gran Comisión por todo el apoyo y sostenimiento en estos últimos años.

## ***Referencias***

Acosta, E., “AgilUs: Construcción ágil de la Usabilidad”, <https://www.researchgate.net/publication/267856949>, (2011), Centro de Ingeniería de Software y Sistemas (ISYS), UCV, Caracas, Venezuela.

Arias, F. (2006), El proyecto de Investigación, 5ta edición, pp. 21 – 46, Episteme, Caracas, Venezuela.

Briceño, M. (1998). Universidad, Sociedad y Desarrollo Sustentable. Revista Extramuros. Facultad de Humanidades y Educación. Nueva Serie, p. 8.

Çengel, Y. y M. Boles (2012), Ciclos de Potencia a Vapor y Combinados, Termodinámica, 7ª edición, Mc Graw Hill, pp. 559 – 614, D.F., México.

Herrera, E., Valencia, L., “Del Manifiesto ágil sus valores y principios”, Scientia et Technica Año XIII, No 34, Mayo de 2007. Universidad Tecnológica de Pereira. ISSN 0122-1701, Pereira, Colombia.

Hurtado, J., Investigación Interactiva, Metodología de la Investigación Holística, 3ª edición, Sypal, pp. 351 – 365, Caracas, Venezuela (2000).

Pérez Soraya (2011). Uso de indicadores de sostenibilidad en Venezuela. Consideración para el estudio de la sostenibilidad turística. Revista EcoDiseño&Sostenibilidad, 3, pp. 17 – 33. Trujillo, Venezuela.

Programa de las Naciones Unidas para el Desarrollo, Departamento de las Naciones Unidas para Asuntos Económicos y Sociales, Consejo Mundial de Energía (2001). Informe Mundial de la Energía, la energía y el reto de la sostenibilidad. Instituto para la Diversificación y Ahorro de la Energía, pp. Iii, 7, 10, 13. Madrid, España.

Raiza Yáñez y Carlos Zavarce (2009). Desarrollo Sustentable: ¿Desafío o Compromiso? Revista Ingeniería Industrial. Actualidad y Nuevas Tendencias, vol. I, núm. 3, julio-diciembre, 2009, pp. 73-85. Carabobo, Venezuela.