

## LABORATORIO VIRTUAL PARA EL ANÁLISIS DE LOS BALANCES TÉRMICOS EN LOS SECADEROS ROTATIVOS

### Autor (es):

Dr. José Luis Montero O´farill, [jmontero@ismm.edu.cu](mailto:jmontero@ismm.edu.cu), CEP, ISMMM, Cuba.

Ing. Jorge García Rodríguez, [jgarcia@ismm.edu.cu](mailto:jgarcia@ismm.edu.cu) , CEP, ISMMM, Cuba.

Ing. Ivan Faez Cobo, [ifaez@ismm.edu.cu](mailto:ifaez@ismm.edu.cu), CEP, ISMMM, Cuba.

### Resumen

En varias carreras del Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" se estudian los Hornos de Cilindros Horizontales (llamados secaderos rotativos) de manera muy abstracta, ya que los estudiantes no tienen acceso a versiones de laboratorios de estos equipos, lo cual influye decisivamente en su aprovechamiento académico.

Los laboratorios virtuales son una representación informática de los laboratorios tradicionales y permiten realizar experimentos, investigaciones, prácticas académicas y científicas, dando la sensación de su existencia real; apoyan y promueven el aprendizaje de los estudiantes y aumentan las opciones de experimentos disponibles en las instituciones educativas.

Este trabajo se engloba en el campo de las aplicaciones educativas de los mundos virtuales y el aprendizaje por medio de prácticas de laboratorio. Concretamente, se presenta el desarrollo de una realidad virtual no inmersiva que simula la dinámica del flujo tecnológico de los tambores de secadero de la Empresa Niquífera Comandante Ernesto Ché Guevara y además permita realizar el balance térmico y de masa durante el secado del mineral.

**Palabras claves:** Laboratorios virtuales, software educativo, secaderos rotativos, balances térmicos

## VIRTUAL LABORATORY ANALYSIS OF THERMAL BALANCE IN THE ROTARY DRYERS

### Abstract

In several races Metallurgical Mining "Dr. Higher Institute of Moa Antonio Nunez Jimenez "Cylinder Horizontal Furnaces (called rotary dryers) are studied in a very abstract way, because students do not have access to laboratory versions of this equipment, which strongly influences their academic achievement.

Virtual labs are a computer representation of traditional laboratories and allow for experiments, research, academic and scientific practices, giving the feeling of actual existence; support and promote student learning and increase the options available experiments in educational institutions.

This work is included in the field of educational applications of virtual worlds and learning through laboratory practice. Specifically, the development of a non-immersive virtual reality to simulate the dynamics of technological flow drying drums Niquífera Company Commander Ernesto Che Guevara and also allows carry out the heat and mass balance during drying of the mineral occurs.

**Keywords:**Virtual laboratories, educational software, rotary dryers, heat balances

## **Introducción**

La enseñanza y el aprendizaje, dentro del ámbito de la Ingeniería, de ciertas áreas específicas tales como la fabricación, equipos y tecnologías (entre otras) requiere etapas de formación práctica que ayuden a consolidar el aprendizaje teórico.

Su realización suele desarrollarse en laboratorios en los que se ven involucrados una serie de recursos materiales y humanos que en muchas ocasiones suponen desembolsos económicos mayores de los que puede soportar cualquier departamento universitario o incluso una universidad. Además, la puesta en marcha de las máquinas y los dispositivos para la realización de las sesiones prácticas entraña ciertos riesgos, asociados a la manipulación de los mismos por personas no expertas, que pueden derivar en daños tanto personales como materiales. No obstante, la solución es cara y poco asequible para algunos departamentos universitarios con escasos recursos económicos.

En el caso particular del equipamiento de las fábricas de níquel; ambos problemas (inversiones y seguridad operativa) se agudizan, ya que son sistemas cuya implantación y puesta en marcha conlleva grandes gastos al estar constituidos por equipos de coste muy elevado.

La incorporación de nuevas tecnologías en el ámbito educativo ha logrado que millones de personas en todo el planeta estén conectadas intercambiando conocimientos en espacios colaborativos. El uso de estos espacios están mejorando los "sistemas de educación tradicionales", pues incentivan la participación activa de los estudiantes.

La estructuración de información mediante hipermedia, multimedia e Internet, es una herramienta valiosa y muy utilizada (tutoriales, e-cursos, etc.) en la creación de sistemas de apoyo al aprendizaje y de experiencias educativas que no incluyen una componente práctica importante.

De igual forma, los sistemas de enseñanza basada en Internet o e-learning, trasladan el entorno de enseñanza a espacios virtuales donde se puede enriquecer el proceso de autoaprendizaje. Pero para los casos en donde son necesarias la realización de actividades prácticas en laboratorios convencionales (LC), las universidades se enfrentan a dificultades que incluyen la carencia de recursos en personas y espacios y problemas presupuestarios para la adquisición de los equipos.

Teniendo en cuenta esta problemática y conociendo las posibilidades que brinda la tecnología de la animación, el conglomerado de medios que la forman, junto a la capacidad de comunicación visual y auditiva, hacen que este medio pueda utilizarse de diversas formas en la enseñanza. Por lo que podemos afirmar, sin temor a equivocarnos, que pocos son los medios audiovisuales que se utilizan en los procesos de enseñanza y aprendizaje que pueden ser utilizados en tal diversidad de formas como este (Cujae, 2013).

## **Desarrollo**

Los Centros Educativos, ya sean de Formación Profesional o Universitarios, deben aportar a la sociedad egresados con la cualificación adecuada, para su inmediata incorporación al mundo del trabajo. Para cubrir esta necesidad la educación superior en Cuba, cuyo principio fundamental pedagógico es la unidad entre la educación y trabajo, adopta determinadas formas de enseñanza aprendizaje (Resolución no. 210/07, 2007):

- Las prácticas de producción, en la que los alumnos pueden completar su formación práctica en puestos de trabajo en las empresas relacionadas con su profesión: "Unidades Docentes".
- Las prácticas de laboratorio, es el tipo de clase que tiene como objetivos que los estudiantes adquieran las habilidades propias de los métodos y técnicas de trabajo y de la investigación científica; amplíen, profundicen, consoliden, generalicen y comprueben los fundamentos teóricos de la disciplina mediante la experimentación, empleando para ello los medios necesarios. Estas se realizan en instalaciones propias de las universidades o en las que existen en las unidades docentes u otras entidades laborales. Como norma, en este tipo de clase se deberá garantizar el trabajo individual de los estudiantes en la ejecución de las tareas previstas.

Aquellas entidades que reúnan condiciones mínimas en cuanto a la preparación del personal, equipamiento técnico y nivel de desarrollo para mantenerse como centros de trabajo que

garanticen el cumplimiento de los programas establecidos para las prácticas de producción y además otras actividades que contribuyan al mejor desarrollo del proceso docente educativo se denominaran Unidades Docentes (Resolución no. 210/07, 2007).

En el caso del Instituto Minero Metalúrgico de Moa “Dr. Antonio Núñez Jiménez” (ISMMM) los estudiantes de las carreras rectoras y afines realizan la práctica en los puestos de trabajo más importantes de las empresas del Níquel, a tal nivel de profundidad, que le permita al estudiante alcanzar las habilidades del operador (obrero calificado) o técnico medio antes de culminar sus estudios. Pero, los estudiantes no tienen laboratorios que le permitan apropiarse de las habilidades propias de los métodos y técnicas de trabajo y de la investigación científica. No cuentan con los equipos necesarios para ampliar, profundizar, consolidar, generalizar y comprobar los fundamentos teóricos de la disciplina mediante la experimentación, empleando para ello los medios necesarios y los profesionales de las empresas de producción no cuentan con el tiempo suficiente para trasladarse a la universidad en varias ocasiones.

En el caso de la asignatura de Termodinámica que estudia el intercambio de energía en sus diversas formas, su interacción con los equipos, las propiedades de la materia y el uso racional de la energía; está presente en casi todas las ramas de la ingeniería. En particular, en la carrera de Ingeniería Mecánica del ISMMM esta asignatura se imparte en tercer año y una de las vías que utilizan los profesores, para mostrar los contenidos estudiados en el aula, relativos al intercambio termo energético que tiene lugar en los secaderos rotatorios es la de la visita a la Empresa Ernesto Che Guevara.

Esta manera de realizar esta actividad presenta varias dificultades; por lo que no se enfatiza mucho en este tema en clases, a pesar de que es de gran importancia para el mundo empresarial y en nuestro territorio.

Una solución a estos problemas se puede encontrar en la aplicación de los avances tecnológicos a la docencia e investigación, mediante la creación de laboratorios virtuales (LV) . Un LV puede facilitar la realización de prácticas o experiencias a un mayor número de estudiantes, aunque alumnos y laboratorios no coincidan en un espacio físico. Permite además simular muchos fenómenos físicos y modelar sistemas, conceptos abstractos, situaciones hipotéticas, controlando la escala de tiempo, la frecuencia, etc., ocultando si así se requiere el modelo matemático y mostrando solo el fenómeno simulado, e inclusive de forma interactiva, llevando el laboratorio al alcance de los estudiantes (Pascuas, Bocanegra, Ortiz, & Pérez, 2012; Lorandi, Hermida, Hernández & Ladrón de Guevara,. 2011)).

Los laboratorios virtuales son una representación informática de los Laboratorios tradicionales y permiten realizar experimentos, investigaciones, prácticas académicas y científicas, dando la sensación de su existencia real; apoyan y promueven el aprendizaje de los estudiantes y aumentan las opciones de experimentos disponibles en las instituciones educativas.

Actualmente, la Realidad Virtual se presenta como uno de los mejores medios que existen para paliar en parte estos problemas; al permitir desarrollar laboratorios virtuales que resultan ser más económicos y seguros que los reales y que posibilitan llevar a cabo prácticas tanto presenciales como en línea (Luengas, Rincón, & Galeano, 2010).

Este tipo de soluciones permiten tanto la observación del funcionamiento global de este tipo de sistemas como la manipulación de los principales componentes que la forman.

La virtualización de una práctica de laboratorio real en un entorno virtual tiene varios beneficios tales como:

- Eliminar los costes del material de laboratorio.
- Reducir el tiempo que se tarda en realizarla.
- Evitar los riesgos a los que pueden estar expuestos los estudiantes.
- Y tener mayor control de lo que están haciendo los estudiantes al poder obtener datos que pueden pasar desapercibidos a simple vista.

Este tipo de tecnologías que emergen día a día, se pueden utilizar como complemento en la formación en universidades, escuelas, centros de formación etc. sustituyendo a los clásicos

laboratorios costosos de acceder, mantener y manipular. En el caso del secado convencional tienen lugar varios fenómenos de intercambio de calor y masa que rigen su comportamiento termoenergético. La literatura científica recoge diversos procedimientos de cálculo para el análisis de este proceso; sin embargo, en la actualidad se requiere del análisis multicriterial de los secaderos de la empresa productora del níquel “Comandante Ernesto Che Guevara” (Caraballo, 2012; Delgado, 2014).

El desarrollo de la capacidad de análisis crítico y de aplicación del conocimiento es de fundamental importancia en la formación del estudiante de ingeniería. Es necesario incorporar nuevas metodologías que ayuden a una formación en competencias y habilidades adaptadas a los nuevos entornos tecnológicos. La inclusión de tecnología, dentro y fuera del aula, permite incorporar otros mecanismos de enseñanza y aprendizaje para complementar o potenciar la “enseñanza formal tradicional”.

### Secado

El secado, desde el punto de vista industrial es un proceso de transferencia de calor y de masa no isotérmico, este proceso permite una reducción en el contenido de humedad del material, lo cual provoca una disminución en el consumo de combustible y las emisiones de gases producto de la combustión en los secaderos (Delgado, 2014; Castaño, Rubio, & Ortega, 2009). La inserción de un sistema que ayude a los estudiantes a entender mejor este proceso, así como un mejor estudio del comportamiento de la humedad y el funcionamiento de los cilindros encargados del secado, sería de vital importancia para su aprendizaje.

### Flujo Tecnológico de la planta

Esquema básico de un secador cilíndrico horizontal rotatorio (Ilustración 1) de la empresa “Comandante Ernesto Che Guevara” con sus respectivas corrientes energéticas.

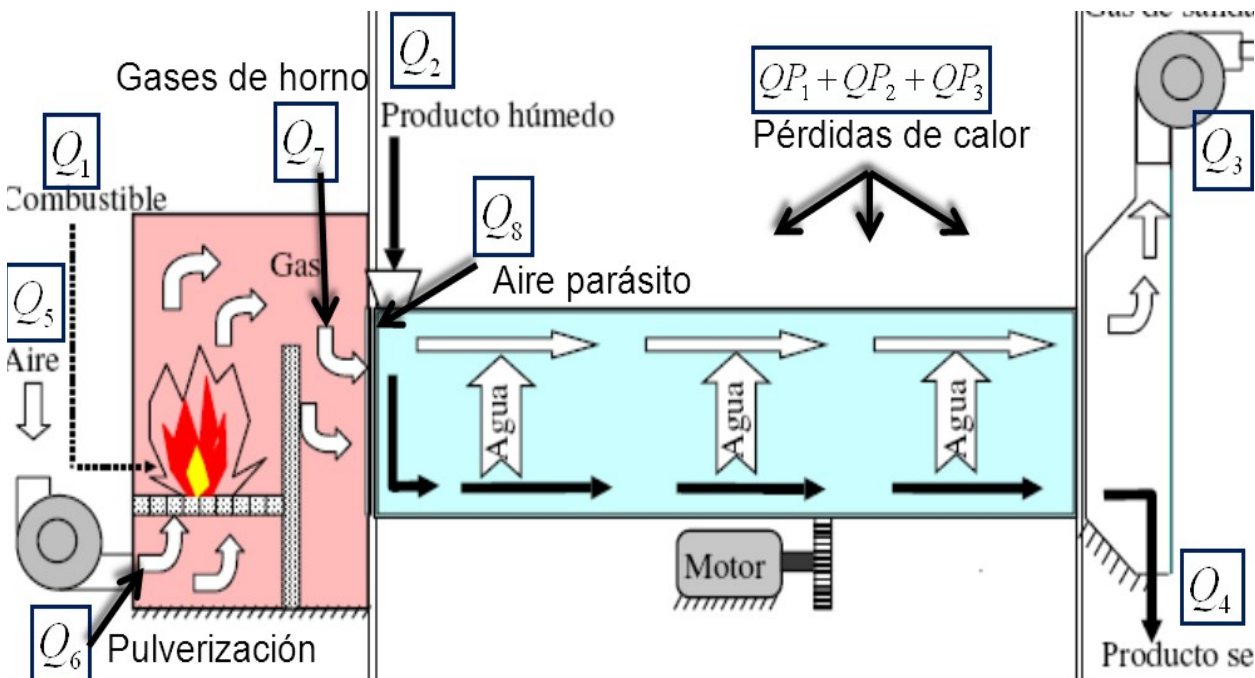


Ilustración 1 Esquema básico de un secador cilíndrico horizontal rotatorio

En la Planta de Preparación de Mineral es donde se inicia el proceso productivo de la fábrica según la tecnología carbonato-amoniacoal. La misma está formada por las siguientes secciones: Patio de homogenización, Secaderos y Molinos.

Los secaderos cilíndricos rotatorios se dividen en dos tipos, conforme a las direcciones de la corriente de material a ser secado y de los gases de secado.

En el caso de este estudio se abordan los secaderos rotatorios en favor de la dirección del material como se muestra en la Ilustración 1.

El mineral procedente de la mina se transporta hacia la Planta de Preparación de Mineral a través de las grúas o directamente por los transportadores de enlace. La alimentación a los secaderos se

realiza a través de unos desviadores que se encuentran justamente sobre las tolvas de los secaderos. La alimentación al depósito Interior se realiza de la misma forma, o sea, mediante desviadores de mineral que se encuentran situados sobre tres correas colocadas entre los secaderos 2 y 3, 4 y 5 y al final del edificio.

Para la elaboración de un software que permita acercarse a la simulación del proceso durante el secado, es necesario el estudio de los trabajos precedentes, así como un análisis de las tecnologías actuales para diseñar, implementar y poner en marcha productos informáticos que se adapten a las exigencias de estos procesos.

### **Sistemas automatizados existentes.**

Para la realización de los cálculos se emplea la metodología desarrollada en la tesis de maestría "Evaluación termoenergética del proceso de secado convencional del mineral laterítico", de Yodelkis Delgado (Delgado, 2014). Esta es una metodología multicriterial que ha tenido muy buenos resultados en su implementación. No obstante, los cálculos se han implementado en Mathcad con fórmulas que no acaparan todo el contenido del proceso de secado, pero que han ayudado de cierta forma a los investigadores del tema. También se utilizan otras herramientas como el Hojas de cálculo, por citar algunos ejemplos.

Estas herramientas, que representan cierta eficacia en sus soluciones, no cuentan con una integración total de los modelos matemáticos del secado y mucho menos le muestra al estudiante los cambios efectuados en el material o equipamiento de los secaderos rotatorios.

### **Funcionalidades Generales del Laboratorio**

La realización de trabajos de laboratorios para los estudiantes de la carrera de Mecánica en el ISMMM, en lo referente al proceso de secado es algo superficial, debido a que el centro no cuenta con un laboratorio real para el trabajo práctico de esta asignatura.

La evaluación de la interfaz se ha hecho utilizando la metodología para evaluación de interfaces multimedia de Jakob Nielsen (Torres, 2001). Aquí se desarrolla un concepto propio para medir y dar valor a las aplicaciones computarizadas. Dicho concepto es el grado de "usabilidad" que una aplicación alcanza.

En el presente trabajo, se aplica este método para evaluar la interfaz en cuanto a su usabilidad, con el auxilio de un grupo de 11 estudiantes teniendo en cuenta sus opiniones sobre los siguientes atributos (Torres, 2001):

- La interfaz debe ser fácil de aprender.
- Debe ser eficiente como herramienta de enseñanza.
- Debe ser fácil de recordarla.
- Debe contener pocos errores.
- Debe ser satisfactoria y placentera.

Además de los siguientes requerimientos no funcionales:

Producto atractivo, usable, rápido y confiable. Amigable, fácil de usar, brinda una correcta navegación para el usuario. Los colores son claros mejorando de esta forma la visualización de la misma. La interfaz debe utilizar preferentemente conceptos que sean manejados por los usuarios para que les sea fácil el uso de la herramienta y su aprendizaje. Ambiente gráfico lo más cercano posible a la imagen real de la planta.

Sistema fácil de usar, no requiere de mucha experiencia y cuenta con un manual de usuario detallado del uso del sistema.



Ilustración 2. Pantalla principal de la interfaz de usuario.

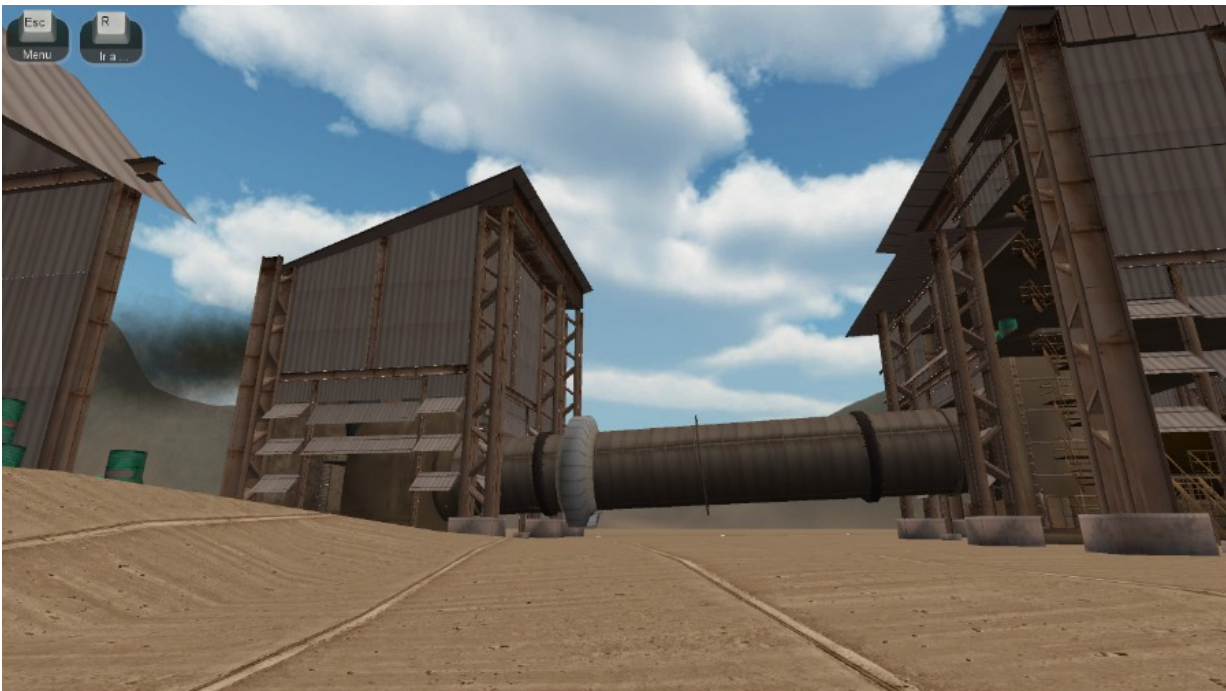
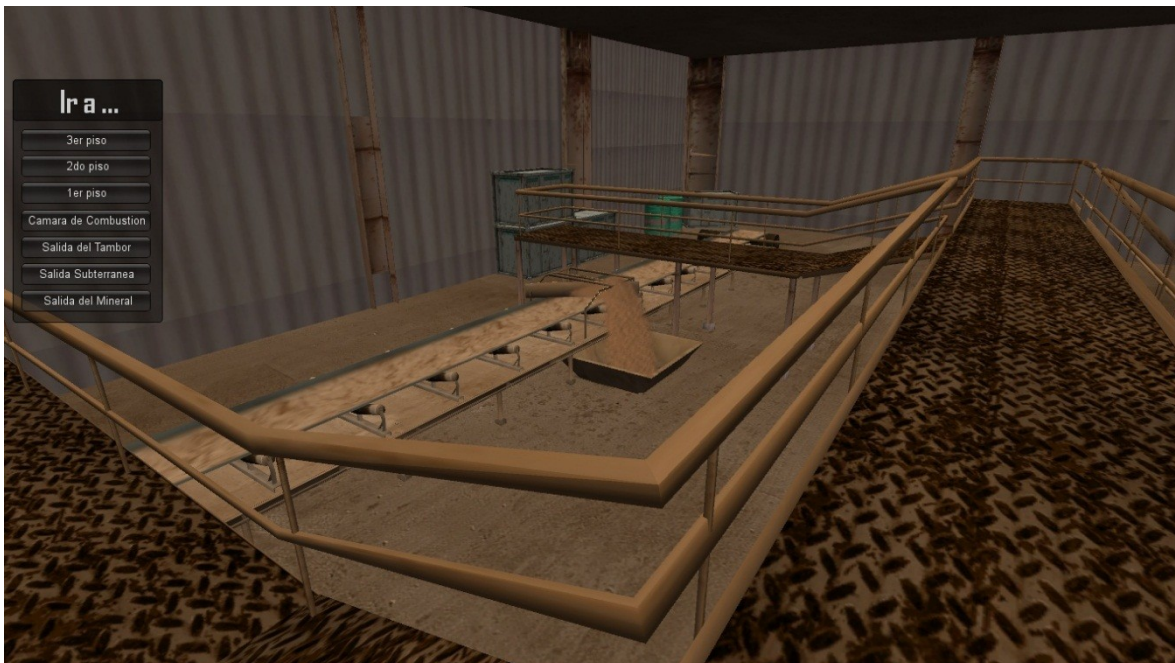


Ilustración 3. Vista de la planta



**Ilustración 4.** Balance térmico



**Ilustración 5.** Recorrido por la planta.

Buena velocidad de procesamiento y cálculo de los datos: debido a que el sistema tiene que mostrar en un solo informe los resultados de los cálculos más importantes del proceso termodinámico de la planta. El tiempo de procesamiento y cálculo, no debe exceder los 5 segundos.

Alta precisión en los cálculos: Los valores a mostrar tienen que ser muy precisos, siempre y cuando el usuario inserte en los paneles de entrada datos reales.

En todos los casos el resultado fue de bueno a muy bueno. Las inconformidades estuvieron relacionadas con el indicador: "Puede hacer todo lo que necesita con el sistema. Aquí los estudiantes pedían que se le adicionaran más funcionalidades al sistema, pero eso estaba fuera de los objetivos trazados.

Efectos Económicos

Directos

- Positivos
  1. Se crea un ambiente virtual en el que los estudiantes podrán visitar o recorrer las distintas partes de la planta.
  2. El estudiante podrá conocer el proceso de secado de mineral detalladamente.
  3. Permite a los estudiantes realizar cálculos en el sistema los cuales serán utilizados para el análisis termodinámico del proceso.
  4. Al variar el flujo de combustible el estudiante podrá observar la variación en el análisis del Balance Térmico y de Masa.
  5. En las clases prácticas los estudiantes tienen un laboratorio para el conocimiento de la planta en cuestión, su proceso de secado y para calcular y analizar resultados de los balance térmicos y de masa.
- Negativos
  1. Para usar el software es necesario el uso de ordenadores, lo cual incide en los gastos por consumo de electricidad y mantenimiento.

Beneficios:

- Mayor comodidad para el trabajo práctico de laboratorio.
- Mayor integración estudiantes – máquinas favoreciendo el uso de las nuevas tecnologías.
- Mejora en la calidad del proceso enseñanza – aprendizaje en la carrera de Mecánica

Para evaluar la factibilidad del proyecto se utilizó la Metodología Costo-Efectividad. Dentro de esta metodología, la técnica de punto de equilibrio aplicable a proyectos donde los beneficios tangibles no son evidentes, el análisis se basa exclusivamente en los costos. Para esta técnica es imprescindible definir una variable discreta que haga variar los costos. Teniendo en cuenta que el costo para este proyecto es despreciable, tómesese como costo el tiempo tardan los estudiantes para poder realizar una visita a la planta y que tiempo demoran en realizar los cálculos de los balances térmicos y de masas.

En los cálculos realizados el estudiante para realizar una visita he interactuar con el medio necesitaba entre 20 y 45 días para poder ir a la fábrica, con la ayuda del Laboratorio Virtual el estudiante podrá interactuar con el sistema en cualquier momento. Mejorando la calidad y cantidad de las horas de estudio del estudiante sobre este tema en particular.

Otras de las ventajas es el tiempo en realizar los cálculos referentes al balance de masa. El laboratorio virtual cuenta con un área de cálculo en la cual el estudiante puede hacer un análisis del comportamiento del balance térmico y de masa del secador en un tiempo despreciable, sin embargo utilizando los medios que existían con anterioridad tardaría entre 12-24 horas.

### Conclusiones

- Los laboratorios virtuales basados en Realidad Virtual no inmersiva, se presentan como permiten realizar experimentos, investigaciones, prácticas académicas y científicas, dando la sensación de su existencia real; apoyan y promueven el aprendizaje de los estudiantes y aumentan las opciones de experimentos disponibles en las instituciones educativas, de manera más económica y segura que los laboratorios reales.
- Se desarrolló un Laboratorio Virtual que permite a los estudiantes de tercer año de la carrera de Ingeniería Mecánica realizar los laboratorios de la asignatura Termodinámica relacionados con el Balance Térmico y de Masa del Cilindro Horizontal de Secadero, en un entorno 3D realizado con gran similitud a la estructura de la planta de Secadero de la Empresa Niquelífera “Comandante Ernesto Ché Guevara”.
- Las pruebas realizadas con un grupo de estudiantes y profesores demostraron los beneficios de los espacios virtuales para la educación y en particular para la formación de los futuros profesionales.

### Referencias Bibliográficas

1. Castaño, F., Rubio, F.R. & Ortega, M.G. (Octubre 2009) Modelado de Secaderos Rotatorios Isocorriente. *Revista Iberoamericanade Automática e Informática Industrial*. 6(4). 23-43.



2. Cujae (2013). *Laboratorios Virtuales Simulación de Procesos Tecnológicos*. Recuperado el 10 de enero de 2015 de <http://lv.cujae.edu.cu/>
3. Delgado, Y. (2014). Evaluación termoenergética del proceso de secado convencional del mineral laterítico (Tesis de Maestría). Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Holguín. Cuba.
4. Lorandi, A.P., Hermida, G., Hernández, J. & Ladrón de Guevara, E. (2011). Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería. *Revista Internacional de Educación en Ingeniería*. 4, 24-30.
5. Luengas, L. A., Guevara, J. C., & Sánchez, G. (2010). *¿Cómo desarrollar un laboratorio virtual? Metodología de Diseño*. Universidad Distrital Francisco José de Caldas, Colombia.
6. Luengas, L. A., Rincón, D. A. & Galeano, K. J. (Enero-Julio 2010). Realidad Virtual No Inmersiva: Instrumentos Electrónicos de Aplicación Educativa. *Revista Visión Electrónica*, 4(1), 94-105.
7. Macías, M. D. & Pinzi (septiembre de 2012). *Laboratorio virtual de motores térmicos*. En: Proyectos de mejora de la calidad docente. XIII Convocatoria. Llevado a cabo en la Universidad de Córdoba, España.
8. Medina, A. P., Hermida Saba, G., & Hernández Silva, J. (2011). Los Laboratorios Virtuales y Laboratorios Remotos en la Enseñanza de la Ingeniería. *Academia Journals*, 7.
9. Pascuas, Y. S., Bocanegra, J.J., Ortiz, E.J. & Pérez, J.N. (Agosto de 2012). Desarrollo dirigido por modelos para la creación de laboratorios virtuales. *Revista Scientia et Technica*, XVII(51).
10. RESOLUCIÓN No. 210/07, Reglamento Docente Metodológico, Gaceta oficial de la República de Cuba, La Habana, Cuba, 20 de febrero de 2007.
11. Torres, G.A.(2001) Espacios Virtuales de Experimentación Cooperativa Caso De Estudio: Laboratorio Virtual de Cinemática (Tesis de Maestría). Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo. México.