

Sistema para análisis termoenergético de secadores cilíndricos rotatorios horizontales en la empresa Che Guevara*¹

***[System for thermal-energetic analysis of horizontal
rotational cylindrical dryers in Che Guevara Company]***

**KEILY CARABALLO MONDELO², ARIEL MONTES DE OCA PÉREZ³,
ARLETIS COBAS RODRÍGUEZ²**

RECIBO: 20.08.2015 – APROBACIÓN: 14.04.2016

Resumen

Entre los numerosos procesos industriales que ocurren en las empresas del níquel, resulta vital el estudio del secado de mineral laterítico en cilindros rotatorios horizontales; en el cuál se están haciendo varias modificaciones, por lo que es necesario trabajar en soluciones globales para que las empresas mejoren su nivel de automatización. Por estas razones, la presente investigación se centró en el desarrollo de una aplicación informática, que automatiza los modelos matemáticos que intervienen en el proceso de secado establecido por los estudios experimentales en la región de Moa, permitiendo que se agilice el cálculo de secado del mineral y motiven a investigadores de la materia a desarrollar mejores técnicas para el uso del secado. Se utilizaron

*** Modelo para la citación de este artículo:**

CARABALLO MONDELO, Keily; MONTES DE OCA PÉREZ, Ariel & COBAS RODRÍGUEZ, Arletis (2016). Sistema para análisis termoenergético de secadores cilíndricos rotatorios horizontales en la empresa Che Guevara. En: Ventana Informática No. 34 (ene-jun). Manizales (Colombia): Facultad de Ciencias e Ingeniería, Universidad de Manizales. p. 145-160. ISSN: 0123-9678

- 1 Artículo de investigación científica y tecnológica proveniente de la tesis para optar al título de Ingeniero Informático con la dirección de MSc. Yodelkis Delgado Drubey, por parte de los autores primero y tercero.
- 2 Ingeniera en Informática. Profesora, Departamento Informática, Facultad Geología y Minas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" (Moa, Cuba). Correo electrónico: {kmondelo, acobas}@ismm.edu.cu
- 3 Magíster en Desarrollo Sustentable en la Actividad Minero Metalúrgica. Profesor asistente, Departamento de Matemática, Facultad Geología y Minas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa "Dr. Antonio Núñez Jiménez" (Moa, Cuba). Correo electrónico: amontesp@ismm.edu.cu

herramientas de software libre y la metodología de desarrollo de software RUP. Se realizó un estudio de factibilidad y sostenibilidad sobre el sistema, con beneficios tangibles e intangibles, que permiten hacer un análisis de los costos del desarrollo de este sistema arrojando que el proyecto es útil para que la entidad logre sus objetivos.

Palabras clave: Mineral laterítico, evaluación energética, SecMin

Abstract

Among the numerous industrial processes that happen in the companies of the nickel, it is important the study of the drying of lateritic mineral in horizontal rotational cylinders; in the which they are becoming several modifications, for what is necessary to work in global solutions so that the companies improve their automation level. For these reasons, the present investigation was carried out in the you development a computer application that automates the mathematical models that intervene in the drying process settled down by the experimental studies in the region of Moa, allowing that the calculation of drying of the mineral is speeded up and motivate investigators of the matter to develop better techniques for the use of the drying. Tools of free software and the methodology of software development RUP were used. Besides was carried out a study of feasibility and sustainable on the system, with tangible and intangible benefits that allow to make an analysis of the costs of the development of this system throwing that the project is useful so that the entity achieves its objectives.

Keywords: Lateritic mineral, energetic evaluation, SecMin.

Introducción

La informática es un amplio campo que incluye los fundamentos teóricos, el diseño, la programación y el uso de las computadoras. El creciente desarrollo en el campo de la informática, ha permitido que tales dispositivos estén presentes en todos los sectores de la sociedad, sin constituir una solución mágica a los problemas de un ciudadano, empresa e incluso el país, pero sí contribuyen a aumentar la superación intelectual y profesional, abrir nuevas perspectivas de vida y hasta abaratar costos en la economía personal, empresarial y de nación.

En el caso cubano, se requiere asumir los desafíos de la era digital para aspirar a crecer económicamente y ser competitivo. Existe la voluntad política y el capital humano requerido, solo quedaría trabajar

en el mejoramiento de la infraestructura tecnológica y organizativa. La Informática aplicada a la industria permite reducir costes, aumentar la productividad y la calidad del producto. Los conocimientos en esta área permiten a las empresas contar con aplicaciones que resultan de la integración de algoritmos, procedimientos y funciones derivados del comportamiento físico de los procesos industriales. Entre los numerosos procesos industriales que ocurren en las empresas del níquel, resulta vital el estudio del secado de mineral laterítico en cilindros rotatorios horizontales; en el cuál se están haciendo varias modificaciones, por lo que es necesario trabajar en soluciones globales para que las empresas mejoren su nivel de automatización.

El secado de mineral es una práctica ampliamente difundida, que origina diversos problemas que afectan los costos y la calidad del mismo. Los secaderos cilíndricos de la planta de preparación de mineral cuya tecnología está basada en el esquema carbonato-amoniaco del mineral reducido, un proceso continuo utilizado en las condiciones de presión atmosférica y el equipamiento tecnológico se distingue por su sencillez y amplia utilización en los aparatos conocidos (hornos de soleras múltiples, espesadores y columnas de destilación). Estas características favorecen la creación de una producción con alto nivel de mecanización y automatización llamado proceso Caron⁴, usado por las industrias del níquel en Cuba, ubicadas en la zona Nicaro-Moa-Baracoa, para procesar minerales lateríticos por lixiviación ácida a presión y por lixiviación con carbonato amoniaco.

En la empresa Comandante Ernesto Che Guevara, la reducción del consumo de portadores energéticos y la optimización de sus procesos inciden considerablemente en la eficiencia de los diferentes equipos e instalaciones que la componen. El secado, desde el punto de vista industrial, es un proceso de transferencia de calor y de masa, mediante el cual se hace pasar un producto desde un estado inicial húmedo a otro estado final menos húmedo, lo que implica extraer el líquido que posee este, obteniendo al final un producto diferente, ya sea como producto

4 Las industrias del níquel ubicadas en la zona Nicaro-Moa-Baracoa, procesan minerales lateríticos tanto por lixiviación ácida a presión, como por lixiviación con carbonato amoniaco (Proceso Caron), donde «las colas constituyen desechos sólidos emanados del Proceso Carbonato Amoniaco, tienen alto contenido de hierro, además de aluminio, cromo, magnesio, manganeso, níquel, cobalto y otros» (Gaínza, Sánchez & Domínguez, 2014, 234).

«El uso de soluciones de NH_3 y CO_2 para lixiviar los óxidos de níquel de las menas que contienen los dos elementos: níquel y cobalto, fue descubierto primeramente por M. H. Caron, y mostró que si estos elementos se llevaban a un estado metálico por una reducción selectiva, estos podían ser lixiviados por una solución, la misma fue presentada en su aplicación holandesa (Dutch) No. 241, en agosto de 1921, posteriormente en la Patente Sudafricana No. 397 en 1923, y finalmente fue registrada en los Estados Unidos de América con el No. 1, 487, 145 en 1924» (Miranda, 2014, 337).

final o como intermedio en un proceso de fabricación dado. Este líquido suele ser agua natural o mezclada, también puede tratarse de otro tipo de disolvente orgánico e inorgánico.

En la actualidad para facilitar el cálculo del secado de mineral laterítico⁵ en cilindros rotatorios horizontales, se utilizan *Microsoft Excel* y *Microsoft Calculadora*, pero los cálculos son extensos y reiterativos por lo que también es necesario apoyarse de forma manual, pues el software no integran todo el proceso del cálculo de los modelos matemáticos del secado. Los parámetros que influyen en ellos varían constantemente sus resultados, ya que sus valores dependen de variaciones climatológicas, al realizar estos cálculos a mano se logra poca confiabilidad en los datos, debido a que se está propensa a errores y demora para obtener sus resultados.

Este proceso de secado antes expuesto en la empresa, ofrece una gran cantidad de datos a partir de los cuales se pueden analizar el estado en el que está trabajando la instalación. A partir de los aspectos antes mencionados se declara como problema: ¿Cómo facilitar el análisis energético de los secadores cilíndricos rotatorios horizontales en la empresa Comandante Ernesto Che Guevara?

Sobre la base del problema a resolver se establece la siguiente idea a defender: El diseño e implementación de una aplicación que concentre los datos generados de todas las variables durante el proceso de secado, utilizando las metodologías, tecnologías y herramientas adecuadas; permitirá el análisis del comportamiento energético de los secadores cilíndricos rotatorios en la empresa. Por ello, se definió como objetivo, desarrollar una aplicación que permita, de forma rápida y fiable, el análisis del comportamiento energético de los secadores cilíndricos rotatorios.

1. Fundamento teórico

El secado⁶, 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

5 «Los depósitos lateríticos ferroniquelíferos del nordeste de Cuba representan las mayores reservas de níquel en el Caribe (Dalvi et al. 2004; Galí et al. 2006); son mayoritariamente de tipo óxido (Brand et al. 1998; Gleeson et al. 2003), formados a partir de la meteorización de las rocas básicas y ultrabásicas del macizo ofiolítico Moa-Baracoa (Iturralde Vinent 1996; Lavaut 1998)» (Rojas, Simões & Orozco, 2012, 3).

6 «El secado consiste en remover cantidades relativamente pequeñas de agua a partir de gases, líquidos y sólidos húmedos. (...) El secado de sólidos es con frecuencia el paso final en una serie de operaciones y los productos que salen de un secador están casi siempre listos para su empaque» (Gooding, 2009, 102)

una disminución en el consumo de combustible y las emisiones de gases producto de la combustión en los secaderos. La inserción de un sistema que ayude a mejorar el trabajo en este proceso, así como un mejor estudio del comportamiento de la humedad sin duda será un paso de avance en el mejoramiento de las técnicas utilizadas.

Para la elaboración de un software destinado a la automatización del análisis de la humedad 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.

1.1 Trabajos precedentes sobre los procesos de secado

«El secado de mineral con el empleo de la energía térmica se ha desarrollado vertiginosamente en el mundo; de acuerdo con las fuentes consultadas (Krisher, 1961; Strumillo, 1975) se destacan dos tendencias fundamentales: el secado bajo parámetros controlados y el secado solar. A este trabajo ofrece particular interés la primera de ellas» (Betancourt, 2013, 28). Respecto al primer elemento se encontraron numerosos trabajos experimentales encaminados a describir el comportamiento de la transferencia de calor y masa en el secador y caracterizar la cinética del proceso de secado y la humedad de equilibrio. Los trabajos más pertinentes se analizan a continuación:

- *«Thomas et al. (1980) resolvieron las ecuaciones expuestas por Lykov (1954) usando el Método de Elementos Finitos, ellos solucionaron las ecuaciones diferenciales parciales no lineales para los casos donde es posible variar las propiedades de los materiales y también ecuaciones lineales con propiedades constantes de los materiales; compararon los resultados de ambos casos con los de un análisis lineal del secado de una sección de madera y constataron que no había diferencia con los resultados no lineales, de ahí que asumir las propiedades del material constante se justifique en algunos casos»* (Betancourt, 2013, 29).
- El descubrimiento de Lykov es válido para el secado de los materiales capilaroporosos, grupo al que corresponde el mineral laterítico, según la clasificación dada por Kasatkin (1985, 262-366).
- *«En Cuba se han desarrollado diferentes investigaciones relacionadas con el secado de materiales y productos alimenticios tales como: café, cacao, cebolla, madera, cemento, zeolita, entre otros, todos con resultados satisfactorios para cada uno de estos materiales. Dentro de ellos se puede destacar el trabajo desarrollado por Novoa (1995, 24-29) para el secado de zeolita a escala de laboratorio, en este se*

obtienen ecuaciones empíricas que describen el comportamiento del proceso de secado del producto siguiendo el modelo propuesto por Hall (1983), obteniendo además, los valores de humedad de equilibrio para diferentes temperaturas y humedad inicial; finalmente con todos los resultados alcanzados realizaron un software para simular el proceso y predecir su comportamiento bajo determinadas condiciones de operación» (Betancourt, 2013, 30).

- Eich-Soellner, Lony & Kroner (1997, 1) señalan que la modelación matemática es una herramienta indispensable en el diseño y operación de las plantas químicas, ofreciendo un método numérico para la solución de grandes sistemas de ecuaciones derivados de la modelación de una planta de producción.
- Mora (1999) realiza un balance térmico y de masa de los secadores de mineral considerando los gases de hornos y el aire frío como aire secundario o de disolución. También se realizó una valoración económica del proceso para demostrar cómo influye el empleo de gases calientes como aire secundario en el costo de producción y calculó el consumo de combustible en estas condiciones.
- También «Bachir (2001) realizó un balance térmico y de masa para determinar el consumo de combustible tomando el aire frío y los gases de hornos como aire secundario» (Betancourt, 2013, 30).
- Varios trabajos investigativos se han llevado a cabo en los secadores de la empresa productora de níquel Comandante Ernesto Che Guevara, como el de «Moya (2008) [quien] realizó un análisis de las pérdidas y su influencia en el gasto económico por concepto de consumo de combustible en dicha empresa» (Betancourt, 2013, 30).

Como se puede observar, en Cuba la literatura recoge pocos intentos de estudios experimentales de los secadores rotatorios al parecer por la dificultad de hacer mediciones en dicho agregado, particularmente en condiciones industriales, ya que carecen de una data precisa y adecuada de la transferencia de calor, masa y del movimiento de la partícula por el interior del equipo, todos estos aspectos son los que han motivado la realización de esta investigación con vista a profundizar en los parámetros de explotación y funcionamiento en los tambores cilíndricos rotatorios.

Adicionalmente, Retirado et al. (2012, 16) presentan modelos matemáticos que *«permiten calcular apropiadamente la distribución de humedad que experimenta la mena laterítica durante el secado natural y posibilitan pronosticar el tiempo de secado al que debe someterse el material para reducir su humedad desde un valor inicial conocido*

hasta otro valor final deseado. Los mismos se obtienen al resolver analíticamente la ecuación diferencial de intercambio de humedad en un sólido poroso, para los problemas de contorno específicos del proceso investigado».

1.2 Descripción del flujo tecnológico de la planta

En la Planta de Preparación de Mineral es donde se inicia el proceso productivo de la fábrica según la tecnología carbonato-amoniaca. La misma está formada por las siguientes secciones: Patio de homogenización, Secaderos y Molinos. *«Los secaderos rotatorios se dividen en dos tipos, conforme a las direcciones de la corriente de material a ser secado y de los gases de secado. La elección entre un secador rotatorio a contra-corriente o no se efectúa de conformidad con las propiedades del material a secar: Grado de secado, Calor específico, Capacidad de evaporación de humedad, Inflamabilidad y Propiedades de sinterización»* (Olivares & Hernández, 2007).

El mineral procedente de la mina se transporta hacia la Planta de Preparación de Mineral a través de las grúas Gantry o directamente por los transportadores de enlace (TR-14 Y TR-15). *«Los secaderos se alimentan a través de unos desviadores que se encuentran justamente sobre las tolvas de los mismos. La alimentación al depósito interior se realiza mediante los desviadores de mineral que se encuentran situados sobre tres correas colocadas entre los secaderos»* (Muñoz, Rodríguez & Morera, 2008, 38) 2 y 3, 4 y 5 y al final del edificio.

«El mineral almacenado en el depósito interior, se usará cuando se interrumpa el suministro de la materia prima a los secaderos por cualquier tipo de avería surgida en el proceso previo a esta etapa. La capacidad de este almacén interior permite a la Planta trabajar durante cuatro días» (Muñoz, Rodríguez & Morera, 2008, 38). Este mineral que llega a la planta con una humedad promedio de 40% es secado en los tambores cilíndricos rotatorios hasta valores de 4,5-5,5% de humedad, luego es llevado por transportadores de bandas hacia la sección de molienda donde es sometido a un proceso de molienda en los molinos cilíndricos de bolas hasta valores de granulometría para el 85-87% de la cantidad de mineral.

Para lograrlo, cada secadero posee una cámara de combustión dotada de un quemador de petróleo, a la cual se le suministra aire de combustión, aire de pulverización, aire secundario o gases procedentes de la planta de hornos, dicho proceso de muestra en la Figura 1. Los gases quemados dentro de la cámara de combustión alcanzan una temperatura de 1500°C que disminuye hasta 800-850°C al entrar en contacto con el aire en exceso que se suministra y que sirve para

aumentar el volumen de gases necesarios para secar el mineral. Los gases entran al tambor secador con esta última temperatura (800-850°C) y salen del mismo a 80 -100°C.

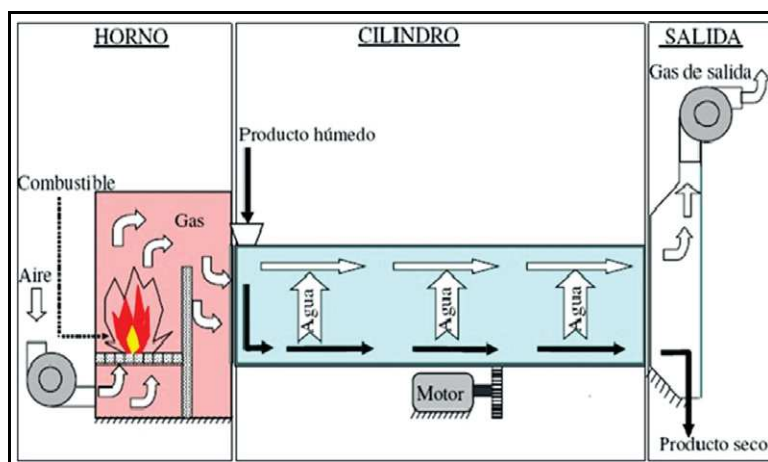


Figura 1. Proceso de Secado del Mineral

La entrada de los gases al tambor secador se realiza en dirección a corriente con el mineral alimentado, de forma que el contacto entre los gases calientes y el mineral permita que este último se vaya secando para obtener al final del secadero un producto con las características adecuadas. Estos gases calientes pueden atravesar el secadero debido a la succión que crea un ventilador centrífugo de tiro inducido de doble entrada (BM-20), situado a la salida del electrofiltro que posee cada secadero individualmente.

Además, estos gases son capaces de arrastrar con ellos el 28 % del polvo que entra con el mineral o que se forma durante el proceso de secado, y que por lo general posee una granulometría de $-0,074$ mm, el cual será introducido al sistema de colección.

1.3 Sistemas automatizados existentes vinculados a la automatización de procesos industriales

En *Mathcad* se han implementado fórmulas que no acaparan todo el contenido en el proceso de secado, pero que han ayudado de cierta forma a los investigadores del tema con ayuda de otras herramientas como el *Excel* de *Windows*, y el *OpenOffice.org Math* que crea o edita fórmulas y ecuaciones, por citar algunos ejemplos. Los cuales independientemente que son de elevada eficacia en sus soluciones, no cuentan con una integración total de los modelos matemáticos del secado de los cilíndricos rotatorios, por lo que muchos cálculos se deben

ser llevados a mano. Además de que algunas de estas herramientas no son gratis pues requieren del pago de licencias y no son multiplataforma.

Existe una amplia variedad de publicaciones relacionadas con el secado de materiales sólidos. En los trabajos consultados se estudian diferentes aspectos del proceso y sistemas informáticos vinculados a su estudio, de donde se derivan las siguientes conclusiones:

- Los aportes científicos de los diferentes autores están encaminados a establecer las leyes matemáticas que rigen la transferencia de calor y masa en el proceso de secado.
- El secado de mineral laterítico en cilindros rotatorios horizontales es un tema novedoso en Cuba por existir pocos trabajos dedicados a su estudio. En la empresa Comandante Ernesto Che Guevara se han realizado algunos estudios experimentales porque los resultados obtenidos en otras partes del mundo no pueden generalizarse al mineral laterítico debido a sus propiedades termofísicas y el microclima de la región de Moa.
- Los estudios estadísticos realizado se han llevados a cabo a mano y con ayuda de algunas herramientas informáticas, siendo un método engorroso, pero el uso de un sistema informático que integre todo lo relacionado con el proceso de secado y almacene sus registros, facilitará el análisis de sus resultados para la creación y desarrollo de nuevas técnicas de evaluación energética.

Los elementos antes expuestos exigen el desarrollo de una aplicación informática, que automatice los modelos matemáticos establecidos por los estudios experimentales en la región de Moa.

2. Metodología

2.1 Herramientas utilizadas para el desarrollo de la aplicación

2.1.1 Lenguaje de Programación. No sobra recordar que un lenguaje de programación *«es básicamente un sistema estructurado de comunicación, similar al humano, el cual nos permite comunicarnos por medio de signos, ya sean palabras, sonidos o gestos»* (Morales, 2014), siendo los de alto nivel, aquellos que *«no dependen de la máquina y sirven principalmente para crear programas informáticos que puedan solucionar distintos tipos de necesidades»* (Morales, 2014), donde se incluyen SQL, C, PHP y Java.

Para el caso del proyecto, se utilizó Java, que de acuerdo con Groussard (2012, 10), se creó inspirado *«en las funcionalidades interesantes propuestas por otros lenguajes tales como C++, Eiffel,*

SmallTalk, Objective C, Cedar/Mesa, Ada, Perl. El resultado es una plataforma y un lenguaje idóneos para el desarrollo de aplicaciones seguras, distribuidas y portables en numerosos periféricos y sistemas transportables interconectados en red pero también en internet (clientes ligeros), y en estaciones de trabajo (clientes pesados)». Su origen se remonta a 1991, con el nombre Oak, «cuando James Gosling (en Sun Microsystems) encabezó un proyecto cuyo objetivo original era implementar una máquina virtual ampliamente portable y un lenguaje de programación ambos orientados a dispositivos “embedded” (procesadores incorporados en diversos dispositivos de consumo masivo como VCR’s, tostadoras, PDA’s, teléfonos móviles, etc.)» (Americati, 2006).

2.1.2 Ambiente de Desarrollo Integrado (IDE). Para el proyecto se utilizó NetBeans IDE 7.0, que introduce, según señala NetBeans (2011), soporte para la codificación de la especificación Java SE 7 con el JDK 7, permitiendo a los desarrolladores utilizar las nuevas características del lenguaje del Proyecto Coin / JSR 334, con soporte editor para, en casos específicos, convertir de código basado en Java SE 6 a la nueva sintaxis basada en Java SE 7. «*NetBeans IDE es un ambiente integrado de desarrollo de código abierto para desarrolladores de software que intentan construir aplicaciones usando mayormente Java, o algún otro lenguaje de programación popular como C++, PHP, Python, Groovy, Ruby, y otros (...). Tres módulos principales de NetBeans IDE son NetBeans Profiler (que puede monitorear aplicaciones, reportar problemas, dificultades de performance y más), el editor de JavaScript NetBeans y la herramientas de diseño GUI*» (NetBeans, 2014).

2.1.3 Base de datos. Se optó por Apache Derby, «una base de datos relacional de código abierto implementado en Java y disponible bajo la licencia Apache, Versión 2.0» (Apache Derby, 2014).

2.1.4 Herramienta de modelado de datos. En la investigación se escogió ER/Studio 8.0.0, por ser «la primera herramienta modeladora profesional de datos que ofrece la representación visual del linaje de datos en la empresa, permitiendo a los profesionales de datos controlarlos y conducir análisis de impacto entre las fuentes y los destinos objetivo de datos, así como analizar y documentar visualmente el flujo de los datos sin impactar el código», que incluye LDAP, submodelado a nivel de atributos, banderas de comparación a nivel de objetos, soporte DBMS para Sybase IQ 12.5 y Microsoft SQL Server 2008, entre sus características.

«ER/Studio es una solución negocio-conducida de gran alcance de la arquitectura de los datos que combina los

datos que modelan, diseño, y divulgación, más proceso del negocio, conceptual, y el uso que modela con la colaboración cruz-de organización para las arquitecturas de los datos y las empresas de todos los tamaños. Uso ER/Studio de los profesionales de la gerencia de datos de capturar fácilmente y modelos de la parte, meta datos, fuentes de datos, y glosarios para la alineación mejorada entre el negocio y él. Con la ayuda para la gerencia ágil del cambio, ER/Studio permite a usuarios crear y seguir las tareas asociadas a los modelos» ER-Studio (2015).

2.1.5 Visual Paradigm para el Lenguaje de Modelado Unificado (VP-UML). Se decidió utilizar esta herramienta desarrollada por Visual Paradigm International Ltd.

«La herramienta está diseñada para una amplia gama de usuarios, incluidos los ingenieros de software, analistas de sistemas, analistas de negocios y arquitectos de sistemas, o para cualquier persona que esté interesada en la construcción de sistemas de software fiable a gran escala con un enfoque orientado a objetos. Además, VP-UML soporta los últimos estándares de la notación UML. A veces, su diseño no puede simplemente sentarse en la herramienta de modelado y la necesidad de saltar a otro lugar para continuar con el desarrollo de software. Producir informes en formato PDF, Word o en formato HTML sin ningún esfuerzo. Utilice el Informe Composer para preparar su informe o personalizarlo en un lo que ves es lo que obtienes Interface» (CNET, 2013).

2.2 Metodología de desarrollo del software

Se decidió utilizar el Proceso Unificado Racional (RUP), *«una metodología de desarrollo de software que está basado en componentes e interfaces bien definidas, y junto con el Lenguaje Unificado de Modelado (UML), constituye la metodología estándar más utilizada para el análisis, implementación y documentación de sistemas orientados a objetos» (Ecured, s.f.),* caracterizado por tratarse de un conjunto de metodologías adaptables al contexto y necesidades de cada organización. Acorde con lo anterior, Pilacúan (2014, 40) señala que *«- RUP es explícito en la definición de software y su trazabilidad, es decir, contempla en relación causal de los programas creados desde los requerimientos hasta la implementación y pruebas. - RUP identifica claramente a los profesionales (actores) involucrados en el desarrollo del software y sus responsabilidades en cada una de las actividades».*

3. Resultados y discusión

A continuación se presentan las interfaces gráficas de usuario diseñadas para la aplicación final. Para su presentación se ha realizado un resumen con las principales funcionalidades del sistema:

- Prototipo de Interfaz de usuario: Respondiendo a las solicitudes del cliente se escogen colores tenues para el diseño del software, se emplean palabras familiarizadas con el entorno del cliente y diseña una interfaz sencilla, previendo que el usuario no se pierda en la navegación del software.
- Guardar Base de Datos: La aplicación dispone de una primera página para guardar la información obtenida mediante el cálculo de las diferentes funcionalidades, con la condición de que, cuando el usuario compile la aplicación necesariamente tiene que guardar o abrir la base de datos (que es otra funcionalidad del sistema), para que los datos no se pierdan y sean almacenados. El usuario puede determinar la dirección y el nombre de la base datos.
- Calcular calor aportado por el combustible: En la figura 2A se muestra un formulario que posibilita que el usuario vea el resultado al calcular el calor aportado por el combustible, una vez que inserte los valores delimitados en un rango específico.
- Calcular pérdidas de transferencia de calor cámara de paso: Para calcular la pérdida de transferencia de calor de la cámara de paso se aplica el formulario (Figura 2B), que se opera de manera similar al anterior.
- Formato de salida de los reportes: En la Figura 2C se muestra un formulario que ofrece al usuario los datos insertados y el resultado del calor aportado por el combustible mediante un reporte.
- Tratamientos de errores: Para lograr que un sistema tenga un alto por ciento de confiabilidad es de importancia, detectar los errores que ocurran y responder adecuadamente ante ellos con mensajes claros que orienten al usuario para poder corregirlos, de esta manera se evitan incongruencias que generen un resultado inadecuado. Crear los mecanismos para evitar o manejar adecuadamente los errores que puedan ocurrir en un sistema es una norma elemental a la hora de diseñar e implementar un software apropiadamente.

Para cumplir con esa norma se utilizaron los mecanismos de control de excepciones try y catch mediante los cuales se detectan los errores que sean cometidos y envía un mensaje de error para que el usuario pueda corregirlos. Igualmente se impide la inserción de datos ambiguos, como caracteres en campos numéricos netamente o dígitos en espacios de solo texto.

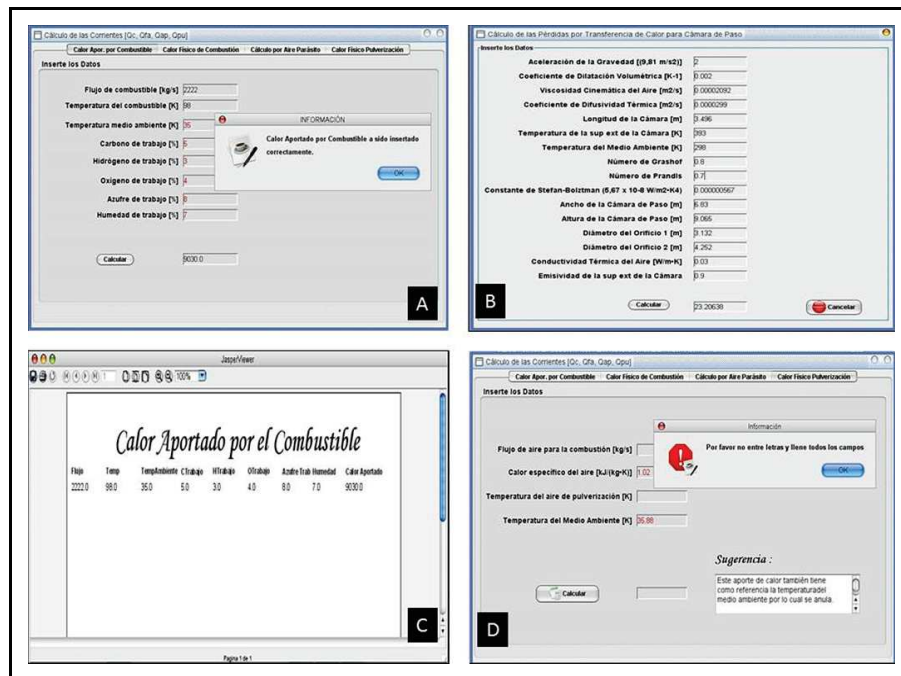


Figura 2. Interfaz gráfica para calcular el calor aportado por el combustible

Los ejemplos típicos de error aparecen generalmente cuando se intenta insertar información que ya está creada, o se intentan insertar campos vacíos, en este caso que se muestra a continuación no puede realizarse una inserción de los datos para el cálculo del calor aportado por el combustible en el sistema hasta antes no haberse creado el mismo. Se contará con un manual de ayuda para el usuario, en el que se explica detalladamente cómo se trabaja con la aplicación. En consonancia con lo anterior la Figura 2D ilustra lo que ocurre cuando el usuario inserta datos erróneos.

3.1 Beneficios tangibles e intangibles

Con la implementación de esta aplicación de escritorio, existirá una herramienta de uso habitual que logrará un alto grado de funcionalidad, usabilidad y seguridad; además de ser lo suficientemente flexible como para permitir modificaciones y actualizaciones de la información que en él se procesa. Se mejora la integridad de la información, realizando además reportes de las corrientes entrantes y salientes, reportes para las pérdidas de transferencia de calor, evitando atentar contra la pérdida de información.

A través del uso de este sistema se pueden obtener los siguientes beneficios:

- Fácil acceso a la información actualizada por parte del usuario.
- Fácil obtención de información.
- Utilización de un gestor de base de datos muy potente que garantiza velocidad en el procesamiento, seguridad y protección de los datos.
- Tiene amplia facilidad de uso.
- Brinda varias ventajas como ahorro de tiempo y recursos.

3.2 Análisis de costos y beneficios

Con el desarrollo de este producto informático se reportan beneficios considerables al constituir un aporte al desarrollo e informatización eficiente y segura de problemas prácticos en áreas de secado de mineral producto a que resuelve y minimiza los riesgos en la gestión de la información.

Mediante este software es posible un óptimo aprovechamiento del tiempo en la búsqueda de información dándole un mejor uso a las tecnologías de la información y las comunicaciones, de manera que los procesos que se desarrollan en la Empresa Ernesto Che Guevara pueden controlarse y gestionarse con mejores resultados.

No obstante haberse desarrollado para las especificaciones de la mencionada empresa, es totalmente factible utilizar/adaptar el sistema en otras empresas del níquel.

4. Conclusiones

Luego de haber realizado un estudio de diferentes sistema existentes, se concluye que los mismos no cumplen con las demandas y especificaciones que requiere el sistema a utilizar en la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara porque presentan limitaciones en sus funcionalidades, por lo que se decidió desarrollar y aplicar un Sistema para el Análisis termoenergético de secadores cilíndricos rotatorios horizontales *SecMin* para solventar estas deficiencias.

Con respecto a la metodología y a la herramienta de desarrollo se concluye que fueron escogidas atendiendo tanto a la licencia de uso y distribución que poseen como a sus prestaciones, lo que permitió comprender la lógica del negocio y definir las deficiencias existentes en la misma, por lo que se escogió como herramienta de modelado *Visual Paradigm for UML*, como *SGBD Apache Derby*, como Lenguaje de Programación Java y como *IDE NetBeans*.

A través del flujo de trabajo Análisis y Diseño se precisó la estructura que debe estar presente en el sistema y se obtuvo el diagrama de clases del diseño, el cual permitió sentar las bases para una implementación exitosa donde se vincularon los componentes de la aplicación con la arquitectura definida.

Con la implementación del sistema *SecMin* se obtuvo una aplicación para la Empresa Comandante Ernesto Che Guevara capaz de realizar el análisis del procedimiento de secado del mineral de manera controlada y centralizada.

Referencias bibliográficas

- AMERICATI (2006). Ventajas y Desventajas: Comparación de los Lenguajes C, C++ y Java [en línea]. Bellavista (San Martín, Perú): Americati: Ingeniería de Software Seguro <http://www.americati.com/doc/ventajas_c/ventajas_c.html> [consulta: 18/09/2015]
- APACHE DERBY (2014). Apache Derby [online]. The Apache DB Project. Forest Hill (MD, USA): Apache Software Foundation <db.apache.org/derby> [consult: 18/09/2015]
- BETANCOURT LAURENCIO, R. (2013). Análisis de las pérdidas de calor en secadores de mineral laterítico mediante el Método de Elementos Finitos [en línea]. En: Ciencia & Futuro, Vol. 3, No. 3. Moa (Holguín, Cuba): Editorial Digital Universitaria Moa. p. 26-41. ISSN: 2306-823x. <http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revista_estudiantil/article/download/848/416> [consulta: 10/12/2015]
- CNET (2013). Visual Paradigm for UML [online]. San Francisco (CA, USA): CBS Interactive INC. (24/07/2013). <http://descargar.cnet.com/Visual-Paradigm-for-UML/3000-2247_4-42700.html> [consult: 27/05/2015]
- DIARIO TI (2008). Embarcadero presenta ER/Studio 8.0 [en línea]. En: Diario TI (11/12/2008). Jacksonville (FL, USA): MPA Publishing International Ltd. <<http://diarioti.com/embarcadero-presenta-erstudio-8-0/20644>> [consulta: 03/05/2015]
- ECURED (s.f.). Proceso Unificado de Desarrollo [en línea]. La Habana (Cuba): EcuRed: Conocimiento con todos y para todos. <http://www.ecured.cu/Proceso_Unificado_de_Desarrollo> [consulta: 12/05/2015]
- EICH-SOELLNER, E.; LONY, P.; BURR, P. & KRÖNER, A. (1997). Stationary and dynamic flowsheeting in the chemical engineering industry. In: Surveys on Mathematics for Industry, Vol. 7, No. 1 (jan). Cambridge (MA, USA): Cambridge University Press, p. 1-34. ISSN: 0938-5983. <https://www.researchgate.net/publication/268013611_Stationary_and_Dynamic_Flowsheeting_in_the_Chemical_Engineering_Industry> [consult: 15/12/2015]
- ER-STUDIO (2015). ER/ Studio Enterprise Team Edition [on line]. San Francisco (CA, USA): CBS Interactive Inc. <http://descargar.cnet.com/ER-Studio-Enterprise-Team-Edition/3000-10254_4-10694903.html> [consult: 27/05/2015]
- GAÍNZA-DELGADO, Y.; SÁNCHEZ-GUILLÉN, C. & DOMÍNGUEZ-CABRERA, A. (2014). Lixiviación de níquel y cobalto en las colas al variar diferentes parámetros de estudio [en línea]. En: Tecnología Química, Vol. 34, No. 3 (may-ago). Santiago de Cuba (Cuba): Universidad de Oriente, Facultad de Ingeniería Química. p. 233-243. <<http://ojs.uo.edu.cu/index.php/tq/article/view/430/411>> [consulta: 12/12/2015]
- GOODING GARAVITO, N. (2009). Balance de materia: para Ingenieros Químicos [en línea]. Bogotá (Colombia): Universidad Nacional de Colombia. 352 p. <https://www.academia.edu/7204983/BALANCE_DE_MATERIA_PARA_INGENIEROS_QU%C3%8DMICOS> [consulta: 12/11/2015]
- GROUSSARD, T. (2012). JAVA 7: Los fundamentos del lenguaje Java. Barcelona (España): Ediciones ENI. 410 p. ISBN: 978-2-7460-7318-0
- KASATKIN, A.G. (1985). Operaciones básicas y aparatos en la tecnología química. La Habana (Cuba): Editorial del Pueblo y Educación. 485 p.

- MIRANDA LÓPEZ, J. (2014). Breve historia del surgimiento de la tecnología hidrometalúrgica del proceso de lixiviación carbonatoamoniaca del Ni y Co [en línea]. En: Tecnología Química Vol. 34, No. 3 (sep-dic). Santiago (Cuba): Universidad de Oriente. p. 335-340. E-ISSN: 2224-6185. <<http://scielo.sld.cu/pdf/rtq/v34n3/rtq11314.pdf>> [consulta: 03/02/2016]
- MORA, E. (1999). Evaluación de los gases residuales en el secado del mineral laterítico en tambores cilíndricos rotatorios. Trabajo de Diploma (Ingeniero metalúrgico). Moa (Cuba): Instituto Superior Minero Metalúrgico, ISMM, Facultad de Metalurgia y Electromecánica.
- MORALES, R. (2014). Lenguajes de programación: ¿qué son y para qué sirven [en línea]. Bogotá (Colombia): Corporación Colombia Digital (01/09/2014). <<http://colombiadigital.net/actualidad/articulos-informativos/item/7669-lenguajes-de-programacion-que-son-y-para-que-sirven.html>> [consulta: 12/12/2015]
- MUÑOZ, J.; RODRÍGUEZ, E. & MORERA, M. (2008). Requerimientos tecnológicos del transportador de laterita hacia el molino de bolas, de la Empresa Productora de Níquel Comandante Ernesto Guevara [en línea]. En: Ingeniería Energética, vol. 29, No. 3, La Habana (Cuba): Instituto Superior Politécnico José Antonio Echeverría. p. 37-43. e-ISSN: 1815-5901 <<http://www.redalyc.org/pdf/3291/329127739006.pdf>> [consulta: 12/12/2015]
- NETBEANS (2011). NetBeans IDE 7.0 Now Available for Download [online]. Bangalore (India): NetBeans.org Community News (20/04/2011). <<https://netbeans.org/community/news/show/1519.html>> [consult: 12/12/2015]
- NETBEANS (2014). NetBeans IDE 8.0 [online]. Panama (Panama): Filehorse (19/03/2014). <<http://www.filehorse.com/es/descargar-netbeans/16519/>> [consult: 12/12/2015]
- OLIVARES Q., R. & HERNÁNDEZ I., C. (2007). Clase Auxiliar N° 3 [en línea]. Santiago (Chile): Universidad de Chile, Ingeniería Civil de Minas. <https://www.u-cursos.cl/ingenieria/2007/2/MI51A/1/material_docente/bajar?id_material=145613> [consulta: 12/12/2015]
- PILACUÁN TEPUD, J.A. (2014). Sistema web para el control de producción y tiempo perdido en la planta de pintura (GM) [en línea]. Proyecto previo (Tecnólogo en Análisis de sistemas informáticos). Quito (Ecuador): Escuela Politécnica Nacional, Escuela de Formación de Tecnólogos. 107 p. <<http://bibdigital.epn.edu.ec/bitstream/15000/7364/1/CD-5513.pdf>> [consulta: 27/05/2015]
- RETIRADO-MEDIACEJA, Y.; LEGRÁ-LOBAINA, A.A.; LAMORÚ-URGELLES, M.; TORRES-TAMAYO, E.; LAURENCIO-ALFONSO, H.L. & GÓNGORA-LEYVA, E. (2012). Modelación y simulación del proceso de secado natural de la mena laterítica [en línea]: En: Minería y Geología, Vol. 28, No. 4 (oct-dic). Moa (Holguín, Cuba): Editorial Digital Universitaria Moa. p. 1-19 ISSN: 1993 8012 <<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/304/pdf>> [consulta: 11/12/2015]
- ROJAS PURÓN, A.; SIMÕES ANGÉLICA, R. & OROZCO MELGAR, G. (2012). Identificación mineralógica de los óxidos de manganeso del yacimiento laterítico Punta Gorda, Moa, Cuba [en línea]. En: Minería y Geología, Vol. 28, No. 1 (ene-mar). Moa (Holguín, Cuba): Editorial Digital Universitaria Moa. p. 1-26. ISSN 1993 8012 <<http://revista.ismm.edu.cu/index.php/revistamg/article/view/395/pdf>> [consulta: 11/12/2015]