

## **SISTEMA INFORMÁTICO PARA LA OBTENCIÓN DEL MODELO GEOMÉTRICO DE YACIMIENTOS DE CANTERAS DE MATERIALES DE CONSTRUCCIÓN**

Ing. Katusca Jiménez Roché

Instructor. Departamento de Informática, Facultad de Administración Pública y Empresarial, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Av. Calixto García No. 15 e/ Av. 7 de diciembre y Reynaldo Laffita, Reparto Caribe.

Email: [kjimenez@ismm.edu.cu](mailto:kjimenez@ismm.edu.cu)

Dr. C Roberto Watson Quesada,

Profesor Titular. Departamento de Minería, Facultad de Geología y Minas, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Av. Calixto García No. 15 e/ Av. 7 de diciembre y Reynaldo Laffita, Reparto Caribe.

Email: [rwatson@ismm.edu.cu](mailto:rwatson@ismm.edu.cu)

Dr.C. Yiezenia Rosario Ferrer

Profesor Titular. Departamento de Informática, Facultad de Administración Pública y Empresarial, Instituto Superior Minero Metalúrgico de Moa. Av. Calixto García No. 15 e/ Av. 7 de diciembre y Reynaldo Laffita, Reparto Caribe.

Email: [jessie@ismm.edu.cu](mailto:jessie@ismm.edu.cu)

### **RESUMEN**

Este trabajo que se presenta es una herramienta informática desarrollada para graficar el modelo geométrico de yacimientos de canteras de materiales de construcción. Se parte de los datos litológicos y estructurales que se obtienen en la investigación geológica. Este software permite gestionar los datos involucrados en el proceso de exploración, yacimientos, pozos, bloques y las muestras con sus propiedades físicas, químicas y litológicas. Entre sus funcionalidades está la de generar informes e imprimirlos. Para el desarrollo de esta aplicación se siguió como metodología el Proceso Unificado de Desarrollo del Software (RUP), empleando como lenguaje de modelación el Lenguaje Unificado de Modelado (UML) y como herramienta de modelación visual para el análisis y diseño, el

Rational Rose Enterprise Edition 2003. Se utilizó el lenguaje de programación Pascal Orientado a Objetos (Object Pascal) sobre el Entorno de Desarrollo Integrado Delphi 7.0. La base de datos incluida en la herramienta, creada con el sistema gestor de base de datos PostgreSQL, contempla los parámetros de seguridad y confiabilidad que requiere este proceso. Para obtener el modelo geométrico se aplicó el método de Triangulación Delaunay, el diagrama de Voronoi para generar mallas y la biblioteca auxiliar OpenGL para graficar en tres dimensiones (3D).

**Palabras Claves:** canteras, yacimientos, modelo geométrico, materiales de la construcción.

## **INTRODUCCIÓN**

La construcción y la minería están estrechamente vinculadas, tanto en su origen, como finalidad y medios. Para construir es necesario tener materiales y estos provienen del trabajo minero que se realiza en las canteras.

Una cantera es una explotación minera a cielo abierto en la que se obtienen rocas industriales, ornamentales o áridas. Generalmente suelen ser explotaciones de pequeño tamaño, aunque el conjunto de ellas representa, probablemente, el mayor volumen de la minería mundial. Los productos obtenidos en las canteras, a diferencia del resto de las explotaciones mineras, no son sometidos a concentración. Las principales rocas obtenidas en las canteras son: mármoles, granitos, calizas y pizarras (LEXICOON. Cantera , 2017).

Para efectuar el diseño de una cantera se realiza antes la investigación geológica, en la que se obtiene el modelo geométrico del yacimiento con todas sus características litológicas y estructurales.

Un modelo geométrico es aquel que caracteriza espacialmente al objeto estudiado, en este caso a la porción del macizo rocoso (el yacimiento) en el cual están contenidos sus elementos (propiedades y estructura). (Furriel, 1999)

Con los datos obtenidos en la investigación geológica es posible proyectar el proceso de explotación. Una vez que se culminan los trabajos geológicos de exploración del terreno, se comienza con el arduo proceso de explotación. Al

existir grandes volúmenes de datos, resulta laborioso y complejo manejarlos de una forma eficiente con un nivel de certidumbre adecuado, luego hay que procesarlos para definir cual es el mejor método que se debe llevar a cabo en la explotación de la cantera y determinar si toda esa inversión de tiempo, dinero y materiales es rentable o no.

En la minería y la geología, usualmente, para el manejo de datos y la obtención del modelo geométrico de un yacimiento se utilizan diferentes softwares tales como MicroLYNX, VULCAN, DATAMINE, GEMCOM, entre otros. Estos son reconocidos mundialmente y se caracterizan fundamentalmente por ser softwares propietarios, de adquisición costosa, empleados en proyectos mineros de alto nivel que manejan grandes cantidades de datos, incluso más de los requeridos para la explotación de canteras de materiales de la construcción.

Desde el 2009, en el Congreso Cubano de Ciencias de la Tierra celebrado en el Palacio de las Convenciones en Ciudad de La Habana, ya se discutían temáticas relacionadas con la informatización del proceso de explotación de canteras de materiales de la construcción, considerando los beneficios que traería para la industria minera este proceso automatizado.

Esta investigación está encaminada a la solución del problema científico que plantea la ausencia de un software que sistematice y automatice fiable y eficientemente el proceso de diseño de explotación de canteras de materiales de construcción en Cuba.

Cumpliendo con las políticas trazadas del país de sustituir las importaciones y crear soluciones propias, se trazó como **Objetivo General** " Desarrollar una herramienta informática que permita sistematizar y automatizar el proceso de obtención del modelo geométrico del yacimiento, que viabilice el diseño de canteras de materiales de construcción, en Cuba."

## **MATERIALES Y MÉTODOS**

### **Proceso Unificado de Desarrollo del Software**

Para el desarrollo de esta aplicación se siguió como metodología el Proceso Unificado de Desarrollo del Software (RUP). RUP es un proceso de desarrollo de

software, dirigido por caso de uso, centrado en arquitectura e iterativo e incremental, donde los casos de uso definen los objetivos y dirigen el trabajo en cada iteración, mientras que la arquitectura proporciona la estructura sobre la cual guiar las iteraciones. Utiliza el Lenguaje Unificado de Modelado para preparar todos los esquemas de un sistema software. (Jacobson, y otros, 2004)

### **Lenguaje Unificado de Modelado**

El Lenguaje Unificado de Modelado (UML) es un lenguaje gráfico para visualizar, especificar, construir y documentar los artefactos de un sistema con gran cantidad de software. UML proporciona una forma estándar de escribir los planos de un sistema, cubriendo tanto las cosas conceptuales (procesos del negocio y funciones del sistema) como las cosas concretas (clases escritas en un lenguaje de programación específico, esquemas de bases de datos y componentes software reutilizables). UML es sólo un lenguaje, es independiente del proceso, para utilizarlo óptimamente se deberá usar en un proceso dirigido por casos de uso, centrado en la arquitectura e iterativo e incremental. (Jacobson, y otros, 2008)

### **Rational Rose Enterprise Edition**

Como herramienta de modelación visual para el análisis y diseño se utilizó el Rational Rose Enterprise Edition 2003, es la herramienta CASE (Ingeniería de Software Asistida por Computadora) comercializada por los desarrolladores de UML. Utiliza un proceso de desarrollo iterativo controlado, donde el desarrollo se lleva a cabo en una secuencia de iteraciones.

### **Entorno de Desarrollo Integrado Delphi**

El Entorno de Desarrollo Integrado (IDE) Delphi en su versión 7.0, está diseñada para la programación de alto nivel y de propósito general. Tiene como basamento el lenguaje Object Pascal, su principal uso está dado para la realización de aplicaciones de escritorio. En la construcción de aplicaciones nativas Windows, Delphi permite una fácil creación y reutilización de DLLs, controles COM, así como el desarrollo de licencias comerciales para ventas de software profesional. Es un

RAD (Rapid Application Developer) por lo tanto minimiza el tiempo de programación mediante un ambiente de trabajo visual. Ofrece numerosos componentes para realizar la conexión, manipulación, presentación y captura de los datos, algunos de ellos liberados bajo licencias de códigos abiertos o gratuitos. (Marteens, 2005)

### **Sistema gestor de base de datos**

El sistema gestor de base de datos (SGBB) escogido para almacenar y gestionar los datos fue PostgreSQL. Este SGBD es recomendable para sistemas que no requieran la pérdida ni siquiera de un solo registro. Es tan potente que se compara con otros SGBD de alto nivel como Oracle y SQLServer teniendo como ventaja sobre ellos que es un software de código abierto. Es además multiplataforma, funciona sobre plataformas Unix y Windows, así como en sistemas de tiempo real para microprocesadores del tipo x86. Maneja grandes bases de datos y es un sistema objeto-relacional, pues incluye aspectos del paradigma orientado a objetos, tales como la herencia, tipos de datos, funciones, restricciones, aunque no llega a ser un gestor con orientación a objetos puro. Por su arquitectura de diseño escala muy bien al aumentar el número de máquinas y la cantidad de RAM. (Denzer, 2002)

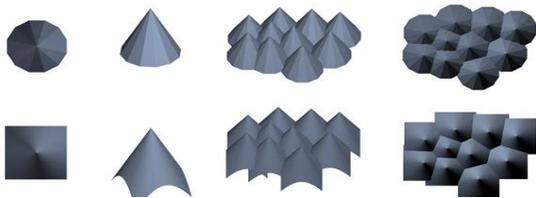
### **Triangulación de Delanuay y diagrama de Voronoi**

El método matemático utilizado para la obtención del modelo geométrico fue el de triangulación de Delaunay. Es un método muy útil a la hora de generar mallas irregulares a partir de un conjunto de puntos. Consiste en el cálculo gráfico del diagrama de Voronoi para los puntos y la posterior extracción de la triangulación a partir de este, aprovechando que la triangulación de Delaunay es el grafo dual del diagrama de Voronoi.

La técnica clásica para la generación de diagramas de Voronoi de una nube de puntos de forma gráfica, permite generar una imagen, en la que cada píxel contiene un color que representa al punto de la nube más cercano a ese píxel. Para ello se genera en tres dimensiones un cono por cada punto, y se dibuja en

vista ortográfica superior, utilizando el algoritmo del Z- buffer para determinar qué cono resulta el más cercano a la cámara en cada píxel. Esta aproxima los conos utilizando triángulos. Permite dibujar superficies que se comportan como conos perfectos en el Z-buffer, y presentan un rendimiento excelente.

Una variante a esta técnica consiste en dibujar un cuadrado en el lugar de cada cono y calcular, en cada píxel cubierto por el cuadrado, la profundidad exacta que tendría un cono perfecto. Para esto se calcula en cada píxel la distancia desde ese píxel hasta el punto de la nube al que corresponde, y se asigna ese valor como profundidad Z del píxel. Posteriormente el Z- buffer se encarga de seleccionar la superficie cuyo punto central sea el más cercano a ese píxel. (Furriel, 1999)



*Figura.1 Diagrama de Voronoi en sus dos variantes cuadrado y cono.*

## **Biblioteca OpenGL**

Las interfaces de programación de aplicaciones gráficas (API, Application Programming Interface) de mayor importancia en el mundo de las computadoras personales son Direct3D y OpenGL.

OpenGL es una biblioteca gráfica, escrita originalmente en C, que permite la manipulación de gráficos en 3D a todos los niveles. Se concibió para programar en máquinas nativas Silicon Graphics bajo el nombre de GL (Graphics Library), posteriormente se consideró la posibilidad de extenderla a cualquier tipo de plataforma y asegurar así su portabilidad y extensibilidad de uso con lo que se llegó al término Open Graphics Library, es decir, OpenGL. A diferencia de Direct3D, es más sencilla y puede usarse bajo todo tipo de sistemas operativos e incluso usando una gran variedad de lenguajes de programación. OpenGL funciona a través de una serie de bibliotecas DLL que suelen tener variados nombres, pero que a fin de cuentas cubren funciones muy específicas y son muy sencillas de identificar.

- OpenGL.DLL (Biblioteca de Gráficos Abierta).- Es la biblioteca principal que contiene la mayoría de las funciones. Estas funciones inician con las letras gl.
- GLU.DLL (Biblioteca de Utilerías de Gráficos).-Contiene funciones para objetos comunes a dibujar como esferas, donas, cilindros, cubos, así como funciones para el manejo de la cámara. Las funciones que pertenecen a esta biblioteca inician con las siglas glu.
- GLUT.DLL (Equipo de Herramientas de Utilería para el desarrollo de Gráficos).- Permite que los programas se vuelvan interactivos. Al trabajar con Delphi se puede llegar a prescindir en ese aspecto de GLUT, ya que este nos ofrece de manera natural poder crear ventanas y responder a los diferentes eventos del manejo del ratón y el teclado. (Trujillo C, 2013)

Por las ventajas que brinda y su portabilidad en diferentes plataformas, OpenGL fue el API escogido para graficar el modelo geométrico en 3D.

## **RESULTADOS Y DISCUSIÓN**

Como resultado del proceso de desarrollo se obtuvo la herramienta MGCCanteras (v1.0), un sistema desarrollado para graficar el modelo geométrico del yacimiento de las canteras de materiales de construcción, a partir de los datos litológicos y estructurales que se obtienen en la investigación geológica que se le realiza al yacimiento.

Los requerimientos funcionales son las condiciones o capacidades que el sistema debe cumplir. Estos no alteran la funcionalidad del producto, se mantienen invariables sin importar las propiedades o cualidades con las que se relacione el producto. (Jacobson, 2004)

Entre los principales requerimientos funcionales del sistema se encuentra:

- Autenticar usuario.
- Administrar Usuarios.
- Configurar conexión de la base de datos
- Gestionar datos de la Empresa.
- Gestionar los datos del yacimiento.
- Gestionar datos del bloque.

- Gestionar datos del pozo.
- Gestionar datos de la muestra.
- Graficar yacimiento (Piso y Techo mineral útil).
- Graficar bloque.
- Graficar pozo.
- Graficar muestra.
- Imprimir reportes

Los datos gestionados se almacenan en una potente base de datos "BDYacimiento", garantizando su seguridad y confiabilidad. Para utilizar la herramienta el usuario debe autenticarse, lo que permite que solo manipulen los datos personal cualificado.

El uso de la herramienta permite que especialistas, en diferentes lugares, analicen los datos de manera simultánea desarrollando cada uno diferentes teorías de explotación en un período corto de tiempo, ampliando las posibilidades de elegir la mejor variante.

La información mostrada en el modelo geométrico es en 3D, no es necesario utilizar diferentes planos topográficos para observar un mismo yacimiento desde diferentes perspectivas. Se ahorran materiales básicos como papel, lápiz e instrumentos de medición.

Se dan facilidades al usuario de realizar búsquedas de datos en tiempos mínimos y un conjunto de validaciones que evitan incurrir en errores no deseados a la hora de insertar los datos. Los tiempos de respuestas del sistema son mínimos.

El hardware mínimo necesario para el funcionamiento de la aplicación es una PC Pentium 3 o superior, con 128 MB de memoria RAM o superior. El producto debe ser utilizado en la plataforma Windows y el servidor de base de datos en multiplataforma, porque puede utilizarse en Linux y Windows.

El sistema no pretende suplantar al trabajador sino agilizar su trabajo y hacerlo más eficiente por lo que no se afecta la plantilla de los trabajadores.

Se le realizaron pruebas al software y los resultados fueron satisfactorios. A continuación se muestran imágenes de la aplicación funcionando con datos del yacimiento "Arriete".

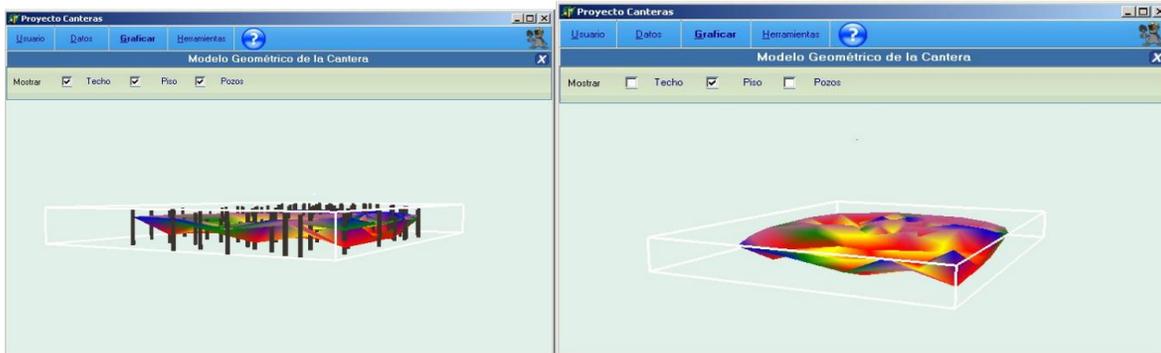


Figura 2: Graficación del yacimiento con el Piso, El techo, el bloque y los pozos de perforación



Figura 3 Interfaz Visual que muestra todos los pozos del yacimiento y las propiedades del Pozo seleccionado PM-8

## CONCLUSIONES

Como resultado de esta investigación se obtuvo una herramienta informática capaz de realizar la gestión de datos obtenidos en una investigación geológica de forma rápida y eficiente, agilizando el proceso de gestión y la obtención visual del modelo geométrico en 3D de yacimientos de canteras de materiales de construcción.

Desde el punto de vista social-humanista, con la herramienta se le facilitará en gran medida la realización de las actividades laborales al ingeniero en geología y en minas, pudiendo realizarlas con mayor rapidez y aumentando la confiabilidad de los datos.

Se incrementa el conocimiento de los recursos existentes y se gana en velocidad y precisión a la hora de obtener los resultados.

## REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Denzer, P. (2002). *PostgreSQL*. Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de <http://www.elrinconcito.com/delphi/>
- Furriel, J. V. (1999). *Cálculo de la triangulación de Delaunay en la GPU*. Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de [http://metodosestadisticos.unizar.es/~egc09/index\\_archivos/Trabajos/valdes.pdf](http://metodosestadisticos.unizar.es/~egc09/index_archivos/Trabajos/valdes.pdf)
- Jacobson, I.; Rumbaugh, J.; Booch, G (2004). *El Proceso Unificado de Desarrollo de Software*. La Habana: Editorial Félix Vareal.
- Jacobson, I.; Rumbaugh, J.; Booch, G(2008). *El Lenguaje Unificado de modelado*. Editorial Addison Wesley.
- LEXICOON. *Cantera* . (enero de 2017). Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de <http://lexicoon.org/es/cantera>
- Furriel, J. V. (1999). *Cálculo de la triangulación de Delaunay en la GPU*. Recuperado el 20 de septiembre de 2017, de [http://metodosestadisticos.unizar.es/~egc09/index\\_archivos/Trabajos/valdes.pdf](http://metodosestadisticos.unizar.es/~egc09/index_archivos/Trabajos/valdes.pdf)
- Larman, C (2004) *UML y patrones. Introducción al análisis y diseño orientado a objeto*. (Editorial Félix Varela). La Habana
- Marteens, I. (2005). *La cara oculta de delphi*. La Habana: Félix Varela.
- Trujillo, C. G. (2013). *Programación en Delphi y OpenGL*. Recuperado el 15 de Mayo de 2015, de <http://www.elrinconcito.com/delphi/>